

TIE
F56 di
2006
Pg. 2.

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA SCADA EXTENSIBLE A PROCESOS
HOSPITALARIOS CON APLICABILIDAD A INCUBADORAS NEONATALES**

“AUTOMATIZACIÓN APLICADA A BIOPROCESOS”

**MILTON FORERO LÓPEZ
VIVIANA SALAMANCA SIERRA
CAMILO ERNESTO PARDO BEAINY**



**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
TUNJA
2006**

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA SCADA EXTENSIBLE A PROCESOS
HOSPITALARIOS CON APLICABILIDAD A INCUBADORAS NEONATALES**

“AUTOMATIZACIÓN APLICADA A BIOPROCESOS”

**MILTON FORERO LÓPEZ
VIVIANA SALAMANCA SIERRA
CAMILO ERNESTO PARDO BEAINY**

Trabajo de monografía que presenta los
resultados de la investigación realizada para
obtener el título de Ingenieros Electrónicos

Director
Luis Fredy Sosa Quintero
Mgs. Ing. Electrónico

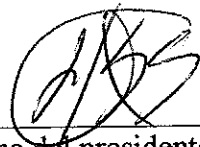
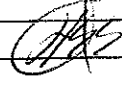


**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
TUNJA
2006**

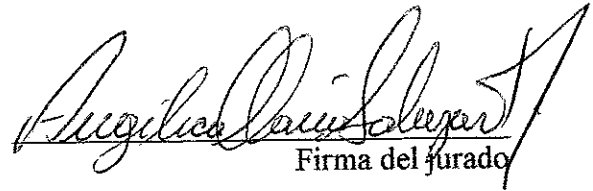
*Solamente los autores son responsables de las ideas
expuestas en el presente trabajo.*

Nota de aceptación:

Se acepta el proyecto



Firma del presidente del jurado



Firma del jurado



Firma del jurado

Tunja, 03, Agosto, 2006

Dedicamos este trabajo a Dios.

*Por premiarnos con su maravillosa creación y por
conferirnos el cúmulo de virtudes, que ha iluminado
nuestras vidas, concediéndonos la capacidad para
investigar prudentemente, analizar
inteligentemente, conocer verazmente, concluir
sabiamente y disponer de los resultados para
satisfacer las necesidades del desvalido y así
ofrendarlos.*

—Para gloria y alabanza de su nombre—

Amen

AGRADECIMIENTOS

A Nuestros Padres y Hermanos.

VIVIANA SALAMANCA SIERRA
Myriam Sierra, Luis Guillermo Salamanca, Mónica Salamanca y Paola Salamanca

CAMILLO ERNESTO PARDO BEAINY
María Teresa Beainy Álvarez, Ernesto Pardo Rueda y María Teresa Pardo Beainy

MILTON FORERO LÓPEZ
Telma López Ojeda y Roque A. Forero Sánchez q.e.p.d,

POR LOS ESFUERZOS REALIZADOS, ENCAUSADO DÍA A DÍA NUESTRO CAMINAR, MEDIANTE, SUS CONSEJOS Y GUÍA.
POR EL ESTOICISMO Y LA ESPERA EN VIRTUD A LA PRODUCCIÓN DE ESTE FRUTO.

A la Universidad Santo Tomas.

EN ESPECIAL A LOS PADRES: *José Antonio Balaguera O.P, Tiberio Polania O.P, Carlos Ariel Betancourt O.P y Samuel Elías Forero Buitrago O.P;*

QUIENES SIENDO DIRECTIVOS, FAVORECIERON MEDIANTE SUS POLÍTICAS, CONSTANTE MOTIVACIÓN Y GUÍA,
EL PROCESO EDUCATIVO E INVESTIGATIVO.

POR LA CONFIANZA DEPOSITADA EN NOSOTROS, EL APOYO RECIBIDO, LA CONSTANTE Y MUY CARIÑOSA
CORRESPONDENCIA; ASÍ COMO POR EL LEGADO HEREDADO, DE SER ORGULLOSAMENTE TOMASINOS,
COMPROMETIDOS CON LOS MÁS NECESITADOS, DISPUESTOS A ENTREGAR LOS MEJORES TALENTOS RECIBIDOS.

AL CIUSTA Y TODO EL PERSONAL, QUE EN SU MOMENTO PARTICIPARON EN PRO DEL DESARROLLO DE ESTE
TRABAJO.

Al Grupo de Investigación Vital Signal & Control Medical Equipment I+D USTA.

POR EL APOYO Y CONTINUA MOTIVACIÓN, PERMITIÉNDONOS LLEVAR LA VOCERÍA Y LIDERAZGO DE LA
INVESTIGACIÓN EN LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, ASÍ COMO SU REPRESENTACIÓN ANTE LA COMUNIDAD TANTO
ACADÉMICA, INVESTIGATIVA Y DE LA SOCIEDAD. EN ESPECIAL AL ING. LUIS FREDY SOSA QUINTERO, QUIEN EN EL
EJERCICIO DE DIRECTOR DEPOSITÓ LA PLENITUD DE SU CONFIANZA, EN NOSOTROS PARA LA CREACIÓN, EL
DESARROLLO, EL CRECIMIENTO Y PROYECCIÓN A LA COMUNIDAD DEL GRUPO.



CONTENIDO

	pág.
RESUMEN.....	22
—PALABRAS CLAVE—.....	22
PRÓLOGO.....	23
INTRODUCCIÓN.....	26
1 ANTECEDENTES.....	31
1.1 PROBLEMÁTICA.....	31
1.1.1 Planteamiento.....	31
1.1.2 Descripción.....	31
1.1.3 Delimitación.....	32
1.1.3.1 Física (etapas del Sistema).....	32
1.1.3.2 Geográficas.....	33
1.1.3.3 Ambiental.....	33
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	34
1.2.1 Impacto Económico.....	36
1.2.2 Aporte Al Conocimiento.....	36
1.3 OBJETIVOS.....	37
1.3.1 General.....	37
1.3.2 Específicos.....	37
2 MARCO PRELIMINAR.....	38
2.1 BIOINGENIERÍA.....	38
2.1.1 Generalidades.....	38
2.1.2 Disciplinas que la nutren.....	39
2.1.3 Evolución.....	39
2.1.4 Perspectiva nacional.....	40
2.1.5 Lineamientos regionales.....	41
2.2 AUTOMATIZACIÓN ELECTRÓNICA.....	42
2.2.1 Generalidades.....	42
2.2.2 Disciplinas que la nutren.....	42
2.2.3 Evolución.....	43
2.2.4 Perspectiva nacional.....	43
3 MARCO TEÓRICO.....	45
3.1 CONSIDERACIONES MÉDICAS.....	45
3.1.1 Recién Nacido Pretérmino.....	46
3.1.1.1 Causas Del Nacimiento Prematuro.....	46
3.1.1.2 Bajo Peso.....	46
3.1.2 Temperatura Corporal.....	47
3.1.2.1 Facilidad de Enfriamiento en el Recién Nacido.....	48
3.1.2.2 Termorregulación.....	49
3.1.2.3 Efectos Del Ambiente Térmico En El Recién Nacido.....	55
3.1.3 Humedad Relativa Del Aire.....	55
3.1.3.1 Importancia De La Humedad.....	56
3.1.4 Incubadoras.....	56
3.1.4.1 Tipos De Incubadoras.....	58
3.2 SISTEMAS DE ADQUISICIÓN SUPERVISIÓN Y CONTROL.....	60
3.2.1 Características.....	61
3.2.2 Beneficios.....	62
3.2.3 Algunos Proveedores.....	63

3.2.4	<i>Monitoreo</i>	64
3.2.4.1	Definición:.....	64
3.2.4.2	Evolución:.....	64
3.3	INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA	67
3.3.1	<i>Sensores</i>	68
3.3.1.1	Definiciones.....	69
3.3.1.2	Características.....	69
3.3.1.3	Clasificación de los sensores.....	70
3.3.2	<i>Actuadores</i>	82
3.3.2.1	Definición.....	82
3.3.2.2	Clasificación de los actuadores.....	82
3.3.3	<i>Instrumentación convencional</i>	86
3.3.4	<i>Instrumentación virtual</i>	87
3.4	COMUNICACIONES	88
3.4.1	<i>Evolución</i>	88
3.4.2	<i>Entorno industrial</i>	89
3.4.3	<i>Líneas y Redes de transmisión</i>	90
3.4.4	<i>Funciones del sistema de comunicación</i>	91
3.4.5	<i>Protocolos</i>	92
3.4.5.1	Comunicaciones seriales RS232.....	98
3.5	CONTROL	99
3.5.1	<i>Antecedentes Históricos</i>	100
3.5.2	<i>Sistema de control automático</i>	101
3.5.2.1	Características relevantes de un Sistema de Control Automático.....	101
3.5.3	<i>Modelado de un proceso controlado</i>	102
3.5.4	<i>Identificación Experimental de Procesos</i>	104
3.5.5	<i>Controladores</i>	104
3.5.5.1	Definición.....	104
3.5.6	<i>Controladores PID</i>	105
3.5.6.1	Controlador Proporcional (P).....	106
3.5.6.2	Controlador Proporcional-integral (PI).....	108
3.5.6.3	Controlador Proporcional-Derivativo (PD).....	110
3.5.6.4	Controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID).....	110
3.5.6.5	Orientaciones para el uso del regulador PID.....	111
3.5.7	<i>Métodos de sintonización de controladores PID</i>	111
3.5.7.1	Servomecanismo ($z = 0$).....	112
3.5.7.2	Regulador ($r = 0$).....	112
3.5.8	<i>Tipos de métodos de sintonización</i>	113
3.5.8.1	Métodos de lazo abierto.....	113
3.5.8.2	Métodos de lazo cerrado.....	114
3.5.9	<i>Clasificación de los métodos de sintonización</i>	114
3.5.9.1	Métodos basados en la curva de reacción del proceso.....	116
3.5.9.2	Métodos de lazo cerrado.....	118
3.5.10	<i>Lógica difusa</i>	118
3.5.10.1	Historia.....	120
3.5.10.2	Conceptos básicos de Lógica Difusa.....	124
3.5.10.3	Reglas en un Sistema Difuso.....	124
3.6	FUENTES DE ALIMENTACIÓN	125
3.6.1	<i>Fuentes de alimentación lineales</i>	125
3.6.1.1	Transformador.....	127
3.6.1.2	Acople de impedancias.....	128
3.6.1.3	Rectificador.....	130
3.6.1.4	Filtrado.....	131
3.6.1.5	Rizado y Factor de Rizado.....	

3.6.1.6	Reguladores.....	133
3.6.2	Fuentes conmutadas de alimentación.....	136
4	ACERCAMIENTO AL ENTORNO HOSPITALARIO NEONATAL.....	138
4.1	LOS CENTROS HOSPITALARIOS DE BOYACÁ.....	138
4.2	ÍNDICE DE NATALIDAD Y MORTALIDAD EN BOYACÁ.....	138
4.3	CLASIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES CENTROS HOSPITALARIOS DE BOYACÁ SEGÚN LOS SERVICIOS QUE PRESTAN A LA POBLACIÓN.....	139
4.3.1	Complejidad baja.....	140
4.3.2	Complejidad media.....	141
4.3.3	Complejidad alta.....	141
5	SCADA HOSPITALARIO.....	143
5.1	SCADA DENTRO DE LAS IPS.....	143
5.1.1	Analogía SCADA industrial, SCADA en medicina.....	143
5.1.1.1	Nivel de campo (Salud para todos).....	144
5.1.1.2	Nivel de Proceso (Coordinador médico).....	145
5.1.1.3	Nivel de Celda (Control Interno).....	146
5.1.1.4	Nivel de negocio (Administración).....	146
5.1.1.5	Nivel de Fabrica (Subgerencia).....	146
5.1.1.6	Nivel de Compañía (Gerencia).....	147
5.2	APLICACIÓN PRÁCTICA EN NEONATOLOGÍA.....	147
5.2.1	Características Generales del Sistema.....	147
5.2.2	Nivel de Campo (I/O).....	150
5.2.2.1	Fuentes de alimentación.....	150
5.2.2.2	I/O.....	163
5.2.2.3	Acondicionamiento.....	175
5.2.2.4	Aislamiento.....	180
5.2.2.5	Convertidores.....	181
5.2.3	Módulos de proceso (Nivel de proceso).....	189
5.2.3.1	Microcontrolador Orientado a las Comunicaciones.....	189
5.2.3.2	Microcontrolador Orientado al Proceso.....	191
5.2.3.3	Prototipo del Módulo de Proceso Genérico "VSC Process ref. P001".....	208
5.2.4	Unidad Neonatal (Nivel de celda).....	212
5.2.4.1	Comunicaciones.....	213
5.2.4.2	Procesamiento y Monitoreo.....	222
5.2.4.3	Prototipo del módulo de comunicaciones genérico "VSC Communication ref. C001".....	229
5.2.4.4	Prototipo del módulo de gestión genérico "VSC Gestor ref. G001".....	233
5.2.4.5	Prototipo del módulo Rack genérico "VSC Rack ref. R001".....	236
5.2.5	Central de Monitoreo (Nivel de Negocio).....	239
5.2.5.1	Arquitectura.....	240
5.2.5.2	Diagrama de flujo general.....	240
5.2.5.3	Comunicaciones.....	241
5.2.5.4	Control Y Monitoreo.....	257
5.2.5.5	Gestión del sistema.....	264
5.2.5.6	Inicio de sesión.....	269
5.2.6	Coordinador de Área.....	271
5.2.7	Consultorio de Neonatología.....	271
5.3	PROTOCOLO DE OBSERVACIÓN PARA EQUIPOS MÉDICOS.....	272
6	OTROS APORTES DERIVADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	273
6.1	CONFORMACIÓN DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN VITAL SIGNAL & CONTROL MEDICAL EQUIPMENT. I+D USTA "VSC I+D USTA".....	273
6.1.1	Misión.....	273
6.1.2	Visión.....	273
6.1.3	Objetivo.....	273
6.1.4	Áreas de Investigación.....	273

6.1.4.1	SCADA Hospitalario.....	274
6.1.4.2	OCULA.....	274
6.1.4.3	PRÓTESIS.....	274
6.1.4.4	WAVELETS:.....	274
6.1.4.5	MARCO LEGAL:.....	274
6.1.4.6	ANTECEDENTES BIOINGENIERÍA.....	275
6.2	WEB DEL GRUPO DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN:.....	275
6.2.1	Logo.....	275
6.2.2	Página de inicio.....	275
6.2.2.1	Vista en el explorador.....	276
6.2.2.2	Código fuente.....	277
6.2.3	Página de bienvenida.....	277
6.2.3.1	Vista en el explorador.....	277
6.2.3.2	Código fuente.....	279
6.2.4	Página de bienvenida (Integrantes).....	279
6.2.4.1	Vista en el explorador.....	280
6.2.4.2	Código fuente.....	292
6.3	PROCESOS DE GESTIÓN.....	292
6.3.1	Con la comunidad investigativa y otras (al exterior de la universidad).....	292
6.3.2	Con la comunidad investigativa y otras (al interior de la universidad).....	293
6.3.3	Formatos VSC.....	293
6.3.3.1	Formato de inscripción.....	294
6.4	MAGAZÍN VSC.....	294
6.5	ACTIVIDADES DE FORMACIÓN.....	294
6.5.1	Cursos de Profundización Tomados.....	295
6.5.2	Cursos de Auto aprendizaje.....	295
6.5.3	Cursos dictados.....	295
6.6	ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN.....	295
6.6.1	Socializaciones.....	296
6.6.2	Congresos y Seminarios.....	296
6.6.3	Convenios y Asesorías.....	298
7	CONCLUSIONES.....	300
8	RECOMENDACIONES.....	301
9	BIBLIOGRAFÍA.....	303
	ANEXO A (CÓDIGO ASCII).....	305
	ANEXO B (CARTAS DE PRESENTACIÓN).....	312
	ANEXO C (DATOS DE LOS AUTORES).....	313
	ANEXO D (LISTADO DE INTEGRANTES DE VSC).....	318
	ÍNDICE.....	

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Peso, talla y superficie corporal a distintas edades gestacionales	47
Tabla 2. Mayores pérdidas de calor del recién nacido y prematuro en comparación al adulto en condiciones ambientales semejantes (Desnudos 28°C de temperatura ambiental, 50% de humedad).....	49
Tabla 3. Temperaturas para conseguir un ambiente termo neutral	52
Tabla 4. Clasificación general de los actuadores.....	85
Tabla 5. Evolución de las comunicaciones.....	88
Tabla 6. Clasificación de las redes de comunicación.....	90
Tabla 7. Formas de conexión entre circuitos y equipos.....	92
Tabla 8. Pines más importantes del estándar RS-232	95
Tabla 9. Funciones del estándar RS232 para comunicaciones seriales.....	96
Tabla 10. Funciones de Transferencia	103
Tabla 11. Recomendaciones para el uso del PID según aplicación	111
Tabla 12. Características del Transformador	151
Tabla 13. Características del Puente Rectificador.....	153
Tabla 14. Características del Filtro Capacitivo.....	155
Tabla 15. Características de los Reguladores	158
Tabla 16. Características estáticas del sensor AD22100.....	165
Tabla 17. Relación Temperatura / Voltaje.....	166
Tabla 18. Características estáticas del termistor 44031	167
Tabla 19. Relación de temperatura resistencia de salida.....	167
Tabla 20. Características estáticas del sensor HHH3610.....	168
Tabla 21. Relación de % Humedad Relativa voltaje de salida.....	168
Tabla 22. Características estáticas de la celda de carga SP4.....	170
Tabla 23. Características del sensor Arreglo de 20 Leds SSA-LXB20-43910	171
Tabla 24. Características Encoder EE-SX1115	171
Tabla 25. Características Resistencia de Alta Potencia.....	173
Tabla 26. Características Resistencia de Baja Potencia.....	173
Tabla 27. Características del Humidificador	174
Tabla 28. Características Motor Ventilador.....	174
Tabla 29. Mapa de la trama de supervisión para la comunicación Central de monitoreo/Unidad Neonatal.....	255
Tabla 30. Mapa de la trama de control para la comunicación Central de monitoreo/Unidad Neonatal.....	256
Tabla 31. Mapa de la trama de respuesta a control Unidad Neonatal /Central de monitoreo ..	256
Tabla 32. Mapa de la descripción de bytes	257

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 Hospital Civil de Guadalajara. "Fray Antonio Alcalde". México.....	29
Figura 2 Mapa Localización Geográfica Zona de Influencia.....	33
Figura 3. Recién nacido pretérmino.....	46
Figura 4. Crecimiento y Desarrollo Intrauterinos.....	47
Figura 5. Distribución de la grasa parda en el organismo.....	50
Figura 6. Representación de las cuatro maneras de perder calor en el recién nacido.....	51
Figura 7. Pérdidas de calor de un Neonato	51
Figura 8. Efectos de la temperatura ambiental sobre la producción de calor	53
Figura 9 Perdidas de calor del recién nacido al nacer por radiación y evaporación	53
Figura 10 Diagrama de flujo de información del sistema de control de la temperatura corporal.....	54
Figura 11. Cuna de Ruehl.....	57
Figura 12 Incubadora de Tarnier.....	57
Figura 13 Incubadora Care Plus 4000 producida por Ohmeda Medical EEUU.....	58
Figura 14. Calentador Radiante.....	59
Figura 15. Incubadora Cerrada	60
Figura 16 SCADA básico.....	61
Figura 17 Diodo LED	64
Figura 18 LED de alta luminosidad y pantalla Full Color video	65
Figura 19 Pantallas LCD	66
Figura 20 Evolución del monitor	66
Figura 21 Diagrama de Bloques de la Instrumentación	67
Figura 22. Tipos de galgas metálicas y semiconductores.....	74
Figura 23 Termopares industriales	77
Figura 24 Termopares para altas temperaturas	77
Figura 25. Diferentes formas de termistores	79
Figura 26. Diferentes tipos de motores paso a paso.....	84
Figura 27 Del pasado al presente de la Instrumentación.....	86
Figura 28 Bloques funcionales SCADA.....	87
Figura 29 Composición de una red de datos	89
Figura 30 Niveles de tensión del protocolo RS232C.....	93
Figura 31 Detalle de los niveles de tensión RS232.....	93
Figura 32 Estructura de transmisión serial de Datos	94
Figura 33 Reconstrucción y sincronización de una señal serial en la UART	94
Figura 34 Conectores macho y hembra DB-25 y DB-9.....	97
Figura 35 Detalle de los conectores para comunicación RS232.....	97
Figura 36 Conexión serial por UART.....	98
Figura 37 Sistema de lazo abierto.....	100

Figura 38 Sistema de lazo cerrado.....	100
Figura 39 Diagrama de bloques del controlador Proporcional	105
Figura 40 Característica de un controlador Proporcional (acción inversa)	105
Figura 41 Diagrama de bloques del controlador Proporcional – Integral	107
Figura 42 Característica de un controlador Proporcional-Integral	107
Figura 43 Diagrama de bloques del controlador Proporcional – Derivativo.....	109
Figura 44 Característica de un controlador Proporcional-Derivativo	109
Figura 45 Diagrama de bloques del controlador Proporcional - Integral – Derivativo.....	110
Figura 46 Respuesta del sistema de control Cambio escalón en el valor deseado.	112
Figura 47 Respuesta del sistema de control Cambio escalón en la perturbación.....	112
Figura 48 Respuesta en lazo abierto.	113
Figura 49 Respuesta en lazo cerrado.....	113
Figura 50 Diagrama de Bloques de una Fuente de Alimentación Lineal.....	125
Figura 51 Transformador	126
Figura 52 Rectificador de Media Onda	128
Figura 53 Rectificador de Onda Completa.....	129
Figura 54 Rectificador en Puente	130
Figura 55 Filtro Capacitivo.....	130
Figura 56 Acción de un Regulador.....	134
Figura 57 Regulador Simple con Transistor en Serie.....	134
Figura 58 Regulador de Voltaje de Circuito Integrado (CI).	135
Figura 59 Diagrama de Bloques de una Fuente Conmutada de Alimentación.....	136
Figura 60 Índices de Natalidad de los años 2000 a 2003 en las ciudades de Duitama, Sogamoso, Tunja y otros municipios.....	139
Figura 61 Niveles Jerarquía de redes vs. Organización IPS.....	143
Figura 62 Estructura del nivel de campo.....	144
Figura 63 Estructura del nivel de Proceso.....	146
Figura 64 SCADA aplicado en neonatología a procesos de incubación.	148
Figura 65 Diagrama General de la configuración modular del sistema.....	149
Figura 66 Diagrama de Bloques de la fuente de Alimentación Lineal del Sistema.	150
Figura 67 Transformador de 60W.....	151
Figura 68 Forma de Onda de los Voltajes de Salida en el Transformador a. Circuito Transformador con Carga Resistiva. B.Voltaje en el secundario (V1a) c. Voltaje del secundario (V2a).....	152
Figura 69 Puente rectificador.....	153
Figura 70 Forma de Onda de los Voltajes de Salida en el Rectificador. a. Circuito Puente Rectificador con Carga Resistiva, b Voltaje Rectificado V1, c. Voltaje Rectificado V2...	154
Figura 71 Filtro Capacitivo.....	155
Figura 72 Forma de Onda de los Voltajes de Salida en el Filtro Capacitivo a. Circuito Filtro Capacitivo con Carga Resistiva, b. Voltaje Filtrado V1, c. Voltaje Filtrado V2.....	156
Figura 73 Reguladores	157

Figura 74 Circuito de Regulación con ampliación de corriente y protección térmica.....	158
Figura 75 Circuito de Protección contra Sobretensiones.....	160
Figura 76 Fuente de Alimentación Lineal 5V, 12V -12V 3V.....	161
Figura 77 Fuente de Alimentación Lineal 5V.....	162
Figura 78 Sensor de Temperatura AD22100.....	165
Figura 79 Curva de respuesta del sensor AD22100.....	166
Figura 80 Thermistor de precisión 44031.....	167
Figura 81 Thermistor 44031.....	167
Figura 82 Sensor de Humedad Relativa HIH 3610.....	168
Figura 83 Linealidad del sensor de humedad HIH3610.....	169
Figura 84 Celda de Carga SP4.....	169
Figura 85 Plataforma en acero inoxidable.....	170
Figura 86 Arreglo de 20 Leds SSA-LXB20-43910.....	171
Figura 87 Encoder EE-SX1115.....	171
Figura 88 Resistencia de Calentamiento Rápido.....	172
Figura 89 Resistencia de Baja Potencia.....	173
Figura 90 Humidificador.....	174
Figura 91 Motor ventilador.....	174
Figura 92 Circuito Acondicionamiento sensor de Temperatura.....	175
Figura 93 Señal de entrada y salida del acondicionamiento.....	175
Figura 94 Circuito Acondicionamiento sensor de Peso.....	176
Figura 95 Señal de entrada y salida del acondicionamiento.....	176
Figura 96 Circuito Acondicionamiento sensor de Humedad.....	177
Figura 97 Señal de entrada y salida del acondicionamiento.....	177
Figura 98 Circuito Acondicionamiento sensor de corriente.....	178
Figura 99 Señal de entrada y salida del acondicionamiento.....	178
Figura 100 Circuito Acondicionamiento Encoder.....	179
Figura 101 Señal de salida del encoder.....	179
Figura 102 Circuito Acondicionamiento Resistencia de calentamiento Rápido, Resistencia de Baja potencia y Humidificador.....	180
Figura 103 Señal de entrada y salida del amplificador de instrumentación AD202.....	181
Figura 104 Señal de entrada y salida del opto acoplador análogo lineal HCNR200.....	181
Figura 105. Diagrama de Bloques Funcionales del AD974.....	182
Figura 106. Conexiones Básicas para la configuración 0 V a +5 V del AD974.....	183
Figura 107. Acondicionamiento Inicial para el Sistema Conversor asociado a Temperatura	183
Figura 108. Acondicionamiento Final para el Sistema Conversor asociado a Temperatura.....	184
Figura 109. Acondicionamiento Final para el Sistema Conversor asociado al Peso Neonatal...	185
Figura 110. Registros asociados al módulo de conversión análoga-digital de los microcontroladores Motorola CPU-08.....	186
Figura 111. Acondicionamiento Inicial para el Sistema Conversor asociado a Humedad Relativa	186

Figura 112. Acondicionamiento Final para el Sistema Conversor asociado a Humedad Relativa	187
Figura 113. Diagrama de Bloques Funcionales del AD5570	188
Figura 114. Relación de la salida del AD5570, con el porcentaje de utilización de los sistemas actuadores.....	188
Figura 115. Diagrama del módulo de proceso genérico “VSC Process ref. P001”	189
Figura 116. Distribución y asignación de pines del microcontrolador orientado a las comunicaciones en el nivel de proceso	190
Figura 117. Distribución y asignación de pines del microcontrolador orientado al proceso	191
Figura 118. Formato de los datos a transmitir en la comunicación entre microcontroladores ..	192
Figura 119 Conexiones realizadas entre los conversores AD5570, AD974 y el microcontrolador MC68HC908GP32.....	192
Figura 120 Formato de los datos a transmitir en la comunicación SPI.....	193
Figura 121 Sistema de comunicación I2C, asociado al nivel de proceso.....	193
Figura 122. Transferencia de datos para dispositivos I2C.....	194
Figura 123 Función de transferencia	195
Figura 124 Respuesta del sistema.....	195
Figura 125 Estructura de un controlador difuso con sus cuatro componentes principales.....	195
Figura 126 Esquema del sistema de control difuso.	196
Figura 127 Variables lingüísticas de entrada y salida.....	197
Figura 128 Función de Pertenencia de PP.....	198
Figura 129 Funciones de pertenencia para la variable lingüística del error.....	199
Figura 130 Funciones de pertenencia para la variable lingüística de derror.....	200
Figura 131 Funciones de pertenencia de la variable de salida.....	200
Figura 132 Reglas Difusas en MatLab	204
Figura 133 Visor de Reglas.....	205
Figura 134 Superficie en 3D del sistema	205
Figura 135 Bloque de control PID	206
Figura 136 Diagrama en Simulink Sistema Difuso.....	207
Figura 137 Señal de salida Controlador Difuso.....	207
Figura 138 Diagrama en Simulink Sistema PID.....	208
Figura 139 Señal de salida Controlador PID	208
Figura 140 Diagrama Esquemático del Módulo de Proceso “VSC Process ref. P001”	209
Figura 141 Diseño de la tarjeta destinada al Módulo de proceso genérico “VSC Process ref. P001”	210
Figura 142. Tarjeta para el AD5570.....	210
Figura 143 Fotografía de la tarjeta destinada al Módulo de proceso genérico “VSC Process ref. P001”	211
Figura 144 Fotografía del módulo “VSC Process ref. P001” en sus pruebas preliminares.....	211
Figura 145 Fotografía de las tarjetas diseñadas para el conversor digital-análogo AD5570 encapsulado SSOP.....	212

Figura 146 Fotografía del Módulo “VSC Process ref. P001”	212
Figura 147 . Formato de las tramas de Control y Supervisión	213
Figura 148 Detalle del delimitador de inicio o campo de delimitación de inicio	214
Figura 149 Detalle del campo de dirección	214
Figura 150 Detalle del campo de control	214
Figura 151 Detalle del campo de información	215
Figura 152 Detalle del campo de detección de errores	215
Figura 153 Detalle del delimitador final o campo de delimitación final	215
Figura 154 Esquema General del módulo de Comunicaciones	216
Figura 155 Detalle de conectividad RS485	216
Figura 156 Señal transmitida a través del Transeiver RS485	217
Figura 157 Arquitectura interna del Transeiver RS485	217
Figura 158 Diagrama de distribución y asignación de pines para el microcontrolador del módulo de comunicaciones “VSC Communication ref. C001”	218
Figura 159 Lógica de comunicación entre la Unidad Neonatal y la Central de Monitoreo	219
Figura 160 Continuación Lógica de comunicación entre la Unidad Neonatal y la Central de Monitoreo	220
Figura 161 Lógica de comunicación entre el sistema gestor y los procesos	221
Figura 162 Continuación Lógica de comunicación entre el sistema gestor y los procesos	222
Figura 163 Esquema general del módulo de procesamiento	223
Figura 164 Distribución y asignación de pines del módulo de gestión “VSC Gestor ref. G001”.	223
Figura 165 Caso en que no existe ningún pulsador presionado	224
Figura 166 Caso en que se oprime la tecla MENU	225
Figura 167 Caso en que se oprime la tecla UP	226
Figura 168 Caso en que se oprime la tecla DOWN	227
Figura 169 Caso en que se oprime la tecla ENTER	228
Figura 170 Visualización LCD	228
Figura 171 Diagrama Esquemático del Módulo de comunicaciones “VSC Communication ref. C001”	229
Figura 172 Diseño de la tarjeta destinada del Módulo de comunicaciones “VSC Communication ref. C001”	230
Figura 173 Diseño de tarjeta para el ADM2483	230
Figura 174 Fotografía de la tarjeta destinada al Módulo de comunicaciones “VSC Communication ref. C001”	231
Figura 175 Fotografía del módulo “VSC Communication ref. C001” en sus pruebas preliminares	231
Figura 176 Fotografía del módulo “VSC Communication ref. C001”	232
Figura 177 Fotografía de las tarjetas diseñadas para el transceiver ADM2483	232
Figura 178 Fotografía del sistema de variación de dirección de la Incubadora	232
Figura 179 Diagrama Esquemático del módulo de gestión “VSC Gestor ref. G001”	233

Figura 180	Diseño de la tarjeta del módulo "VSC Gestor ref. G001"	234
Figura 181	Fotografía de la tarjeta destinada al módulo de gestión "VSC Gestor ref. G001"	235
Figura 182	Fotografía del módulo "VSC Gestor ref. G001" en sus pruebas preliminares	235
Figura 183	Fotografía del módulo "VSC Gestor ref. G001"	236
Figura 184	Diagrama Esquemático del módulo "VSC Rack ref. R001"	236
Figura 185	Diseño de la tarjeta para el módulo "VSC Rack ref. R001"	237
Figura 186	Fotografía de la tarjeta destinada al módulo "VSC Rack ref. R001"	238
Figura 187	Fotografía del Módulo "VSC Rack ref. R001"	238
Figura 188	Fotografía de los niveles de proceso y celda, integrados en el módulo "VSC Rack ref. R001"	239
Figura 189	Arquitectura de la central de monitoreo y control "PC"	240
Figura 190	Diagrama de flujo general del sistema centra de monitoreo "Estación de enfermería"	241
Figura 191	Esquema de comunicaciones	242
Figura 192	Diagrama de Flujo para la subrutina de configuración del puerto de comunicaciones:	243
Figura 193	Ubicación y conexonado del VI VISA Configure Serial Port	244
Figura 194	Diagrama de flujo para la subrutina de transmisión y recepción	246
Figura 195	Icono de conexonado y panel frontal de la subrutina de Rx/Tx	247
Figura 196	Herramientas VISA, Write, Properties	247
Figura 197	Programa para el preprocesamiento de la información	248
Figura 198	Diagrama de flujo para la rutina de preprocesamiento de información	249
Figura 199	Icono de conexonado y programa para ordenar las tramas de información	250
Figura 200	Función Rotate String	250
Figura 201	Función Search and Replace String	251
Figura 202	Sub VI de inserción y análisis del checksum (diagrama y panel frontal)	252
Figura 203	Menú Data Manipulation	252
Figura 204	Función Split Number	253
Figura 205	Función Casting data to a string	253
Figura 206	Función Concatenate Strings	253
Figura 207	Fotografía del transceiver RS232/RS485	254
Figura 208	Panel frontal y diagrama del Control de temperatura	258
Figura 209	Panel frontal y diagrama del Control de Humedad	259
Figura 210	Panel frontal del Monitor de variables del proceso	259
Figura 211	Diagrama del monitor de variables del proceso	260
Figura 212	Función Bundle	261
Figura 213	Función Unbundle	261
Figura 214	Función Array to cluster	261
Figura 215	Función Waveform Chart	262
Figura 216	Panel de supervisión para el sistema base	264
Figura 217	Detalle del panel de supervisión del sistema base referido a comunicaciones	264

Figura 218 Diagrama de Flujo para la subrutina para el inicio de sesión de los usuarios..	265
Figura 219 Icono de conexionado, panel y diagrama para el VI creación de carpetas y base de datos.....	266
Figura 220 Icono de conexionado, panel y diagrama para el VI Entrada de datos	267
Figura 221 Menú Array	267
Figura 222 Función Index Array	267
Figura 223 Icono de conexionado, panel y diagrama para el VI Error de Formato	268
Figura 224 Icono de conexionado, panel y diagrama para el VI Validación de los Datos.	268
Figura 225 Menús de: I/O de archivos, funciones Avanzadas y configuración de archivos.	269
Figura 226 Panel frontal para el VI Inicio de Sesión.....	269
Figura 227 Diagrama para el VI Sesión administrativa.....	270
Figura 228 Funciones property visible y property value	270
Figura 229 Pantalla de reporte en una estación local (proceso).....	270
Figura 230 Panel de herramientas Report Generation.....	271

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A (CÓDIGO ASCII)	303
ANEXO B (CARTAS DE PRESENTACIÓN)	305
ANEXO C (DATOS DE LOS AUTORES)	312
ANEXO D (LISTADO DE INTEGRANTES DE VSC).....	313

GLOSARIO

ASCII: American Standard Code for Information Interchange. (Código Estadounidense Estándar para el Intercambio de Información). Es un código utilizado por la mayoría de los sistemas informáticos.

BUFFER: Espacio de memoria que se utiliza como regulador y sistema de almacenamiento intermedio entre dispositivos de un sistema informático.

CARDIOLOGÍA: Estudio del corazón y de sus funciones y enfermedades.

CIM: Manufactura integrada por computador, herramienta de la automatización que permite mediante un PC y un software de simulación...

CONTROL: Regulación o manipulación de las variables que influyen en la conducta de un proceso de manera de obtener un producto de una calidad y cantidad deseadas de una manera eficiente.

CRT: Cathode Ray Tube. (Tubo de rayos catódicos). Se llama así a los monitores basados en un tubo de vacío, donde un haz de electrones pinta la imagen en la pantalla.

DERMATOLOGÍA: Rama de la medicina que trata de las enfermedades de la piel.

GASTROENTEROLOGÍA: Rama de la medicina que se ocupa del estómago y de los intestinos y de sus enfermedades.

HUMEDAD RELATIVA: Es la relación entre la presión parcial de vapor sobre la presión de saturación del vapor a la temperatura de bulbo seco

LAN: Local Area Network. (Red de área local). Es una red que conecta equipos en un área relativamente pequeña y predeterminada, como una habitación, un edificio, o un conjunto de edificios.

LCD: Liquid Crystal Display. (Pantalla de Cristal Líquido). Se trata de un sistema eléctrico de presentación de datos formado por 2 capas conductoras transparentes y en medio un material especial cristalino (cristal líquido), que tienen la capacidad de orientar la luz a su paso.

LED: Light Emitting Diode. (Diodo Emisor de Luz). Diodo que emite radiación luminosa.

LIPÓLISIS: Transformación de las grasas en ácidos grasos, jabones o glicerol en el curso de la digestión.

MAXILOFACIAL: Perteneciente o relativo a los huesos de la cara.

METABOLISMO BASAL: Gasto mínimo de energía necesario para mantener las funciones vegetativas: 38 Kilocalorías por hora y por metro cuadrado de superficie corporal.

MONITOR: Dispositivo de visualización de datos.

MORBILIDAD: Proporción de personas que enferman en un sitio y tiempo determinado

MORTALIDAD: Tasa de muertes producidas en una población durante un tiempo dado, en general o por una causa determinada.

NATALIDAD: Número proporcional de nacimientos en población y tiempo determinados.

NEUMOLOGÍA: Estudio o tratado de las enfermedades de los pulmones o de las vías respiratorias en general.

NEUROCIRUGÍA: Cirugía del sistema nervioso.

NEUROLOGÍA: Estudio del sistema nervioso y de sus enfermedades.

NOREPINEFRINA: Neurotransmisor liberado por la mayoría de los nervios del sistema simpático.

OFTALMOLOGÍA: Parte de la patología que trata de las enfermedades de los ojos.

ORTOPEDIA: Arte de corregir o de evitar las deformidades del cuerpo humano, por medio de ciertos aparatos o de ejercicios corporales.

OTORRINOLARINGOLOGÍA: Parte de la patología que trata de las enfermedades del oído, nariz y laringe.

PEDIATRÍA: Rama de la medicina que se ocupa de la salud y enfermedades de los niños.

PERTURBACIONES EXTERNAS: Se denominan interferencias o perturbaciones externas aquellas señales que afectan al sistema como consecuencia del principio utilizado para medir las señales de interés.

PERTURBACIONES INTERNAS: Las perturbaciones internas son aquellas señales que afectan indirectamente a la salida debido a su efecto sobre las características del sistema de medida. Pueden afectar tanto a las características relativas como a la variable de interés.

PSICOMETRÍA: Es el estudio de las propiedades termodinámicas de los gases húmedos mientras que humedad se refiere simplemente a la presencia de vapor de agua en el aire u otros gases.

SERVO CONTROL: Es un mecanismo que consiste en un control automático de una variable de acuerdo a un punto fijado por el operador.¹ En una incubadora el servo control, puede ser de aire o de piel, dependiendo de si el lector que envía la señal es un sensor de temperatura del aire o un sensor localizado en la piel del niño.

TOMOGRAFÍA: Técnica de registro gráfico de imágenes corporales, correspondiente a un plano predeterminado. De acuerdo con los mecanismos utilizados y los procedimientos técnicos seguidos, existen tomografías de rayos X, axial computadorizada, de ultrasonido, de emisión de positrones y de resonancia magnética.

TRAUMATOLOGÍA: Parte de la medicina referente a los traumatismos y sus efectos.

UROLOGÍA: Parte de la medicina referente al aparato urinario.

¹ Termorregulación en Recién Nacidos. Dr. Luis Hernán González I. Edición, Servicio Neonatología Hospital Clínico Universidad de Chile. Publicación, Noviembre 2001.

VI: Virtual Instrument (Instrumento Virtual).

WAN: Wide Area Network. (Red de Area Amplia). Red capaz de cubrir distancias desde unos 100 hasta unos 1000 Km., proveyendo de servicio a un país o un continente.

RESUMEN

En este documento se presenta el resultado final de la investigación referente al monitoreo y control aplicado a incubadoras neonatales, el diseño y desarrollo de un sistema redundante, distribuido mediante SCADA (Supervisión Control y Adquisición de Datos), extensible a procesos hospitalarios; utilizando las herramientas que brinda la automatización electrónica y la informática; donde tanto los procesos desde el nivel de máquina, hasta el nivel de empresa de la pirámide de integración CIM (Manufactura Integrada por Computador), permiten un mejoramiento significativo de la calidad, muy necesaria en estos días de crisis hospitalaria, ofreciendo beneficios para los procesos como: menores costos, flexibilidad en instalaciones, gestión, centralización y almacenamiento de la información, control distribuido, menor mantenimiento correctivo, etc.

En nuestro país, la implementación de estos sistemas en el campo de la industria, se ha desarrollado notablemente, con resultados favorables. Y, es el referente para desarrollarlos en los centros hospitalarios, ya que al aprovechar las potencialidades de los sistemas SCADA y del control distribuido en combinación del modelo OSI, en organizaciones de esta índole, se garantiza el mejoramiento en la prestación de los servicios en salud, así como las condiciones de operación deseadas, la seguridad en pacientes y personal operario, la generación de recursos de apoyo con parámetros de validación, como, los reportes históricos de operación y mantenimiento, entre otros, que facilitan y agilizan los procesos tanto de diagnóstico, como de intervención médica.

Por consiguiente, el desarrollo de este documento contiene algunos temas especializados, tanto de las ciencias de la salud, como de la ingeniería, al igual que temas de intereses generales como estadísticos y referentes locales; descriptivos de la situación de la red hospitalaria de Boyacá, además, narrativas del proceso y experiencias de los investigadores en el transcurso de la evolución del trabajo.

—Palabras clave—

Incubadora, SCADA, Bioingeniería, Comunicaciones, Trama, Protocolo, Seguridad, microcontroladores, software, LabView, Interfaz, Transparent Factory, CIM, Automatización, Neonatología, curva de reacción, modelamiento, planta, función de transferencia.

PRÓLOGO

Documento escrito por estudiantes de ingeniería electrónica como trabajo de monografía, para obtener el título profesional como ingenieros electrónicos, en la USTA Tunja, a través de la investigación, constante y conciente de la problemática social presente, generada por la prestación de servicios en salud de las instituciones públicas de la región. Con el objetivo de disponer del conocimiento, esfuerzo y sacrificio, necesarios para que el desempeño de una disciplina, como la ingeniería electrónica, sea más confortable y gratificante, al ver que los resultados esperados, superan las expectativas y benefician a una población muy vulnerable como lo son los neonatos prematuros.

Dirigido a estudiantes e ingenieros de electrónica, bioingeniería y ramas afines, y todo aquel que sienta interés particular, en conocer y aplicar el saber, en pro del mejoramiento del bienestar humano, en cuanto a la salud.

El libro contiene temas concernientes principalmente a la Ing. electrónica en las áreas de: automatización, control, comunicaciones e instrumentación, pero al tratarse de un trabajo interdisciplinario para una aplicación médica, la Bioingeniería hace su aporte desde la ingeniería Clínica en cuanto a la neonatología, además se incluye un apartado sobre los indicadores regionales de la salud.

Cada tema abordado, presenta un recorrido por referentes históricos y antecedentes, que han permitido la evolución de estas áreas, así como, una síntesis de los temas más relevantes a el objeto de este trabajo, que en ningún momento pretende ser un libro guía de fundamentación en las materias aquí desarrolladas parcialmente, aunque sí puede ser tomado como referencia en el desarrollo de algunos temas o trabajos tanto académicos como de investigación.

Está dividido en partes organizadas de acuerdo al desarrollo de la investigación, así: la primera parte es una presentación protocolaria del trabajo, la segunda parte introduce al lector en la problemática que lleva al planteamiento del trabajo y a su desarrollo, también encontramos la justificación y los objetivos, delimitando los alcances. En el capítulo dos se encuentra la temática básica, mediante un marco preliminar, de conceptualización, acerca de las dos grandes vertientes que nutren este trabajo, Bioingeniería y automatización electrónica, que de forma generalizada permite la interpretación del lenguaje y contenido que se encuentra en los siguientes capítulos. El capítulo tres (3) contiene el marco de referencia, teórico y conceptual que provee los conocimientos relevantes que fueron necesarios para la presentación de la propuesta práctica, explorando temas como:

Las consideraciones médicas, donde se enuncian, características del recién nacido con las causas de nacimiento prematuro y bajo peso, la temperatura corporal y su regulación –que es uno de los parámetros vitales del neonato –, la humedad y las máquinas de incubación.

Los sistemas de adquisición supervisión y control con sus características, beneficios y proveedores.

La instrumentación Electrónica, definiendo y clasificando tanto los sensores como los actuadores usados, así como las diferencias entre la instrumentación convencional con respecto a la instrumentación virtual, permitiendo al lector tener las generalidades técnicas de la instrumentación necesaria en la aplicación.

Las Comunicaciones aplicadas al entorno industrial, mostrando la evolución, el papel de las líneas y redes de transmisión, las funciones de un sistemas de comunicación y algunos protocolos, mediante los que se puede establecer, mantener y monitorear el enlace.

El control, presenta bases teóricas de los sistemas de control automático y su modelamiento, teniendo en cuenta técnicas para identificar los procesos a nivel experimental y los diferentes tipos de controladores PID con sus métodos, tipos y clasificación de la sintonización, así como las reglas y los conceptos de lógica difusa.

Las Fuentes de alimentación, conceptualizan al lector, en fuentes lineales y conmutadas, haciendo un recorrido por las diferentes etapas que componen la alimentación o etapa de potencia de un sistema electrónico, desde la transformación y pasando por la rectificación, filtrado y regulación hasta los acoples de impedancia y transferencia de máxima potencia.

En el capítulo cuatro se empiezan a enunciar los desarrollos del trabajo, mediante el acercamiento al entorno hospitalario neonatal, donde se hace referencia a la organización de los centros hospitalarios en Boyacá, y se muestran los índices de natalidad y mortalidad del año 2005, como un elemento informativo; indicador que promueve la inversión e investigación para disminuir los índices de mortalidad. Dando una perspectiva general de la situación de los centros hospitalarios, sus servicios y calidad en el departamento.

El capítulo cinco presenta la propuesta para implementar el SCADA Hospitalario en la red hospitalaria. En la primera parte, se generaliza el sistema dentro de las IPS, mediante un esquema basado en las redes de comunicación, y los niveles jerárquicos de cualquier organización de tipo empresarial en cuanto al manejo de la información; mostrando la solución para cada nivel de la pirámide de jerarquía, la cual se fundamenta en la pirámide de la automatización de la manufactura integrada por computador CIM. La segunda parte hace tangible la propuesta en una primera fase de implementación aplicando el concepto en el área de Neonatología, desarrollando la propuesta igualmente para cada nivel, siguiendo la estructura CIM, así, un nivel de campo (I/O) o de entradas y salidas, mediante sensores y actuadores, donde se incluyen las etapas de acondicionamiento, aislamiento, conversión y alimentación. Un segundo nivel denominado Nivel de proceso, totalmente modular para cada variable, basado en sistemas microcontrolados, donde se implementan las estrategias de control y se gobiernan las comunicaciones para el nivel de campo y el nivel superior. Un tercer nivel o Nivel de Celda, denominado Unidad neonatal, donde, se desarrolla e implementan a través de un módulo Rack los diferentes módulos de proceso y de comunicaciones que integran el sistema, igualmente se presenta la visualización y

manipulación de los datos por medio del uso de un interfaz humano-máquina. Y por último un nivel de negocio denominado Central de Monitoreo que corresponde a una pantalla de operador mediante el uso de un PC, donde se muestra su arquitectura, y la forma como se efectúan las comunicaciones para los niveles inferiores y superiores, así como los diferentes programas para realizar las diferentes sesiones de usuario, generación de reportes, monitoreo y control del sistema. En la tercera parte se presenta un protocolo de observación para equipos médicos a partir de la experiencia en las diferentes visitas realizadas a los centros hospitalarios y las conclusiones del trabajo.

El capítulo seis muestra otros aportes relevantes de la investigación, que han nutrido el proceso, y que facilitaron la gestión, reconocimiento e inclusión en la comunidad académica e investigativa, como: la actualización y mantenimiento del CVLAC y el GRUPLAC ante COLCIENCIAS, el diseño y publicación de la Web del grupo, los procesos de gestión, las publicaciones, las actividades de formación y divulgación con las diferentes menciones y reconocimientos recibidos, entre otros factores.

Los capítulos siete y ocho son complementarios donde se dan algunas recomendaciones, referencias bibliográficas, infográficas, así como los anexos.

Esperamos que el recorrido por este documento se grato para usted y que contribuya a la adquisición y apropiación del conocimiento, para disponerlo al servicio de los sectores más necesitados, de influencia de la ingeniería.

Los Autores.

INTRODUCCIÓN

La humanidad, siempre ha necesitado herramientas, que le faciliten la interacción con el medio, con el fin de dar una explicación más objetiva a los fenómenos que ejercen fuerza de cambio, tanto en las costumbres y actitudes, como en el conocimiento, originando nuevos paradigmas que retan todas las potencialidades humanas en pro del avance científico; ¡claro está!, nuestro compromiso es: “*NO escatimar esfuerzos*” para que esos cambios se materialicen salvaguardando la integridad de la humanidad, vinculándonos en la construcción del saber, teniendo en cuenta los principios y valores dinamizadores de una sociedad justa y sensible a las necesidades presentes, resaltando la importancia de la “ética y la moral” para armonizar la tarea de construcción de un mundo mejor.

Uno de los factores de mayor relevancia, son los esfuerzos en pro de la Salud integral, ya que en ella está no solo el presente, sino las garantías de supervivencia de nuestra especie; aunque el panorama no es muy alentador en nuestro país, donde los esfuerzos de muchos a favor de ésta, parecen no dar resultados, acrecentándose la crisis hospitalaria a nivel administrativo y disminuyendo la calidad de los servicios de la salud. ¿Pero cual es el papel que estamos desempeñando, cada uno de nosotros, para que esta realidad cambie favorablemente? ¿Acaso la responsabilidad, es en verdad solo del estado y de las entidades prestadoras de los servicios en salud? ¿Y de las normas que? Pues estos son algunos de los múltiples interrogantes que debemos hacernos con el compromiso de darles respuesta, y como Tomasinos comprometidos con nuestra sociedad y deseosos de aportar todas nuestras virtudes y talentos, tenemos un gran compromiso, que pasa el umbral de la compasión y la caridad, para plasmarse en hechos reales, muestra de altruismo y filantropismo, donde el carisma encarnado toma forma en el quehacer profesional.

En cuanto a la aplicación de la ciencia en el tema, no es desconocido que la salud ha sido uno de los tantos afanes, para proveer cada vez mejores sistemas de integración, donde la recolección, el análisis, el almacenamiento y los resultados de la información, permitan generar acciones y líneas de aplicación en la medicina. Es por esto que las ciencias de la salud se apoyan en las herramientas de la ingeniería para poder desarrollar sistemas, instrumentos y métodos que permitan el mejoramiento y la tecnificación de los procedimientos, con el ánimo de garantizar la calidad y seguridad de estos procesos, donde la vida y salud humana se encuentra vulnerables.

Entonces, la necesidad de obtener parámetros válidos para facilitar y agilizar los procesos tanto de diagnóstico como de intervención médica, propone la práctica de estrategias para el monitoreo de señales, que permitan caracterizar y evaluar fenomenologías, relacionando lo patológico con las herramientas de procesamiento de información, en espera de diagnósticos cada vez mas científicos con un soporte tanto fiable como objetivo, basado en los resultados de investigaciones dedicadas a estos tipos de desarrollos.

La importancia que la investigación ha tomado en cuanto a sus desarrollos y aplicaciones de la electrónica en conjunto con la Bioingeniería e ingeniería biomédica, bioelectrónica y electromedicina, y otras ramas de las ciencias naturales y básicas; representa grandes avances de la ciencia aplicada en beneficio de la humanidad, generando nuevos materiales, técnicas de diagnóstico, técnicas de supervisión e intervención tanto invasiva (quirúrgica) como externa (tratamientos y terapias) o nuevos medicamentos, ¡que hace algunos años ni se soñaban!, como las terapias de ultrasonido, el transplante de órganos vitales, o los simuladores de cirugía. Aportes que en gran medida se deben a la integración a alta escala de los dispositivos electrónicos, así como a la inclusión de sistemas microprocesados y microcontrolados, haciendo de los procesos más complejos, simples rutinas de programación donde la técnica y la lógica se mezclan para ofrecer soluciones prácticas, en el que un autómatas programable, se convierte en el cerebro de un equipo capaz de establecer un diálogo entre las necesidades de un proceso con el entorno donde se encuentre el sistema, las cuales son suplidas automáticamente, incluyendo procesos de comunicación Humano-Máquina, a través de interfaces amigables, donde el lenguaje entre los “mundos tan diferentes” se hace transparente, por medio de un protocolo o acuerdo donde se establecen normas de “fonética, morfosintaxis, semántica y pragmática”². Facilitando así la posibilidad de configurar los complejos procesos matemáticos que ocurren a la velocidad de la luz al interior de los dispositivos electrónicos —tomando caracterizaciones de organismos vivientes— como el lenguaje u otras características exclusivas; a tal punto que ya no es una sorpresa escuchar y/o hablar de la ficción hecha realidad en la IA (Inteligencia Artificial) mediante la aplicación de la simulación de procesos mentales (Pensar) a nivel de las máquinas, para lo cual se incursiona en propuestas de control como por ejemplo: del control no lineal, distribuido, multivariable, predictivo, difuso, adaptativo, óptimo, estocástico, genético, las redes neuronales y otras técnicas que se han venido desarrollando a través de los procesos de investigación, donde el esquema a seguir responde a acciones exclusivas de la humanidad, como lo son: el discernimiento y la lógica. Todo esto ha sido posible ya que el manejo de los signos particulares de un fenómeno, pueden ser identificados y representados por una señal, así esta sea de un origen incierto o de contenido desconocidos, donde los parámetros a evaluar no se han determinado ni mucho menos caracterizado. Y eso, sí que es interesante y determinante ya que implica toda una propuesta de investigación en cuanto a la adquisición y tratamiento de señales.

² FONÉTICO, CA: Adj. y s. Perteneciente a la voz humana o al sonido en general. Fon. Aplicase a todo alfabeto o escritura cuyos elementos o Letras representan sonidos. f. Ling. Parte de la lingüística que estudia los sonidos del lenguaje hablado.

MORFOSINTAXIS: f. Ling. Parte de la gramática que agrupa las tradicionales morfología y sintaxis, estudiándolas como un todo sin posibilidad de independencia. [De donde se dan las operaciones de selección y combinación para la competencia lingüística.]

SEMÁNTICO, CA: Adj. Relativo a la significación de las palabras. f. Comp. Estudio de la relación entre los símbolos utilizados en las instrucciones y su significado. Ling. Estudio de la significación de las palabras. Ling. La semántica tradicional ha investigado las causas del cambio semántico y sus clasificaciones. La semántica estructural sincrónica divide el vocabulario en sectores, formados por palabras interrelacionadas, de modo que el valor de cada una de ellas depende de sus relaciones con las demás. Las gramáticas generativas y transformacionales le han dado gran impulso. [Corresponde al significado de los enunciados determina la conexión con la realidad dando la competencia semántica]

PRAGMÁTICO, CA: Determina la orientación a la intención comunicativa, sistematizando un plan comunicativo con el fin de demostrar la veracidad de lo que se enuncia a partir de lo práctico dándole forma, sentido y función al mensaje.

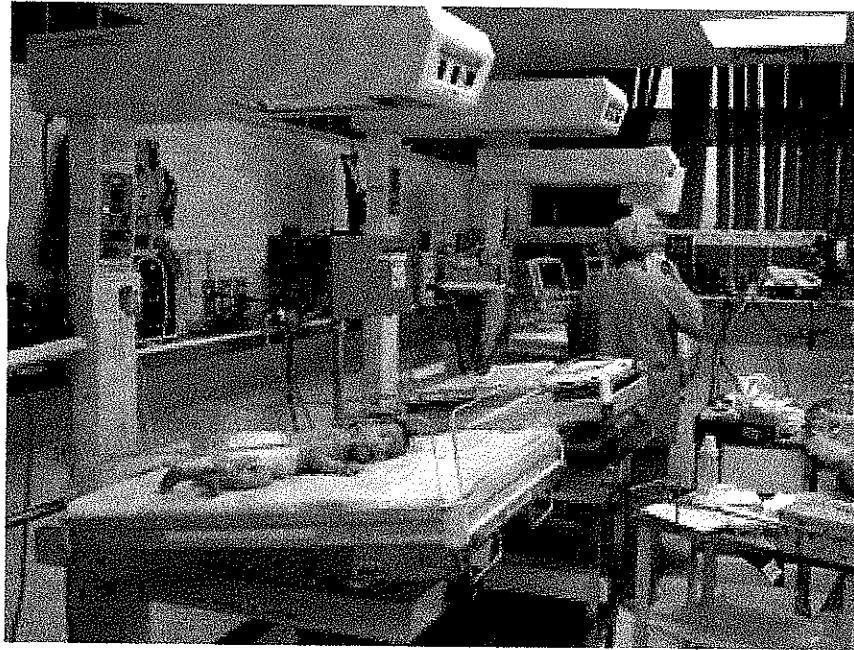
El Cuerpo humano como sistema complejo, que integra todo tipos de procesos, donde, hasta el mínimo síntoma que hace referencia a una causa en especial, representa infinidad de variables complementarias, que muchas veces no se analizan. Es decir distintas patologías pueden producir diversos síntomas o un síntoma puede provenir de muchas otras patologías. Y el no identificar su enlace o vinculación a partir del principio lógico de causa-efecto, no quiere decir que se tenga que desconocer su presencia, imperceptible, sino todo lo contrario, se necesita proveer herramientas de ingeniería que estén a su servicio y a partir de ellas, encontrar nuevas formas de diagnóstico e intervención médica.

Uno de esos aportes se puede conseguir mediante el trabajo con las señales tanto bioeléctricas, como de imágenes para visualizar el estado de órganos del cuerpo, ya que son un factor determinante tanto en el diagnóstico o parte medico, como para la formulación de tratamientos, los cuales deben ser vigilados para verificar la evolución de la recuperación de los pacientes. Además, gracias a la posibilidad de monitorizar estos procesos, la investigación y desarrollo en la medicina ha generado nuevas técnicas de optimización de los procedimientos e intervención especializada. En consecuencia la aplicación de medicamento oportuno y el manejo adecuado en el tratamiento de enfermedades y anomalías de la salud humana, ha repercutido en el mejoramiento de la calidad de los servicios en salud, pero aun es indispensable desarrollar nuevas propuestas que suplan las necesidades aun no satisfechas.

Como se observa en la Figura 1 existe una población muy vulnerable, los Neonatos prematuros, para los que la tecnología ha generado un sin numero de opciones para mejorar su condición, aunque algunas aún son solo académicas, por lo tanto es necesario seguir proponiendo soluciones cada vez más eficientes, no solo para comodidad de este tipo de pacientes sino para la manipulación medica, en este caso el paciente se encuentra en una cuna térmica, dotada de la mejor tecnología, en la cual se mantiene un ambiente térmico estable a partir de técnicas de control FUZZY (Borroso) así como la inclusión de fototerapia y un control externo para ambientar la sala neonatal con los factores climáticos adecuados (humedad, oxígeno, temperatura, ruido, etc.). Pero este tipo de tecnologías son costosas y en nuestro medio regional su implementación es mínima.

Es por esto que sistemas de monitoreo y control distribuido como los SCADA (Supervisory Control And Data Adquisition) que surgen al combinar el software adecuado con elementos de redes, ofrecen la mejor y mas económica alternativa para generar centros robustos de supervisión, control y adquisición de datos; lo cual mejora sustancialmente los procesos de producción de cualquier tipo de organización, mejorando los índices de calidad, supervisión, mantenimiento, velocidad etc. Logrando el automatismo de estas tareas (procesos). SCADA se basa en dos aplicaciones fundamentales de la informática, y las telecomunicaciones: Redes de comunicación de datos y bases de datos. Estos sistemas se aplican desde hace mas de dos décadas en los sectores de manufactura de automóviles y petroleras, hoy se ha posicionado como la forma de control de procesos distribuido al integrarse con la instrumentación, las pantallas de operador, los sistemas de seguridad, los controladores, los autómatas programables y equipos de transmisión.

Figura 1 Hospital Civil de Guadalajara. "Fray Antonio Alcalde". México



Tomado de <http://www.aibarra.org/Neonatologia/capitulo1/default.htm>.

Todas estas ventajas enunciadas son un aporte para la industria, y debe ser aprovechado para mejorar la calidad a todo nivel es por esto que se debe implementar a nivel de las entidades prestadoras de servicios en salud ya que al ser tan versátil, ha constituido los elementos definitivos para las herramientas de CIM (Manufactura integrada por computadora), CAM (manufactura asistida por computadora) y CAD (Diseño asistido por computadora) unificando todo el proceso desde su diseño hasta las etapas de verificación y evaluación de la calidad, que puede ser un papel determinante dentro de la crisis hospitalaria.

Esta practicidad que brinda la implementación de un sistema como el descrito anteriormente se convierte en una necesidad inmediata que todo proceso debe tener y más aun cuando estamos refiriéndonos a procedimientos donde nuestra salud esta comprometida y es responsabilidad nuestra velar por el mejoramiento y optimización de los servicios de la salud, para el bienestar de todos.

El desarrollo del documento, muestra y enuncia la integración entre el Bioproceso, y los factores que componen la automatización electrónica (la instrumentación, las comunicaciones, el control y el monitoreo) con elementos jurídicos que regulan la prestación de servicios en salud con sus complementarios, traslapando estos conceptos fundamentados en la aplicación de la bioingeniería, la Ingeniería Biomédica o ingeniería medica y la Ingeniería Clínica.

Como lo enuncia Máximo Eugenio Valentinuzzi:

La Ingeniería Biomédica "estudia y busca la aplicación de las Ciencias Exactas, en general, y de la ingeniería, en particular, a la solución de problemas de las Ciencias Biológicas y Médicas... se refiere a la biología como un todo; trata de descubrir nuevos fenómenos en los procesos biológicos e intenta clarificar otros ya conocidos." [Pero esta a su vez se divide en Ingeniería Biomédica o ingeniería Médica] "orientada hacia el hombre con la intención de controlar las enfermedades... pero no se consideran los sistemas médicos" [refiriéndose entonces a] "la instrumentación, materiales, dispositivos de diagnóstico y terapéutica, órganos artificiales, y otros equipos utilizados en medicina"; [la Ingeniería Clínica dirige sus esfuerzos] a la solución de los problemas asistenciales de la salud, de hospitales, servicios de emergencia, y trabajo junto a la medicina...³

Sin embargo como veremos mas adelante en Colombia el desarrollo de estas áreas a pesar de tener proyectos muy importantes, aun no es muy representativo debido al nivel tecnológico presente en el país, lo cual implica un alto nivel de importación y transferencia de tecnología, dificultando así la apropiación de los desarrollos regionales y su aplicación en las entidades que prestan servicios en salud, aunque en este momento existen entidades y organismos, como el IEEE, EMB, INVIMA, ABIOIN o CORAL dedicados a proveer normas y tecnologías para desarrollo internacional, regional y local.

³ VALENTINUZZI, Máximo Eugenio. Introducción a la bioingeniería. Barcelona-México: Marcombo, 1988. p 3.

1 ANTECEDENTES

1.1 PROBLEMÁTICA

1.1.1 Planteamiento

¿Existe en la región un sistema de incubación diseñado con recursos e ingenio propios, que realice simultáneamente monitoreo, registro y control de variables como Temperatura y humedad relativa en la incubadora, permitiendo la visualización del peso neonatal, e indicando mediante alarmas si los parámetros definidos y monitorizados son diferentes a los previamente establecidos, garantizando la confiabilidad de estos datos, ofreciéndole seguridad al paciente, al personal operario, así como las partes que integran el equipo; que apoye el diagnóstico e intervención médica?

1.1.2 Descripción

Los estudios realizados en el área del control, la adquisición y análisis de señales aplicados a sistemas de incubación, han tratado de mejorar cada vez más los equipos y la instrumentación, para que los procedimientos médicos sean mas eficientes. Pero en nuestra región, esta tecnología parece que se desaprovecha por diferentes circunstancias, como: La utilización de métodos rudimentarios para el control del equipo y valoración del paciente, así el equipo tenga la opción de realizarlo; La desinformación del manejo de los equipos, y muchas veces la ignorancia para realizar el mantenimiento de los mismos; razones por las que se están perdiendo grandes inversiones en equipos, que por lo general son importados y de altos costos, contrariando el papel de la tecnología con el mejoramiento de la calidad del servicio hospitalario en la región y por ende el de salvaguardar la vida y estabilidad tanto física como emocional de los neonatos.

Mediante algunas observaciones previas realizadas por el grupo investigador, en los hospitales públicos de las ciudades de Tunja⁴, Duitama⁵ y Sogamoso⁶ se ha verificado la existencia de sistemas de incubación que utilizan diferentes tecnologías, cuya pretensión es

⁴ Tunja, ciudad y capital del departamento Colombiano de Boyacá, ubicada en una pequeña meseta que se extiende en la cordillera Oriental. Situada a una altitud de 2.782 m y con una temperatura cuyo promedio es de 13 °C, la ciudad dista 135 Km. de Bogotá. La región estaba habitada por los aborígenes muiscas a la llegada de los españoles. Población (1993), 107.807 habitantes.

⁵ Duitama, municipio de Colombia del departamento de Boyacá. Se encuentra a una altura de 2.530 m y cuenta con una temperatura cuyo promedio es de 15 °C. Su distancia respecto a Tunja, es de 57 Km. y respecto a Bogotá, la capital del país, de 198 Km. Aparte de ser el centro industrial de la región, también es el centro de acopio y distribución de los productos agrícolas. Población (1993), 94.874 habitantes.

⁶ Sogamoso, municipio Colombiano del departamento de Boyacá. Se encuentra a 2.569 m de altitud y posee una temperatura cuyo promedio es de 14 °C. Dista 213 Km. de Bogotá. Población (1993), 109.115 habitantes.

mejorar los procesos y ayudar al personal hospitalario en la monitorización y diagnóstico de la evolución del estado clínico de un neonato, para la aplicación de un tratamiento adecuado a las necesidades presentes en el paciente. En estas observaciones también se encontró que algunos equipos de un alto costo no se están utilizando, por averías técnicas y de mantenimiento, algunos funcionan con apenas una parte de su capacidad, y otros son equipos muy rudimentarios que atentan contra la integridad tanto del paciente como del operador del sistema.

1.1.3 Delimitación

1.1.3.1 Física (etapas del Sistema)

El sistema de MONITOREO Y CONTROL APLICADO A INCUBADORAS NEONATALES se enmarca en las siguientes etapas:

- ✓ Etapa de Instrumentación: Se utilizan diferentes sensores, que toman señales provenientes de variables asociadas al paciente y al entorno, necesarias para realizar un diagnóstico médico. Se consideran variables de Temperatura (tanto ambiental como en el paciente), humedad relativa en el ambiente y peso del neonato. Dichas señales deben ser cuidadosamente acondicionadas y filtradas, para que no presenten problemas en su procesamiento. También se utilizan diferentes dispositivos actuadores, los cuales, permiten realizar cambios controlados en el ambiente en donde se encuentra expuesto el neonato.
- ✓ Etapa de Control y Procesamiento: El sistema es capaz de procesar la información proveniente de los sensores, y así, poder ejercer una acción de control sobre las variables de Temperatura y Humedad. De igual forma, permite realizar una comunicación hombre-máquina, entre el dispositivo y el operario, para que este último pueda observar los cambios presentes en cada una de las variables a considerar.
- ✓ Etapa de Monitoreo: El sistema de Incubación está respaldado por un sistema de monitoreo, encargado de recibir, visualizar y registrar la información proveniente de cada una de las incubadoras a monitorear. Este sistema de monitoreo se realiza en un computador y se implementa en un ambiente gráfico que sea agradable al usuario, y de fácil manejo.

Cada una de las etapas anteriormente mencionadas, están respaldadas por un sistema de seguridad, el cual solo permita el manejo del sistema a personal autorizado e indique las diferentes alarmas, causadas por alguna emergencia de carácter médico y/o técnico.

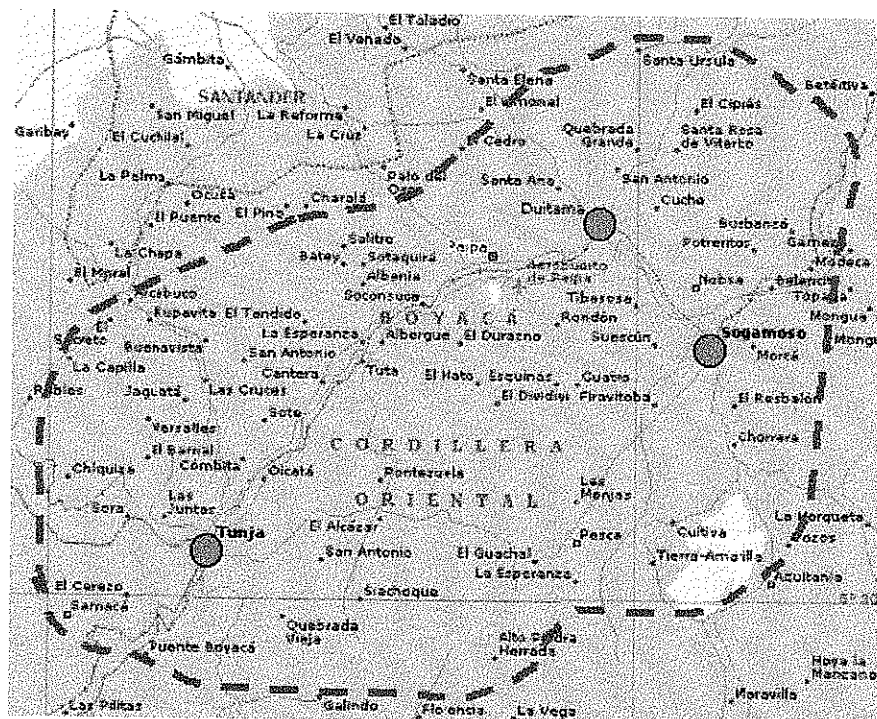
El sistema está diseñado para atender a tres incubadoras con las mismas características de funcionamiento, pero solamente se llevará a término una de ellas.

1.1.3.2 Geográficas

La investigación se realizara en los hospitales públicos en el perímetro urbano de las ciudades de Tunja: Hospital San Rafael, Duitama: Hospital Regional y Sogamoso: Hospital Regional, del departamento de Boyacá, cuya zona de influencia se muestra en el siguiente mapa.

La elaboración del prototipo de incubación se realizará dentro de las instalaciones de la Universidad Santo Tomás sede centro.

Figura 2 Mapa Localización Geográfica Zona de Influencia



Basada en imagen de la Biblioteca de Consulta Microsoft® Encarta® 2005. © 1993-2004 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

1.1.3.3 Ambient

Debido a las características de operación de los componentes electrónicos, para garantizar el funcionamiento del sistema correctamente es necesario protegerlo de la exposición a líquidos alcoholes y otros presentes en un ambiente clínico que pueda resultar dañino para el sistema.

7 ----- Zona de influencia para la prestación de servicios de salud y hospitalaria de las entidades sociales del estado
objeto de esta investigación.

1.2 JUSTIFICACIÓN

A través de la historia, se han dado grandes avances tecnológicos en cada una de las ciencias del saber, siendo la medicina una de las áreas en donde estos avances han sido determinantes, pues donde existen seres humanos se generan enfermedades y como consecuencia surge la necesidad de buscar las soluciones que determinen o disminuyan sus efectos.

Para el bienestar de los seres humanos, existen ramas como la electrónica, que ha contribuido en el proceso con grandes aportes en la creación de equipos de diagnóstico. En lo referente a neonatología⁸; las incubadoras contribuyen a disminuir la mortalidad de niños prematuros o débiles pero aun se necesitan muchos aportes en el tema con el fin de optimizar los procesos en el cuidado de los seres humanos más vulnerables (Recién nacidos).

Una de las necesidades de la salud para el departamento de Boyacá, es poder dotar todos los centros prestadores de servicios (como los hospitales), de la tecnología necesaria, para satisfacer la demanda de centros de calidad hospitalaria, donde toda la ciencia y tecnología estén al servicio de la humanidad; pues en algunos casos, debido al reducido número de equipos y al mal estado de los existentes, se obliga a prestar un servicio no óptimo, aumentando el riesgo de complicaciones en los pacientes al trasladarlos a otros centros hospitalarios que ofrezcan mayores garantías de vida.

Como estudiantes de Ingeniería Electrónica y teniendo en cuenta el gran compromiso social, donde el ser humano es el centro de todo desarrollo, nos proponemos contribuir con el progreso de nuestro departamento, en el área médica, utilizando herramientas fundamentales de la electrónica como el control, la instrumentación y las comunicaciones; integrándolas en una aplicación práctica, Mediante un sistema de Monitoreo y Control aplicado a Incubadoras Neonatales.

La necesidad de mejorar la calidad de vida de los niños recién nacidos y su familia, nos compromete en la búsqueda de oportunidades, y nos desafía a promover los medios necesarios, generando conciencia en una sociedad insensible a esta problemática, donde el salvaguardar la vida es la razón y prioridad que motiva este anhelo de servir a una comunidad indefensa y necesitada como los neonatos, manteniendo el objetivo de utilidad y practicidad de los equipos, sin derrochar grandes fortunas, siendo una forma de crecer y contribuir como personas formadas en el bien común, favoreciendo el progreso tecnológico con conciencia social, con el ánimo de aplicar y profundizar los conocimientos de la ingeniería electrónica –En las áreas de control, comunicaciones e instrumentación médica – con la necesidad de indagar diferentes áreas del saber y así desde nuestra profesión

⁸ La neonatología es una rama de la pediatría que se ocupa de los recién nacidos

solucionar una problemática social tangible donde se involucran diferentes ramas del saber como, la neonatología, los sistemas, la estadística, la pedagogía, la electrónica, entre otras, además de generar procesos de formación continua, donde podamos capacitar en diferentes áreas al personal directamente relacionado con el manejo de estas tecnologías.

—En virtud a la utilización del sistema en los centros de servicios de salud; se reconoce la importancia de la calidad del equipo con el fin de garantizar la seguridad y fiabilidad tanto para la salud humana como del mismo equipo, teniendo en cuenta los estándares y normas relacionadas de nuestro país. Este proyecto requiere de diferentes ramas del conocimiento, de las ciencias sociales, naturales, médicas, la arquitectura, el diseño industrial y por supuesto la ingeniería electrónica entre otras.

En el área de la instrumentación —Es necesario fortalecer los conocimientos y las técnicas para la adquisición y acondicionamiento de las señales para luego ser tratadas; ya que exige la implementación de dispositivos sensores y actuadores, que garanticen la confiabilidad de las señales y condiciones de seguridad con óptima operación—

En el área de control —exigiendo procesos de funcionamiento robustos, que aseguren un porcentaje de error mínimo, logrando elegir el método más apropiado para optimizar estos procesos, teniendo en cuenta que las condiciones de operación de estos equipos deben ser muy estables—

Un sistema de comunicaciones y monitoreo confiable —que esté en la capacidad de reconocer errores en la comunicación, para poder solucionarlos por medio de una retransmisión de la información con protocolos flexibles que garanticen la veracidad de los datos así como su representación y significado para facilitar el diagnóstico y prevención de estados del paciente—

Todos estos sistemas deben estar respaldados por diferentes medidas de seguridad que permitan detectar algún problema, ya sea de carácter médico o técnico pues una falla en el sistema puede acarrear graves consecuencias mortales para el paciente y lamentables en la misión médica.

Con el fin de ofrecer una solución práctica con respecto a las necesidades de nuestra región es fundamental conocer el estado y uso de la tecnología en esta área, pero en los preliminares realizados para identificar la problemática planteada, no existe esta información luego es necesario centrar su búsqueda y para tal efecto se han elegido las ciudades de Tunja, Duitama y Sogamoso.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

Diseñar un sistema de Monitoreo y Control aplicado a Incubadoras Neonatales, donde se controlen y monitoreen variables como: Temperatura de incubación y Humedad relativa; además que permita la visualización del peso del neonato, contando con la seguridad apropiada para su operación y manipulación, de acuerdo a las limitaciones de la región a nivel tecnológico y económico; con el fin de garantizar confiabilidad en las señales procesadas; brindando así parámetros para el diagnóstico e intervención médica; mediante la utilización de la instrumentación y la estrategia de control adecuada que optimice estas tareas.

1.3.2 Específicos

- ✓ Determinar y proponer un sistema de control y monitoreo de temperatura, conveniente para la unidad de incubación, seleccionándolo de diferentes alternativas de control aprendidas en el transcurso de la investigación.
- ✓ Establecer y plantear un sistema de control y monitoreo de humedad relativa, apropiado para la unidad de incubación.
- ✓ Determinar y diseñar el sistema de monitoreo de peso del neonato en la unidad de incubación.
- ✓ Determinar y proponer un panel de manipulación y monitoreo local.
- ✓ Implementar una aplicación de software en un entorno amigable que permita la manipulación y observación gráfica del estado del sistema desde un PC.
- ✓ Diseñar el sistema de comunicación local y remota, más apropiada entre el PC y las unidades de incubación, así como dentro de cada unidad.
- ✓ Diseñar y proponer un sistema de instrumentación robusto que respalde y garantice la seguridad y operatividad eficiente del equipo con sus respectivas señales de alarma.
- ✓ Implementar el sistema de monitoreo y control aplicado a incubadoras neonatales, según los diseños y propuestas enunciadas, adaptándolos a los recursos disponibles en nuestro medio local, satisfaciendo las necesidades de la región.

1.2.1 Impacto Económico

El Costo / beneficio de la investigación es completamente justificable y proporcional; favoreciendo la economía de la región, ya que los resultados de la investigación son determinantes en el gasto publico de la salud, identificando la buena o mala asignación de recursos, con respecto al uso de estas inversiones en cuanto a mantenimiento y adquisición de equipos hospitalarios, concluyendo la conveniencia de invertir o no, grandes capitales, sobredimensionando los sistemas con respecto a las necesidades actuales de la región, favoreciendo la brecha de crisis hospitalaria.

La planeación de sistemas que se basen en la realidad de las necesidades, cumpliendo su objeto satisfactoriamente, con tecnología fácilmente adquirible e ingenio de la región, disminuye sustancialmente los costos de los equipos y su mantenimiento así como la rápida intervención para solucionar una falla; en caso de que se presente, por el mismo personal hospitalario, disminuyendo aun mas los costos de mantenimiento.

1.2.2 Aporte Al Conocimiento

Generación de una rama de investigación en la línea Control e Instrumentación de la facultad de Electrónica de la Universidad Santo Tomas Seccional Tunja, que revele la utilización de las tecnologías en la medicina, donde el estudio y la aplicación de conocimientos de especialistas de diferentes ramas tecnológicas se unen y se enfocan para solucionar una problemática real con un alto contenido social.

Construcción del estado del arte de esta problemática en la región ya delimitada, en cuanto a la aplicación y verificación del uso de una propuesta metodológica, guía para el desarrollo de este tipo de trabajos de investigación.

Generación de aplicaciones tecnológicas cuyo diseño, e implementación es un producto elaborado con ingenio boyacense.

Generación de conocimiento práctico y teórico en el manejo y cuidado de los equipos de incubación neonatal, en el contexto boyacense, manteniendo las recomendaciones técnicas y normativas que exige este tipo de equipos.

2 MARCO PRELIMINAR

La evolución de la Electrónica ha sido determinante en la implementación de los sistemas automáticos en el campo de la industria, donde se han desarrollado notablemente, diferentes aplicaciones y técnicas con resultados favorables. Y es el referente para desarrollarlos en los centros hospitalarios, ya que al aprovechar las potencialidades de los sistemas SCADA y del control distribuido, en organizaciones de esta índole, garantiza el mejoramiento de la calidad en la prestación de los servicios de la salud así como las condiciones de operación deseadas, la seguridad de pacientes y del personal operario, generando recursos de apoyo con parámetros que validan, facilitan y agilizan los procesos tanto de diagnóstico como de intervención médica.

Como se enuncia implícitamente en la parte introductoria, lo más importante de aplicar el conocimiento es tener la capacidad de conocer el proceso para poder identificar la forma de abordarlo y así poder proponer soluciones prácticas y eficientes sin poner en riesgo los sistemas, ni los productos, pero este concepto cambia un poco al referirnos a los bioprocesos ya que aquí, la solución no es lo relevante, pasando a ser una simple aplicación de acuerdo a la circunstancia, luego, lo que realmente importa son los beneficios y el confort de los actores del proceso (los pacientes) que para el caso son los neonatos; por lo cual el referente epistemológico sobre el tema debe ser profundo y muy objetivo.

Es así como se estructura este referente en dos grandes campos del conocimiento, la Medicina neonatal y la ingeniería electrónica.

2.1 BIOINGENIERÍA

2.1.1 Generalidades

Máximo Eugenio Valentinuzzi enuncia como marco de referencia para el desarrollo de la bioingeniería el principio de las siete lámparas de San Matesis⁹ significando la adquisición del conocimiento, la verdad clara y bella expresada matemáticamente.

La bioingeniería es útil y bella, exige imaginación (especialmente para ser creativo), se extiende ilimitadamente en todas sus áreas y ramas, con cierto misterio en algunos ámbitos, y permite también un toque religioso que puede ingresar casi en el terreno místico, cuando se tocan temas éticos y humanos, como puede ser en el caso de órganos artificiales, en unidades de cuidado intensivo o en ingeniería genética.¹⁰

⁹ Patrono de las matemáticas, suele estar rodeado por siete lámparas, donde cada una representa una característica de las matemáticas; (Utilidad, Imaginación, Poesía, creatividad, extensión ilimitada, misterio y mística)

¹⁰ VALENTINUZZI, Op. Cit., P 3

En la introducción se dejó claro que esta disciplina se divide en tres amplias áreas donde se procura resolver la problemática de las ciencias biológicas y para tal fin dispone de las ciencias exactas y de la ingeniería, generando toda una estructura que justifica su existencia, configura su conocimiento y define sus áreas de acción.

2.1.2 Disciplinas que la nutren

Las Ciencias básicas generales, dentro de las cuales se encuentran: Biología, Fisiología, Química, Física, Matemáticas, Electrónica, Computación e Informática entre otras.

Las ciencias Básicas Interdisciplinarias, como: Biofísica, Biomecánica, Bioquímica y otras.

Las Disciplinas componentes, como: Bioinstrumentación, Bioelectrónica, Biomecánica, Biocibernética, Biónica, bioinformática, procesamiento de señales biológicas, etc.

Y los campos de aplicación son: la medicina, salud pública, rehabilitación, medicina veterinaria, agricultura, zootecnia, ecología y medio ambiente, adaptación del hombre (Espacio, presiones, temperatura, etc.)

2.1.3 Evolución

En plena revolución del mundo científico y enfrentando grandes cambios dados por la revolución francesa y el imperio Napoleónico y su caída; Luigi Galvani (1737-1798) descubrió en 1791 que los músculos de la rana se contraían cuando se les tocaba simultáneamente con dos metales distintos. Según él, debido a que el tejido vivo poseía "electricidad animal". Pero el físico Alessandro Volta (1745-1827) demostró que la unión de dos metales diferentes podía mantener una corriente eléctrica sin presencia de tejido vivo. Generando polémica entre estos dos científicos.

Se generó entonces todo un movimiento integrado por Lord Byron, Shelley y Mary Godwin, quienes planteaban opciones para generar vida por medio de electricidad, además Aldini, sobrino de Galvani usaba el fluido eléctrico para "resucitar al casi muerto", elementos que llevaron a Mary Godwin a escribir el famoso libro Frankenstein.

Luego de la Primera Guerra Mundial aparece otro ejemplar denominado R.U.R por las iniciales en inglés de los Robots Universales de Rossum, que al igual que Frankenstein, Rossum era un científico que había hallado el secreto para crear hombres artificiales (robots). Y así sin número de literatura donde las circunstancias descritas allí dieron las pautas para tratar de resolver las dificultades a las que se enfrentaba el hombre para adaptarse al medio. Problemas que pertenecen al área de la bioingeniería actual. Apareciendo como una mezcla entre la ficción literaria y la problemática real.

Eliminando ahora la fantasía, la analogía de los Frankenstein, con la contribución de los científicos, sobre todo en los últimos 40 años ha traído grandes avances, a tal punto que podemos afirmar que este es el siglo de la biología, se puede ilustrar rápidamente así:

Reemplazo de miembros traumatizados o enfermos con prótesis (miembros artificiales) controladas mioeléctricamente desde los músculos del muñón.

Bombas de infusión cardíaca, trasplantes de corazón, Válvulas cardíacas artificiales, arterias artificiales para aneurismas, injertos coronarios, lentes de contacto, audífonos, prótesis dentales, rehabilitación de músculos, etc. Y aun el campo de acción y aplicación sigue creciendo gracias al aporte de la evolución de las ciencias de las ingenierías.

2.1.4 Perspectiva nacional

Colombia tiene un papel protagónico en el tema de la bioingeniería desde los años 60 con la invención del Marcapasos cardíacos (El primero diseñado y construido por el Dr. Colombiano Jorge Reynolds Pombo), y una válvula para el tratamiento de la hidrocefalia por el Dr Salomón Hakim, M. D y el Ing. José Gabriel Venegas. Así como la biotelemetría cardíaca de las ballenas, en julio de 1970 se hace la primera transmisión de un electrocardiograma de doble vía SSB Londres- Bogotá. En 1971 se realiza una transmisión Bogotá – Miami – Bogotá, galardonada con la medalla Guillermo Lee Stiles. En 1990 se diseña y construye por estudiantes de la universidad Jorge Tadeo Lozano un modulo satelital para el seguimiento de electrocardiográfico a una ballena en la isla Gorgona.

Así, se fueron conformando grupos dedicados a la biomecánica, extendiéndose a otros departamentos de ingeniería en la universidad de los Andes. Hacia los años de 1980 y 1987, el equipo liderado por el Ing. Luís Enrique Amaya y el Medico Alejandro Arciniegas, recibió premios por sus aportes en oftalmología con el modelo de la “Biomecánica del ojo”. Académicamente se crearon en diferentes universidades grupos de investigación y programas de ingeniería y se vinculo la bioingeniería dentro de programas de ingeniería electrónica. Y desde los 80 se ofrecen programas técnicos en electromedicina en la universidad Distrital y le Escuela Colombiana de Carreras Industriales.

Hace aproximadamente 25 años, Universidades como la Javeriana, Los Andes, Antioquia, Valle, e Industrial de Santander, han Producido variadas publicaciones y tesis relacionadas con la bioingeniería en diferentes campos del conocimiento. Entre 1989 y 1991 se estructuro en Bucaramanga, el primer programa de educación superior en Bioingeniería, La especialización Tecnológica en equipo electromédico, en las unidades tecnológicas de Santander otorgando el titulo de especialización tecnológica en electromedicina.

En 1993, en Bucaramanga se llevo a cabo el primer seminario de “Bioingeniería electrónica Médica” y se fundo la Asociación Colombiana de Bioingeniería y Electrónica Médica ABIOIN. En 1994 la Universidad Antonio Nariño, inicio un programa de ingeniería biomédica. Los Andes ofreció la especialización en ingeniería hospitalaria.

En 1995, se organizo en Bucaramanga el seminario internacional de bioingeniería: “Prospectiva de la tecnología informática y la bioingeniería siglo XXI”

En 1996, la Universidad Manuela Beltrán introdujo la carrera de bioingeniería con énfasis en ingeniería biomédica, ingeniería hospitalaria, ingeniería de biorecursos e ingeniería de salud ambiental, pero hoy se concentra en ingeniería biomédica. Así como la realización en Bucaramanga del “VII Simposio latinoamericano de ingeniería Biomédica”, la “Feria internacional de equipo medico y electrobiorológico” y la “VII reunión del concejo regional de ingeniería biomédica para América latina CORAL”

En 1998, en Bucaramanga se realizo un evento denominado “Hospital Virtual” con la participación de más de 20 entidades entre internacionales como nacionales. Y actualmente se han organizado muchos eventos más, que han logrado reunir los exponentes más importantes de la bioingeniería y sus ramas afines, como en el 2005 dentro de las instalaciones del Congreso de la republica colombiano “El Capitolio Nacional” se realizó el II Congreso Colombiano de Bioingeniería e Ingeniería Biomédica, donde se promovieron los avances científicos y tecnológicos en áreas como el procesamiento digital de señales biológicas e imágenes médicas, biomecánica, rehabilitación, medicina del deporte, gestión de tecnología e ingeniería hospitalaria clínica, Nanotecnología, avances en cardiología, biotecnología y telemedicina; mediante la integración entre los diversos protagonistas de las ciencias biomédicas y organismos tanto nacionales como internacionales. En el cual se participo activamente mediante la presentación de una ponencia en la modalidad de póster, donde se socializaba la evolución del trabajo expuesto en el desarrollo de esta monografía.

2.1.5 Lineamientos regionales

En este momento se presenta una gran Oportunidad en Boyacá para el desarrollo de técnicas, procedimientos e investigaciones a nivel médico hospitalario, en donde las instituciones prestadoras de servicios en salud definen dentro de sus políticas, cumplir con los requisitos exigidos por la normatividad Colombiana y mejorar continuamente la calidad de sus procesos para alcanzar estándares competitivos. Así empresas locales como REM Equipos, Vital Medik y Mantecmed entre otras, han dedicado la mayor parte de sus esfuerzos al mantenimiento y asesorías en cuanto a las tecnologías existentes, mediante procesos IMP (Inspección Mantenimiento Preventivo) pero las limitaciones de la región han dificultado la innovación y producción de nuevas ciencias aplicadas.

A partir de los trabajos de investigación que se han venido desarrollando, en el Grupo Vital Signal & Control Medical Equipment USTA Investigation and Development (VSC I+D USTA), se ha dado comienzo a una incesante tarea, donde tanto las instituciones educativas como las prestadoras de servicios en salud, se unen en la búsqueda de propuestas viables que optimicen los procedimientos y recursos clínicos hospitalarios, mediante el uso de la ingeniería aplicada.

2.2 AUTOMATIZACIÓN ELECTRÓNICA

2.2.1 Generalidades

La Automatización es el resultado de la evolución en el diseño de máquinas. En un principio eran muy complejas, diseñadas para realizar tareas fijas en circunstancias predefinidas; pero el cambio de condiciones, obligaba a ajustar manualmente los equipos y muchas veces cambiarlos completamente para cumplir con sus funciones de procesamiento y fabricación de algún insumo o producto final. Pero como la velocidad de producción era relativamente lenta no representaba mayor problema, sin embargo se vio la necesidad de acelerar los procesos. Y es así que durante la revolución industrial de finales del siglo XVIII y principios del XIX, se desarrollaron máquinas más veloces y fácilmente adaptables sin ajustes manuales. Apareciendo así el concepto de Automatización.

Esta se desarrolla rápidamente como herramienta que garantiza el mejoramiento de la manufactura convirtiendo los antes, procesos arduos y muchas veces peligrosos en eficientes y precisos elementos integradores tanto de lo administrativo como lo operativo, optimizando las organizaciones a todo nivel.

2.2.2 Disciplinas que la nutren

Un Sistema automatizado ajusta su operación en respuesta al cambio de las condiciones externas, de acuerdo con tres etapas básicas: Medición, Evaluación y Control.

○ **Medición:** Para que un Sistema de Automatización responda a los estímulos del ambiente, debe ser capaz de medir las diferentes variables físicas que se presentan en ese ambiente. Por ejemplo, si se desea controlar la rata de flujo de aire por un ducto específico, será obligatorio poder medir la rata de flujo existente en un momento determinado. Si la intención es controlar la iluminación de un lugar, será indispensable poder medir la intensidad de la iluminación exterior, o por lo menos el tiempo de reacción del Sistema. Estas mediciones le entregan la información requerida al Sistema para que pueda cumplir con su función.

○ **Evaluación:** La información medida, una vez recibida por el Sistema, es evaluada para determinar si se debe iniciar una acción correctiva. Por ejemplo, un Sistema evalúa la cantidad de energía que proviene de la empresa pública y determina que hay una falla en el fluido eléctrico e inmediatamente ordena corregir el problema, activando el generador de emergencia. La evaluación determina con precisión, que clase de acción correctiva es necesaria, por cuanto tiempo y cual de los generadores es el que reemplaza la energía proveniente de la entidad pública, para el sector afectado.

- **Control:** El último paso de la Automatización es el referente a la acción resultante de la medición y de la evaluación, cuando el generador de emergencia arranca y surte de energía al lugar que la requiere.

En muchos Sistemas de Automatización, estas etapas básicas pueden ser difíciles de identificar porque se puede requerir la interacción de más de un proceso o de más de una medición, bien sea del mismo aspecto o de un aspecto adicional que se encuentra en otro punto de la cadena, de requisitos ó condiciones indispensables, para ejecutar una acción determinada. (Ver Control Pág. 98).

2.2.3 Evolución

En la industria química se desarrollaron tecnologías de Automatización para regular variables como la presión y temperatura involucradas en la producción. La industria de alimentos halló que el empaque, embotellado y sellado, así como la producción de los alimentos en sí, se podía realizar de manera más eficiente a través del uso de sistemas automatizados.

Los métodos de Automatización se refinaron en desarrollos como sistemas de guía de aeronaves y pilotos automáticos.

El desarrollo de los computadores digitales, que pueden monitorear condiciones externas y efectuar cambios adecuados en respuesta, dio renovados impulsos a las aplicaciones de la Automatización.

Hoy en día, a través de la Automatización se puede controlar una refinería de petróleo con la participación de unos cuantos operarios. Robots industriales desempeñan numerosas funciones en las líneas de ensamblaje y los dispositivos espaciales y las sondas de espacio profundo controlan su funcionamiento de manera autónoma.

2.2.4 Perspectiva nacional

Los empresarios y las universidades colombianas son cada vez más concientes del reto que les impone esta necesidad. Desde 1994, se han realizado encuentros nacionales e internacionales, año tras año, que han impulsado el desarrollo de la automatización y el control, donde los estudiantes, profesores, profesionales y empresarios de Colombia y el exterior, que trabajan en áreas de automatización, control y afines, muestran los últimos trabajos especializados, los recientes avances tecnológicos y la última tecnología utilizada por las empresas.

La Automatización ha permitido a las empresas la modernización necesaria para competir adecuadamente en el mercado nacional e internacional al aumentar la productividad, mejorar la calidad de sus productos, disminuir los riesgos y niveles de contaminación durante la producción, mejorar el ambiente de trabajo. Integrando los sistemas informáticos

y los sistemas de control; (esfuerzo de administradores, ingenieros, técnicos, obreros, dirigentes, empresas, universidades, gobierno, etc.)

Con estos eventos, la ACA (Asociación Colombiana de Automática) proporciona un espacio académico para presentar los trabajos que se están realizando en las universidades y empresas del país y, de esa manera, mostrar los avances en el área de la automatización y control en el mundo y en Colombia, compartir experiencias, estrechar vínculos y plantear proyectos en cooperación.

En su última versión (VI) se presentaron conferencias y trabajos en temas relacionados con:

- ✓ Modelado, identificación y simulación de sistemas dinámicos
- ✓ Teoría del control y aplicación
- ✓ Instrumentación y control de procesos industriales
- ✓ Sistemas de tiempo real
- ✓ Automatización de procesos de manufactura
- ✓ Sistemas distribuidos de control
- ✓ Robótica
- ✓ Inteligencia artificial
- ✓ Sistemas expertos
- ✓ Procesamiento digital de señales e imágenes
- ✓ Control de máquinas eléctricas y sistemas de potencia
- ✓ Mecatrónica
- ✓ Sistemas de guía y control de aeronaves
- ✓ Educación en automatización y control
- ✓ Automatización de procesos de manufactura.

Las conferencias especializadas, Fueron desarrolladas por conferencistas internacionales¹¹ que presentaron los últimos desarrollos científicos y tecnológicos en diferentes áreas de la Automatización y el Control.

¹¹, Prof. Dr. Ir. (Ingeniero) Joos Vandewalle, KULeuven, Bélgica

Ingeniero Electromecánico en la Universidad Católica de Lovaina (KULeuven) en 1971 y de doctorado en Ciencias Aplicadas en 1976 en la misma Universidad. Trabaja como profesor titular y vicedecano de Ingeniería en la Universidad Católica de Lovaina en el departamento de Ingeniería Electrónica ESAT. Su área de interés principal está relacionada con la investigación sobre sistemas no lineales y redes neuronales.

Prof. Dr. Ir. (ingeniero) Koenraad Debackere, KULeuven, Bélgica

Ingeniero Eléctrico de la Universidad de Gante y de Administración en Massachusetts Institute of Technology (MIT). Actualmente es profesor titular en Gestión de la Innovación y la Tecnología en la Universidad de Lovaina y a su vez, director del Departamento de Investigación y Desarrollo de esta Universidad. Ha sido profesor visitante en las universidades de Nijmegen Business School y Vlerick School voor Management. El profesor Debackere ha recibido diversos reconocimientos internacionales y nominaciones por sus actividades de investigación en el área de gestión de la innovación y la tecnología.

3 MARCO TEÓRICO

Como vimos en los preliminares de los sistemas automatizados la medición hace referencia a la adquisición de señales y su comparación con un patrón determinado, pero la adquisición de señales esta conformada a su vez por varios elementos como lo son la transducción, el sensado, el acondicionamiento que a su vez incluye el filtrado y amplificación de las señales. La evaluación se refiere a la comparación con el patrón pero para esto es necesario pasar por un procesamiento de la señal, su análisis cuantitativo y cualitativo, que incluye la presentación de las señales (monitoreo) en los formatos adecuados para poder ser interpretada tanto por los sistemas electrónicos como por los usuarios para luego ser el determinante de la acción de control; en este capítulo se describen estas tres grandes fases con sus respectivos subtemas y su integración en los sistemas SCADA.

3.1 CONSIDERACIONES MÉDICAS

Como se mencionaba al comienzo de este texto, las ciencias de la salud se apoyan en las herramientas de la ingeniería para poder desarrollar sistemas, instrumentos y métodos que permitan el mejoramiento y la tecnificación de los procedimientos; así mismo, la ingeniería tiene el compromiso de conocer las diferentes consideraciones médicas, que inciden en un proceso biológico, de esta forma, se puede interactuar con él y se permite que los sistemas biomédicos adquieran un mayor grado de confiabilidad y robustez. A continuación, se presentan algunas de las principales consideraciones médicas a tener en cuenta en una unidad de neonatología.

Dr. Ing. Jairo José Espinosa Oviedo. Colombia

Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital de Bogotá y obtuvo su título de Magister en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Católica de Lovaina en 1994. Allí mismo recibió su Ph.D en el 2001. Sus principales actividades de investigación se han centrado en: Control inteligente (Modelización Fuzzy y Control) y Control Multivariable.

Prof.Dr.Ir.A. Van Cauwenberghe, Bélgica

Magister en Ingeniería Química y Electrónica en Gante en 1958 y '61. Luego obtuvo el título de Magister en la Universidad de Princeton en 1962. Recibió el título de Doctor en Ciencias Aplicadas (PhD) en la Universidad de Gante en 1965. Desde 1969 es profesor titular en Ingeniería de Control y Director del departamento de Control Automático en la misma universidad. Su principal interés está enfocado en el área de procesos químicos. El profesor Van Cauwenberghe es autor o coautor de aproximadamente 150 papers científicos.

Prof.Dr.ir. Robin DE KEYSER, Bélgica

Ingeniero electromecánico y de doctorado en Ingeniería de control en la Universidad de Gante, Bélgica. Actualmente trabaja como profesor e investigador en diferentes campos del control avanzado en la misma Universidad. Fue uno de los pioneros en introducir el concepto original del Control Predictivo. Ha desarrollado la estrategia de control predictivo EPSAC, y es coinventor de varias patentes relacionadas a este método. Es coautor de mas de 200 papers, conferencista internacional y consultor de varias organizaciones en Bélgica y el extranjero

3.1.1 Recién Nacido Pretérmino

Se considera recién nacido pretérmino o prematuro a todo bebe nacido antes de las 37 semanas de edad gestacional, (ver figura 3); dentro de estos bebes, cabe diferenciar a los prematuros grandes, que tienen mas de 34 semanas de edad gestacional y un peso de aproximadamente 2Kg, muchos de estos niños, pueden estar con su madre algunas horas después del parto; pero también hay bebes de 34 semanas o menores, que requieren internación en una Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales (UCIN), estos periodos de internación pueden llegar hasta los tres meses para bebes entre 25 y 28 semanas de edad gestacional, con pesos muchas veces menores de 1000g y posibilidades de vida reducidas si no se cuenta con atención médica especializada. Los bebes prematuros o neonatos, necesitan de condiciones especiales para su cuidado, debido a que en muchos casos su superficie corporal es muy grande en relación a su masa corporal; lo que les lleva a perder calor rápidamente si no se encuentran en un ambiente controlado.

Figura 3. Recién nacido pretérmino.



Tomado de http://hgm.salud.gob.mx/ensenanza/temario/pdf/Recien_nacido_alto.pdf. Obtenido de Internet el 18 de Septiembre de 2005. 2:10 p.m.

3.1.1.1 Causas Del Nacimiento Prematuro

No existe una causa única para los nacimientos prematuros, algunos factores a tener en cuenta, son el embarazo adolescente, las malas condiciones socioeconómicas, la hipertensión, diabetes, enfermedades renal, cardiaca o pulmonar crónica materna, infecciones en el embarazo, embarazo múltiple, embarazo no controlado, malformaciones fetales¹². Sin embargo, en muchos casos el nacimiento prematuro es una situación inesperada.

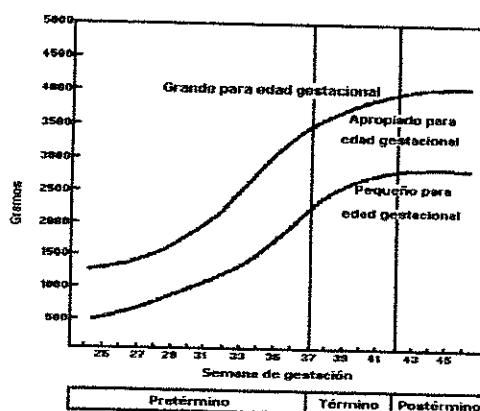
3.1.1.2 Bajo Peso

El peso es una variable determinante en el estado clínico de un neonato y está relacionado estrechamente con la edad gestacional, convirtiéndose en un factor para determinar si el neonato es grande, pequeño, o tiene un peso apropiado para sus semanas de gestación (el crecimiento y desarrollo intrauterinos se encuentran representados en la figura 4). Si un

¹² <http://www.zonapediatrica.com/patologias/prematuros.htm>. Obtenido de Internet el 25 de Enero de 2005. 9:20 p.m.

bebe tiene menos semanas de edad gestacional, tendrá un peso menor (ver tabla 1), y por tanto su temperatura será baja debido a los limitados depósitos de grasa que posee. “Los depósitos de grasa están limitados debido a que la mayor parte de la grasa fetal se deposita en las últimas seis semanas de gestación, constituyendo solo el 1% del peso corporal total de un niño que pesa 1000g. En contraste, el 16% del peso corporal total de un niño a término (3500g) es grasa.”¹³

Figura 4. Crecimiento y Desarrollo Intrauterinos.



Adaptado de http://hgm.salud.gob.mx/ensenanza/temario/pdf/Recien_nacido_alto.pdf. Obtenido de Internet el 18 de Septiembre de 2005. 2:10 p.m.

Tabla 1. Peso, talla y superficie corporal a distintas edades gestacionales

SEMANAS	PESO (G)	TALLA (CM)	SUPERFICIE CORPORAL (M ²)
28	1100	37.5	0.10
30	1350	39.5	0.12
32	1650	42.5	0.13
34	2100	46.0	0.16
36	2600	47.0	0.18
38	3000	48.5	0.19
40	3200	49.0	0.20
42	3300	49.5	0.20

Fuente. Luís Jasso Gutiérrez, “NEONATOLOGÍA PRÁCTICA”. 4ed. México. El Manual Moderno, S.A. de C.V. 1995.

3.1.2 Temperatura Corporal

Durante muchos años existió la creencia que el ser humano era un animal poiquiloterma, y que las bajas temperaturas corporales que experimentaba después del nacimiento, eran

¹³ José Alberto Correa V., “FUNDAMENTOS DE PEDIATRÍA”. Tomo I. Medellín, Colombia. Corporación para investigaciones biológicas. 1999.

normales; pero después de investigaciones realizadas por el Dr. Budín a comienzos del siglo XX, y por el Dr. W. Silverman en la década de los sesenta, se demostró que el ser humano es un animal homeotermo. El recién nacido comparte la misma regla física, pero posee una capacidad limitada para defenderse tanto de ambientes fríos, como cálidos. En el momento del nacimiento, la transición del ambiente intrauterino al extrauterino, genera un cambio térmico significativo de difícil adaptación para el recién nacido, provocando en él un enfriamiento considerable.

3.1.2.1 Facilidad de Enfriamiento en el Recién Nacido

Se mencionaba anteriormente que los seres humanos son homeotermos, lo que quiere decir, que tienen la capacidad de mantener su temperatura corporal en un nivel estable; dicha regulación se realiza mediante mecanismos encargados de controlar las pérdidas y producción de calor. Si un recién nacido pretérmino tiene una temperatura corporal baja, puede ser el resultado de una mala regulación térmica, que responde a excesivas pérdidas de calor, o a una escasa producción del mismo.

⇒ Pérdidas de calor en el recién nacido

Existen múltiples factores, que influyen en las pérdidas de calor en el recién nacido, a continuación se observan algunos de ellos.

➤ Alta relación de superficie / volumen

Mientras mas pequeño sea el neonato, será mayor su relación superficie / volumen, y va a adoptar una forma mas plana; por tanto, las perdidas de calor serán mas altas.

➤ Menor aislamiento cutáneo

Con relación a un adulto, los recién nacidos presentan una capa limitada de grasa subcutánea, un menor desarrollo muscular y de otros tejidos. En los recién nacidos pretérmino, estas limitaciones son mayores, lo que aumenta las pérdidas de calor por evaporación.

➤ Control vasomotor

La habilidad para regular flujo sanguíneo periférico se denomina vasoconstricción cutánea, de esta forma, el organismo se aísla del frío externo. El control vasomotor, se encuentra desarrollado en recién nacidos a término, pero no es tan efectivo en los bebés prematuros; y su efectividad va disminuyendo con una mayor prematuridad.

➤ Postura corporal

Los mamíferos, tienen la tendencia de adoptar la denominada posición fetal como mecanismo de defensa contra el frío, disminuyendo de esta forma, la exposición de superficie corporal al medio ambiente. Los Recién Nacidos Pretérmino, tienen una posición

con sus miembros extendidos, lo que aumenta la superficie corporal expuesta al medio ambiente.

En la siguiente tabla, se realiza una comparación de las pérdidas de calor de los recién nacidos y recién nacidos pretérmino, con relación a las pérdidas registradas por un adulto. Se puede observar, que en los bebés prematuros las pérdidas son mucho mayores en cada uno de los ítems analizados.

Tabla 2. Mayores pérdidas de calor del recién nacido y prematuro en comparación al adulto en condiciones ambientales semejantes (Desnudos 28°C de temperatura ambiental, 50% de humedad)

	ADULTO	RN 3 KG	RN PR 1,5 KG
Mayor relación sup/vol	1	2,7	3,5
Mayor conductancia de la piel	1	1,4	1,6
Total mayores pérdidas de calor por Kg. de peso	1	4,0	5 o más

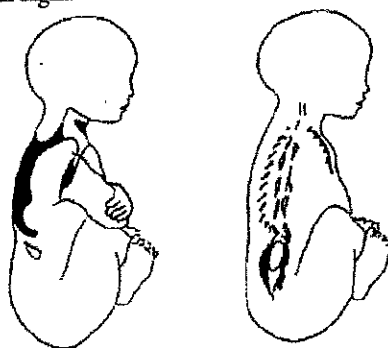
Tomada de <http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/ManualPed/RNTermorreg.html>. Dr. Patricio Ventura-Juncá. Obtenido de Internet el 27 de Septiembre de 2005. 9:15 p.m.

3.1.2.2 Termorregulación

La termorregulación es la capacidad de regular la energía calórica; en el cuerpo, esta regulación es realizada mediante actividad muscular y metabólica. En el recién nacido, el salir de un ambiente controlado (vientre materno), a un ambiente en donde tiene que soportar cambios drásticos de temperatura, le obliga a activar mecanismos de termorregulación por medio de una producción metabólica de calor; ya que no puede producir calor por actividad muscular debido al escaso control sobre sus extremidades. "Los recién nacidos de término tienen una fuente de producción de calor en la grasa parda localizada en la nuca, cuello, región ínter escapular, mediastino y alrededor de los riñones, esta grasa se encuentra altamente vascularizada e inervada por neuronas simpáticas. Cuando el frío se presenta, los niveles de norepinefrina se incrementan estimulando la lipólisis, por lo que la mayoría de los ácidos grasos libres son reesterificados u oxidados, de esta manera se produce calor"¹⁴. Los bebés prematuros tienen escasas reservas de grasa parda, lo que les lleva a recibir una pequeña cantidad de calorías, que es aprovechada en la termorregulación, y por tanto, no es utilizada para ayudar al crecimiento del neonato. En la figura 5 se puede ver la distribución de la grasa parda en el organismo.

¹⁴ Aceves Gómez Manuel M., "Control de la Temperatura Corporal en el Recién Nacido", México, Instituto Mexicano del Seguro Social, Páginas 1-15. <http://aroba-ingenieria.com/file/20010223122716.pdf>. Obtenido de Internet el 6 de Abril de 2005. 9:15 p.m.

Figura 5. Distribución de la grasa parda en el organismo.



Tomada de http://www.datex-ohmeda.es/aula-bioingenieria/todos_los_articulos/colaboracion/Numero-09-Colaboracion-01.pdf. Obtenido de Internet el 4 de Octubre de 2004. 10:00 p.m.

Los ambientes cálidos, también representan una dificultad en el proceso de termorregulación del neonato. Así como el recién nacido tiene facilidad para enfriarse en ambientes fríos, también tiene mayor facilidad para absorber calor en ambientes cálidos. Debido a la inmadurez de sus glándulas sudoríparas, el neonato, corre un alto riesgo de aumento excesivo de su temperatura corporal. Si se trata de un recién nacido pretérmino, el grado de desarrollo de las glándulas sudoríparas es aún menor.

⇒ Mecanismos de transmisión y pérdida de calor

Ya que el calor es una forma de energía, tiende a igualarse cuando existe una diferencia de temperatura con los objetos y el medio que los rodea. Es por esto que existen cuatro formas de perder calor en el recién nacido, descritas a continuación:

➤ Evaporación

Se pierde calor en el proceso de conversión de agua a estado gaseoso. “Los factores que afectan las pérdidas por evaporación son: área de superficie del niño, presión de vapor, velocidad del aire. Cabello y superficie corporal húmeda en sala de parto o durante el baño”¹⁵. (Ver Figura 6a).

➤ Conducción

Es la transferencia de calor que se produce al poner en contacto la superficie corporal del niño con otra superficie sólida. “Los siguientes factores influyen la conducción: tamaño del área de contacto, gradiente de temperatura entre las superficies, coeficiente de conductividad de la superficie sólida”. (Ver Figura 6b).

➤ Convección

Es la transferencia de calor que ocurre entre el niño y un fluido, que puede ser agua o aire. “Los factores que determinan las pérdidas por convección relevantes para el cuidado de enfermería son los siguientes: Gran área de superficie del niño, velocidad flujo de aire y turbulencias, gradiente de temperatura, diámetro de las extremidades del niño”. (Ver Figura 6c).

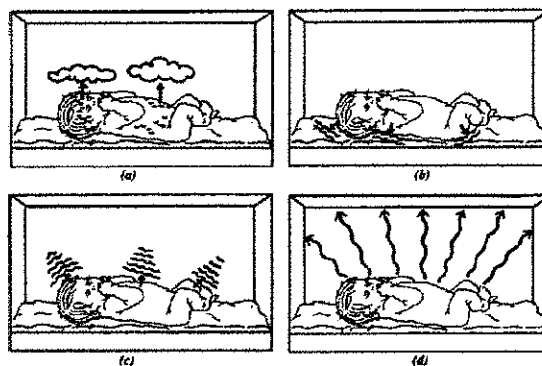
¹⁵, <http://www.redclinica.cl/html/archivos/05.pdf>. Obtenido de Internet el 16 de Mayo de 2005. 2:15 p.m.

➤ Radiación

Es la transferencia de calor que se da entre cuerpos a distancia por ondas del espectro electromagnético. “Los factores que afectan el flujo radiante son: emisividad (poder de emitir calor) de las superficies radiantes, gradiente de temperatura entre las superficies sólidas, área de superficie de los cuerpos sólidos, distancia entre las superficies”. (Ver Figura 6d).

Es importante resaltar que la conducción, la convección y la radiación; son mecanismos que además de contribuir con las pérdidas de calor, también favorecen una ganancia calórica para el neonato,

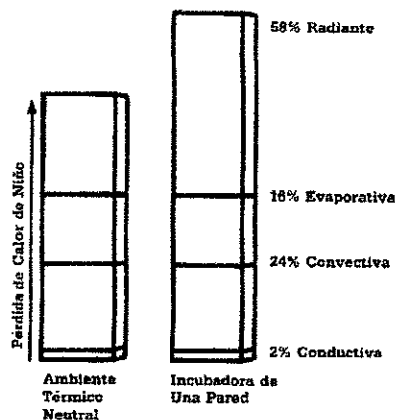
Figura 6. Representación de las cuatro maneras de perder calor en el recién nacido.



Tomada de: <http://www.fee.unicamp.br/deb/incubadora.pdf>. Obtenido de Internet 16 de Mayo de 2005. 2:15 p.m.

En la figura 7 está representada la pérdida de calor de un niño desnudo de 4 días de edad con 1.5 Kg. de peso y temperatura rectal de 37°C en un ambiente sin corriente de aire y con humedad moderada. La grafica de la izquierda muestra la pérdida de calor del niño cuando se encuentra en un ambiente térmico neutral de 34°C , mientras que la gráfica de la derecha ilustra el comportamiento de una incubadora de pared simple a 34°C en una habitación a 21°C .

Figura 7. Pérdidas de calor de un Neonato



Tomada de <http://arroba-ingenieria.com/file/20010223122716.pdf>. Obtenido de Internet el 6 de Abril de 2005. 9:15 pm.

⇒ Ambiente térmico neutral

Para disminuir las pérdidas de calor en el recién nacido, se recomienda mantenerlo en un ambiente térmico neutral, en donde el consumo de oxígeno y producción de calor sean mínimos; este rango de temperaturas se denomina zona térmica neutral, que es definida por la Comisión de Sociedades Fisiológicas como: "El rango de temperatura ambiente, en el cual, el gasto metabólico se mantiene en lo mínimo, y la regulación de temperatura se efectúa por mecanismos físicos no evaporativos, manteniéndose la temperatura corporal profunda en rangos normales"¹⁶. En la siguiente tabla se observan las temperaturas para conseguir un ambiente termo neutral, relacionadas con la edad y peso del neonato.

Tabla 3. Temperaturas para conseguir un ambiente termo neutral

Edad y peso del neonato	Temperatura inicial [°C]	Rango de temperatura [°C]
De 0 a 6 horas		
menos de 1200 g	35.0	34.0 a 35.4
de 1200 a 1500 g	34.1	33.9 a 34.4
de 1501 a 2500 g	33.4	32.8 a 33.8
más de 2500 g y +36 semanas	32.9	32.0 a 33.8
De 6 a 12 horas		
menos de 1200 g	35.0	34.0 a 35.4
de 1200 a 1500 g	34.0	33.5 a 34.4
de 1501 a 2500 g	33.1	32.2 a 33.8
más de 2500 g y +36 semanas	32.8	31.4 a 33.8
De 12 a 24 horas		
menos de 1200 g	34.0	34.0 a 35.4
de 1200 a 1500 g	33.8	33.3 a 34.3
de 1501 a 2500 g	32.8	31.8 a 33.8
más de 2500 g y +36 semanas	32.4	31.0 a 33.7
De 24 a 36 horas		
menos de 1200 g	34.0	34.0 a 35.0
de 1200 a 1500 g	33.6	33.1 a 34.2
de 1501 a 2500 g	32.6	31.6 a 33.5
más de 2500 g y +36 semanas	32.1	30.7 a 33.5

Edad y peso del neonato	Temperatura inicial [°C]	Rango de temperatura [°C]
De 36 a 48 horas		
menos de 1200 g	34.0	34.0 a 35.0
de 1200 a 1500 g	33.5	33.0 a 34.0
de 1501 a 2500 g	32.5	31.4 a 33.5
más de 2500 g y +36 semanas	31.9	30.5 a 33.3
De 48 a 72 horas		
menos de 1200 g	34.0	34.0 a 35.0
de 1200 a 1500 g	33.5	33.0 a 34.0
de 1501 a 2500 g	32.3	31.2 a 33.4
más de 2500 g y +36 semanas	31.7	30.1 a 33.2
De 72 a 96 horas		
menos de 1200 g	34.0	34.0 a 35.0
de 1200 a 1500 g	33.5	33.0 a 34.0
de 1501 a 2500 g	32.2	31.1 a 33.2
más de 2500 g y +36 semanas	31.3	29.8 a 32.8
De 4 a 12 días		
menos de 1500 g		
de 1501 a 2500 g	33.5	33.0 a 34.0
más de 2500 g y +36 semanas	32.1	31.0 a 33.2
de 4 a 5 días	31.0	29.5 a 32.6
de 5 a 6 días	30.9	29.4 a 32.3
de 6 a 8 días	30.6	29.0 a 32.2
de 8 a 10 días ó mas	30.3	29.0 a 31.4

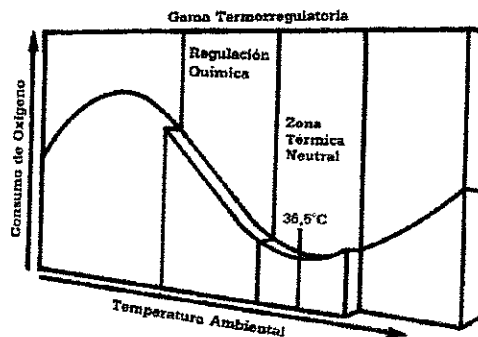
Fuente: <http://arroba-ingenieria.com/file/20010223122716.pdf>. Obtenido de Internet el 6 de Abril de 2005. 9:15 p.m.

En el manejo del ambiente térmico neutral, es importante considerar, por parte del recién nacido, su edad gestacional, peso, edad postnatal, vestimenta, y si sufre algún tipo de enfermedad; y por parte del ambiente, la temperatura, humedad, presencia de corrientes de aire y la temperatura de las superficies radiantes cercanas: sol, calefactores, paredes, ventanas etc.

¹⁶ Aceves Gómez Manuel M., "Control de la Temperatura Corporal en el Recién Nacido", México, Instituto Mexicano del Seguro Social, Páginas 1-15. <http://arroba-ingenieria.com/file/20010223122716.pdf>. Obtenido de Internet el 6 de Abril de 2005. 9:15 p.m.

Los efectos de la temperatura ambiental sobre la producción de calor y el consumo de oxígeno, están ilustrados en la siguiente figura.

Figura 8. Efectos de la temperatura ambiental sobre la producción de calor



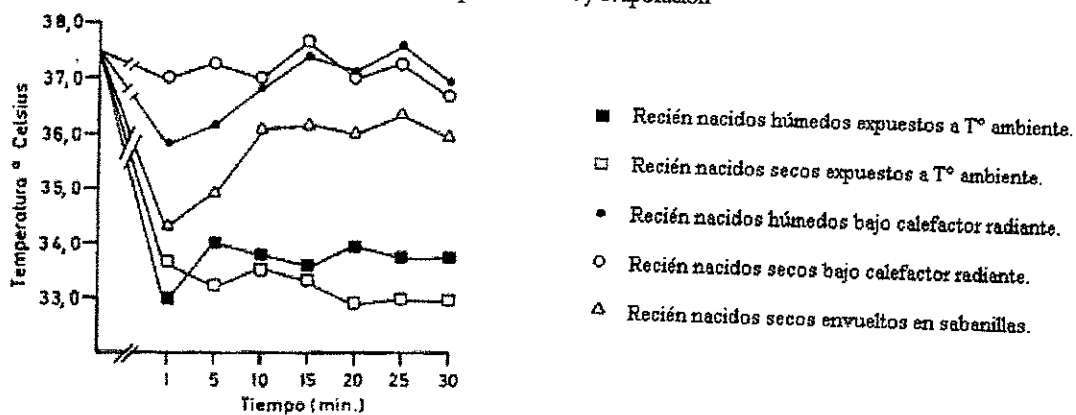
Tomada de: <http://aroba-ingenieria.com/file/20010223122716.pdf>. Obtenido de Internet el 6 de Abril de 2005. 9:15 p.m.

⇒ Primeras horas de vida

Las primeras horas de vida, representan el mayor riesgo de enfriamiento para el neonato debido a que la primera experiencia de frío para el ser humano es el nacimiento y los niños nacen desnudos y mojados; por esto es necesario tomar medidas que disminuyan las pérdidas por radiación y evaporación, secándolo y cubriéndolo rápidamente, y si es posible, poniéndolo en contacto con su madre. Si el neonato tiene complicaciones o es prematuro, se recomienda tratarlo bajo un calefactor radiante o en una incubadora, disminuyendo así, los efectos del ambiente sobre el enfriamiento del recién nacido.

La siguiente figura, muestra la temperatura cutánea abdominal media de un grupo de recién nacidos durante los primeros 30 minutos posparto.

Figura 9 Pérdidas de calor del recién nacido al nacer por radiación y evaporación

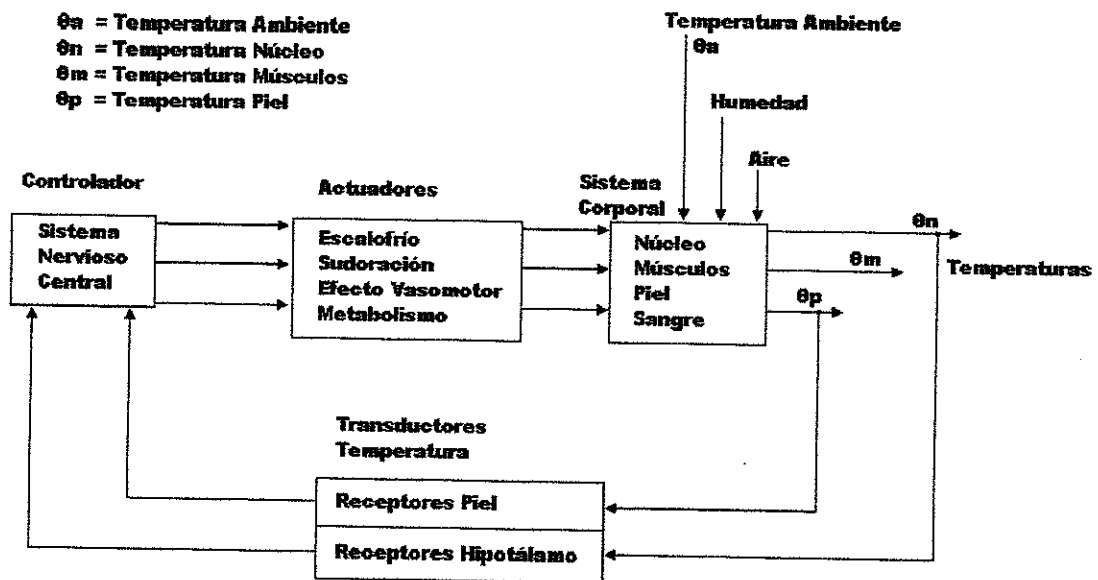


Fuente: <http://escuela.med.puc.cl/paginas/publicaciones/ManualPed/RNTemnorreg.html>. Obtenido de Internet el 27 de Septiembre de 2005. 9:15 p.m.

⇒ Anatomía de la termorregulación

El cuerpo humano procura controlar su temperatura almacenando energía térmica y disipando calor; este proceso de termorregulación, lo realiza utilizando el sistema nervioso central como controlador, que interactúa con los receptores o transductores de temperatura y los diferentes actuadores, tal como se observa en la siguiente figura. Según lo describe el Doctor Pere Caminal Magrans¹⁷, se destacan tres zonas que intervienen en la estructura del cuerpo humano como proceso controlado: el núcleo o cuerpo profundo, los músculos esqueléticos y la piel.

Figura 10 Diagrama de flujo de información del sistema de control de la temperatura corporal



José Mompín Poblet, "INTRODUCCIÓN A LA BIOINGENIERÍA". Barcelona, España. Marcombo, S.A. 1988.

○ En el núcleo o cuerpo profundo, se considera todo el cuerpo (incluyendo el sistema nervioso central y las viseras), excepto la piel y los músculos esqueléticos. En esta zona, se genera casi toda la tasa de metabolismo basal y el sistema endocrino realiza la función de actuador en el proceso de termorregulación, controlando el nivel metabólico.

○ Los músculos esqueléticos envuelven al núcleo y juegan un papel fundamental en el proceso de regulación de la temperatura corporal, generando contracciones involuntarias (escalofríos), como una respuesta al frío. Con este estremecimiento, se le proporciona calor al cuerpo, cumpliendo la función de actuador. Adicionalmente, los músculos esqueléticos, son actuadores del movimiento y la postura corporal.

○ La piel sirve como protección para las dos zonas descritas anteriormente. Funciona como un aislador térmico que se regula por el efecto vasomotor; reduciendo la pérdida de

¹⁷ CAMINAL MAGRANS, Pere. Introducción a la bioingeniería. Barcelona-México: Marcombo, 1988. p 303-304.

calor mediante vasoconstricción, y aumentándola mediante vaso dilatación. Adicionalmente, a través de los poros de la piel se produce evaporación de agua como *resultado del proceso de sudoración, siendo un mecanismo de pérdida de calor, que protege al cuerpo de temperaturas ambiente superiores a la de la piel.*

La piel y el núcleo, contienen la mayoría de transductores de temperatura corporal; la temperatura externa es captada por los transductores de la piel, mientras que la información perteneciente a la temperatura interna, es reconocida por los transductores del núcleo; estos últimos, se encuentran en el hipotálamo (encéfalo), próximos al controlador del sistema de regulación de temperatura. Además, la circulación de la sangre ejerce un importante papel en la transferencia de calor entre las tres zonas consideradas anteriormente: núcleo, músculos y piel.

3.1.2.3 Efectos Del Ambiente Térmico En El Recién Nacido

Las características del ambiente al que está expuesto el recién nacido, influyen de una manera importante en su temperatura corporal. A continuación se presentan algunos efectos del ambiente térmico, relacionados con el estado del neonato.

⇒ Hipotermia

Ocurre cuando el ambiente térmico supera la capacidad de termorregulación del recién nacido o cuando existen condiciones patológicas que depriman la termogénesis, provocando un descenso en la temperatura corporal del niño. Un estado de hipotermia, puede producir dificultad respiratoria, disminución de la actividad, dificultad en la alimentación, apnea, hipoglicemia, acidosis y un aumento de presión en la arteria pulmonar.

⇒ Hipertermia

La elevación en la temperatura central del neonato puede producir apnea y se ha asociado a hemorragia intracraneana; este aumento de temperatura, puede causarse por deshidratación, alteraciones del sistema nervioso central, infecciones o una temperatura ambiental muy elevada; aunque este último factor se ha venido reduciendo gracias a los avances de los sistemas de monitoreo y control electrónico.

⇒ Ambiente Térmico neutral

Como se mencionó anteriormente, es recomendable mantener un ambiente térmico neutral para el cuidado de neonatos con algún tipo de complicación médica. Se ha comprobado, que el ambiente térmico neutral está asociado a una menor mortalidad y mejor incremento de peso en los prematuros. Aumentando las probabilidades de vida y mejorando la evolución de los neonatos.

3.1.3 Humedad Relativa Del Aire

Hace referencia a la cantidad de vapor de agua contenido en el aire; el valor de esta variable disminuye a medida que la temperatura ambiental aumenta. “El mantenimiento de una

humedad relativa entre el 40 y 60% estabiliza la temperatura corporal al disminuir la pérdida de calor a menores temperaturas ambientales, previene la desecación e irritación de la mucosa respiratoria por la administración de oxígeno, fluidifica las secreciones y reduce las pérdidas insensibles de agua"¹⁸. En caso de no existir una correcta humidificación, pueden existir alteraciones como pérdida de agua del paciente, infecciones, alteración de la mucosa, disminución de la temperatura corporal, entre otras complicaciones clínicas.

En algunas oportunidades, el uso de sistemas humidificadores es poco aceptado por el personal médico, debido a que se pueden convertir en un medio apto para el desarrollo y crecimiento de gérmenes. Esta situación se presenta en incubadoras que poseen sistemas de humidificación pasivos, los cuales, consisten en un reservorio de agua ubicado bajo la bandeja del colchón, sobre el cual pasa el flujo de aire; este sistema es de fácil implementación y bajo costo, pero no proporciona un control fiable de humedad. Para solucionar este inconveniente, existen actualmente sistemas de humidificación activos, que consisten de un reservorio de agua independiente, calentado activamente, y separado del flujo de aire principal, permitiendo la implementación de sistemas de control más fiables y robustos.

3.1.3.1 Importancia De La Humedad

En los prematuros, la cantidad de calor que se puede perder en el proceso de evaporación es significativa, y se agudiza con un menor número de semanas de edad gestacional. Las pérdidas insensibles de agua, también conocidas como pérdidas transepidérmicas de agua (PTEA), contribuyen a la estabilidad térmica del neonato; debido a la inmadurez y delgadez de su piel. Los recién nacidos pretérmino con pesos inferiores a 1 Kg., se encuentran en un estado crítico, ya que por cada mililitro de agua evaporada, el neonato pierde aproximadamente 0,58 Kilocalorías; por este motivo, es indispensable mantener al bebe en un ambiente que posea un control adecuado de humedad relativa, mejorando sus posibilidades de sobrevivencia y su tasa de crecimiento, hasta que su piel alcance un estado de madurez aceptable que permita disminuir las PTEA.

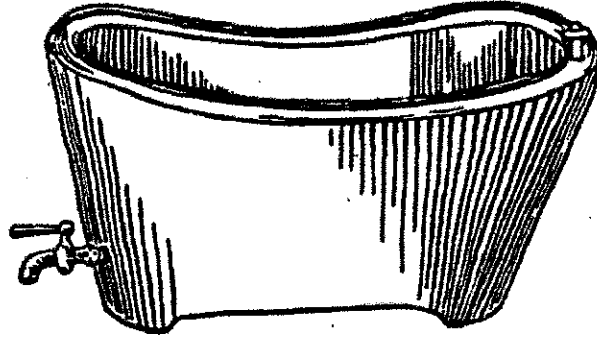
3.1.4 Incubadoras

Una Incubadora, es un dispositivo diseñado para mantener un ambiente controlado, apto para las necesidades de supervivencia de los recién nacidos; estos equipos, pretenden contrarrestar las pérdidas de calor, y a su vez, aportar ganancia calórica en el proceso de termorregulación de los pacientes. Desde el siglo XVIII, se han realizado múltiples intentos para preservar el calor de los neonatos; inicialmente, se utilizaron recipientes que recibían energía por medio de una flama que consumía gas o aceite y era regulada a mano. En 1835, en Rusia, el Doctor Johann Georg Von Ruehl, construyó una cuna con doble pared de hierro; entre las paredes depositaba agua caliente, permitiendo de esta forma un calentamiento del neonato, por medio de conducción. A continuación, se muestra la cuna de

¹⁸ <http://www.geocities.com/smlhrrb/ped/rnpt.html#eg>. Obtenido de Internet el 16 de Mayo de 2005. 2:15 p.m.

Ruehl, que es reconocida como uno de los primeros intentos para preservar la temperatura corporal de los neonatos.

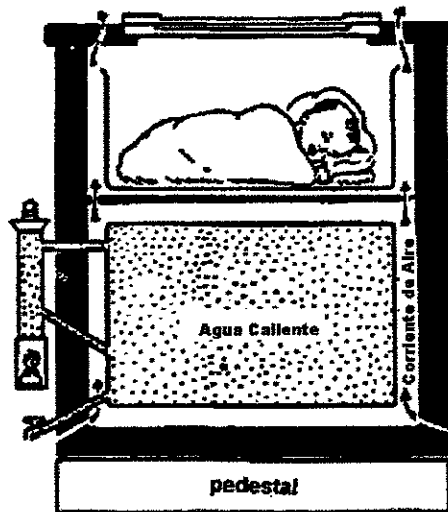
Figura 11. Cuna de Ruehl



Tomada de: <http://www.fee.unicamp.br/deb/incubadora.pdf>. Obtenido de Internet 16 de Mayo de 2005. 2:15 p.m.

En 1880, se construye en París la primera incubadora cerrada para recién nacidos, por parte de los Doctores Stephane Tarnier y Odile Martin; este dispositivo, disponía de un reservorio de agua caliente ubicado en la parte inferior de la incubadora; aire frío entraba al sistema por una abertura y era calentado, proporcionando un ambiente en el que el paciente gana temperatura por convección. El problema de este sistema, radica en que expone al neonato a quemaduras y riesgos de hipotermia; pero se constituye como un gran adelanto en la construcción de incubadoras cerradas. La incubadora de Tarnier se muestra en la siguiente figura.

Figura 12 Incubadora de Tarnier

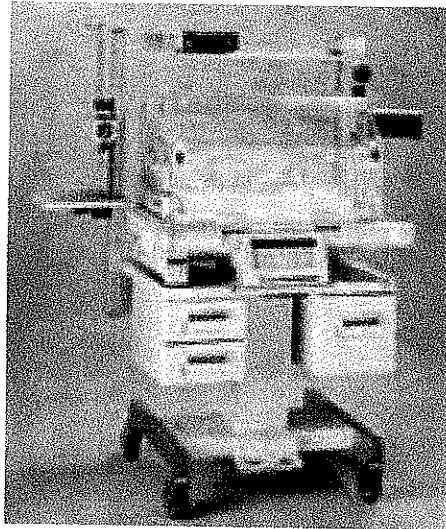


Tomada de: <http://www.fee.unicamp.br/deb/incubadora.pdf>. Obtenido de Internet 16 de Mayo de 2005. 2:15 p.m.

Con el transcurso del tiempo, los avances de la Ingeniería Electrónica y la Bioingeniería, han permitido construir incubadoras de diversos materiales y tecnologías; constituyéndose como dispositivos de monitoreo y control especializado, que operan con sistemas

microprocesados, permiten conectividad con redes de comunicaciones y poseen recubrimiento de doble pared. Así mismo, se siguen desarrollando nuevas estrategias para optimizar los sistemas de control de estos dispositivos, indispensables para salvaguardar la vida de los neonatos; ya sea que se encuentren en estado prematuro o con algún tipo de complicación de orden clínico. Adicionalmente, las incubadoras se encuentran respaldadas por múltiples sistemas de seguridad y alarma, que buscan salvaguardar la vida del paciente e informar su estado al personal médico especializado. A continuación se muestra una incubadora de uso actual, fabricada por la compañía Ohmeda Medical EEUU, que posee algunas de las ventajas mencionadas anteriormente.

Figura 13 Incubadora Care Plus 4000 producida por Ohmeda Medical EEUU



Fuente: <http://www.ohmedamedical.com>. Obtenido de Internet 20 de Mayo de 2005. 2:15p.m.

3.1.4.1 Tipos De Incubadoras

Existen tres métodos de transferencia de calor en las incubadoras (Conducción, convección y radiación); así mismo, estos dispositivos se pueden clasificar de acuerdo al método de calentamiento que utilizan, como se muestra a continuación,

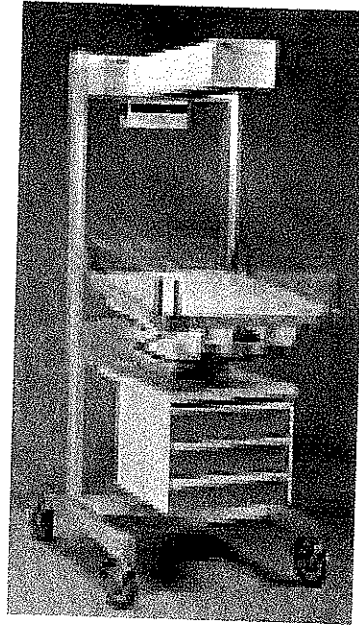
⇒ Colchón Térmico (Conducción)

En este dispositivo, existe una resistencia de calefacción colocada debajo del colchón; pretende disminuir el impacto de la diferencia entre la temperatura intrauterina y la de la sala de cuidados intensivos; actualmente no es muy difundido en el comercio, ya que se encuentra integrado a las incubadoras abiertas (servocunas).

⇒ **Calentador Radiante, Servocuna (Radiación)**

También conocido como incubadora abierta, consiste en una cuna no aislada del medio ambiente que posee un dispositivo de irradiación de calor ubicado en la parte superior; esta incubadora presenta una gran facilidad de acceso para la atención del paciente, pero así mismo tiene como desventaja, altas pérdidas de temperatura por convección (al estar los niños expuestos a corrientes de aire). El sistema de control de este tipo de incubadoras, establece como referencia la temperatura del paciente; por lo que es indispensable el uso de un sensor ubicado apropiadamente en la piel del neonato. La siguiente figura, muestra un calentador radiante.

Figura 14. Calentador Radiante

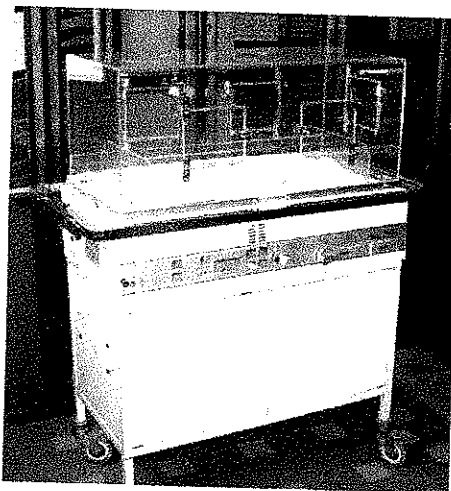


Tomado de http://www.datex-ohmeda.es/aula-bioingenieria/todos_los_articulos/colaboracion/Numero-09-Colaboracion-01.pdf. Obtenido de Internet el 4 de Octubre de 2004. 10:00 p.m.

⇒ **Incubadora Cerrada (Convección)**

Consiste de una recámara cerrada por paredes transparentes, que permiten aislar al neonato del ambiente sin perderlo de vista; en este tipo de incubadora, existe una circulación constante de aire que se encuentra a una temperatura determinada por el personal médico calificado. Las incubadoras cerradas, actualmente presentan dos modos de funcionamiento; el primero, consiste en controlar la temperatura del ambiente, con respecto a las variaciones entregadas por un sensor ubicado en la recámara; a este sistema, se le denomina modo ambiente. El segundo modo de funcionamiento es el servocontrolado, que realiza el control de temperatura ambiental con relación a los valores entregados por un sensor cutáneo, ubicado en la piel del neonato. En la siguiente figura, se muestra una incubadora cerrada.

Figura 15. Incubadora Cerrada



Tomada de: Grupo de Investigación Vital Signal & Control Medical Equipment I+D. Universidad Santo Tomas Seccional Tunja.

3.2 SISTEMAS DE ADQUISICIÓN SUPERVISIÓN Y CONTROL

Herramienta que surge al utilizar la mezcla de el software adecuado con elementos de redes, es decir los beneficios de la informativa con la flexibilidad y adaptabilidad de las comunicaciones, lo cual convierte estos sistemas realmente en la mejor y mas económica alternativa para generar centros robustos de supervisión y monitoreo generando así los denominados sistemas SCADA; nombre dado por sus siglas en ingles, que significan – *Supervisory Control And Data Acquisition*— lo cual mejora sustancialmente los procesos de producción de cualquier tipo de organización, optimizando los recursos, los índices de calidad, la supervisión, el mantenimiento, la velocidad etc. Dando automatismo de estas tareas (procesos)

Este sistema al basarse en las dos aplicaciones ya mencionadas, (la informática y las telecomunicaciones), Aplica y necesita los conceptos de las redes de comunicación de datos y la de las bases de datos.

Como se observa en la figura 16 el sistema se desarrolla jerárquicamente desde el proceso, a través de redes de diferentes tipos (según la necesidad) que llevan la información tanto de control (operación) como de monitoreo (supervisión), a centros de gestión descentralizados en bancos de operadores (PLC's), jefaturas o dependencias (PC's), permitiendo así la optimización de los recursos y el manejo de la información.

SCADA se aplica desde hace mas de dos décadas en los sectores de manufactura de automóviles y petroleras, hoy se ha posicionado como la forma de control de procesos distribuido más eficaz al integrarse con la instrumentación, las pantallas de operador, los sistemas de seguridad, los controladores, los autómatas programables y equipos de transmisión.¹⁹

¹⁹ Comunicaciones Industriales, Morcillo Ruiz, Pedro editorial Paraninfo, Pág., 6

Figura 16 SCADA básico

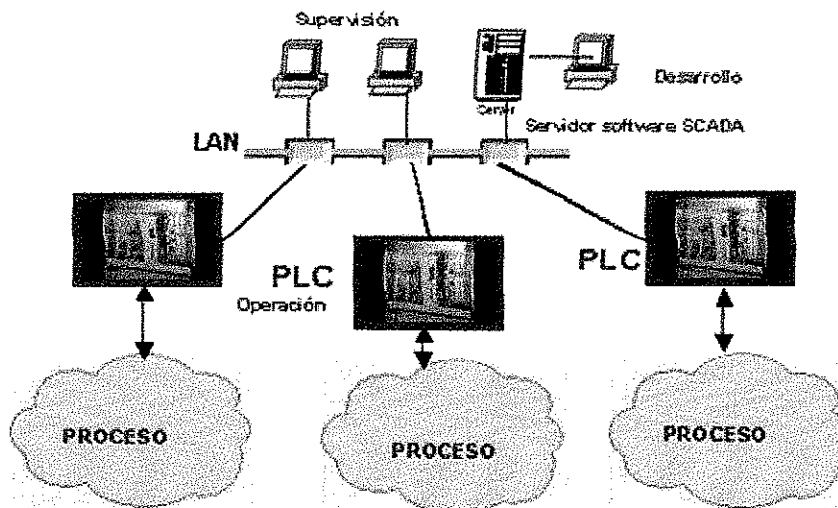


Imagen tomada de aplicaciones SCADA, clases de seminario de grado I, Facultad de Ing. Electrónica USTA, Ing. Gerardo Ramírez

3.2.1 Características

Los sistemas SCADA deben cumplir por lo menos con las siguientes características:

- ✓ Paneles para indicar alarma, que exigen la intervención del operador para valorar la situación y poder definir paradas del proceso según la situación de alarma, con el registro de la falla o causa con las incidencias indicando las diferentes variables implicadas.
- ✓ El respaldo de la información mediante la generación de históricos de las señales relevantes de planta, que pueden ser analizados estadísticamente, para determinar tendencias y otros.
- ✓ Ejecución de programas, que modifican los parámetros de control, para cambiar o anular tareas asociadas al autómata, bajo ciertas condiciones restringidas, de acuerdo al proceso.
- ✓ Diferentes formas de presentar las señales o datos en pantalla para dar confiabilidad y versatilidad.
- ✓ Interfaz con el usuario grafica y amigable que facilite la manipulación e identificación de los diferentes bloque y su estado dentro del panel de monitoreo y en la pantalla de programación o de planta.
- ✓ Posibilidad de enlace con otras redes como Internet.
- ✓ Debe ser lo más modular posible con el fin de lograr flexibilidad y adaptabilidad.
- ✓ Tener una arquitectura y comunicaciones abiertas (Transparent Factory) con el fin de lograr la integración con sistemas de otros niveles de automatismo dentro de la organización.

- ✓ Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador.
- ✓ Facilidad de importación de datos y exportación de los históricos para ser procesados en programas de cálculo.
- ✓ Control y monitoreo eficiente de diversas variables del proceso.
- ✓ Flexibilidad y Adaptabilidad mediante módulos funcionales para el control, la supervisión y las comunicaciones.
- ✓ Distribución de tareas, permitiendo descongestionar los procesos de gestión de información y la generación de reportes.
- ✓ Interfaz humano máquina muy flexible que permite establecer un dialogo amigable de fácil comprensión, con un lenguaje claro, tanto de forma gráfica como numérica, mediante teclados, pantallas LCD y el uso de un PC.
- ✓ Comunicaciones fiables entre equipos centrales con un protocolo seguro y eficaz, a través de diversas interfaces como la industrial RS-485, o inalámbricas.
- ✓ Generación de reportes históricos de operación, mantenimiento y fallas creando la hoja de vida del equipo así como el registro de la información de calendario evento tras evento.
- ✓ Creación de aplicaciones y sesiones que garantizan los niveles de seguridad de acceso, en dependencia a la pirámide de automatización CIM. Usando software proveedor de SCADA como LabView.
- ✓ Este gran aporte para la industria al ser tan versátil ha constituido los elementos definitivos para las herramientas de CIM, CAM y CAD unificando todo el proceso desde su diseño hasta las etapas de verificación y evaluación de la calidad.

3.2.2 Beneficios

Algunos de los beneficios que se obtienen por el uso de SCADA industrial son los siguientes:

- ✓ Fácil de usar y eficiente, que presente un lenguaje claro, de tal forma, que personal no técnico o de ingeniería, pueda manipular el sistema, logrando su ejecución de forma correcta y entendiendo la información desplegada en el interfaz de dialogo con el operador.
- ✓ Modular, de arquitectura abierta, que permita inclusión y retiro de diferentes módulos sin crear dependencia de uno con respecto al otro.
- ✓ Reusable, sin importar las veces que el sistema se active/desactive, el sistema debe mantener la configuración por defecto, que garantiza la operatividad del proceso.
- ✓ Reconfigurable, en el caso de ser necesario cambiar las características de operación, debe permitir cambios en o de variables, con tan solo cambios sencillos de programación.

- ✓ Compatibilidad a largo plazo, utilizando protocolos de comunicación estándar y facilidades para migrar a nuevas tecnologías, según la evolución de los sistemas de adquisición, procesamiento y visualización de la información.
- ✓ Portable entre Plataformas, es recomendable que las aplicaciones de software de supervisión puedan ser ejecutadas desde diferentes sistemas operativos, lo cual se puede lograr a través de controladores Active X
- ✓ Instalable en red, con conectividad versátil a través de ethernet mediante TCP/IP, que permite tener las aplicaciones en la web, para desde allí realizar diferentes acciones de supervisorio, como ejecutar programas en línea, descargar reportes, o variar controladores, entre otros.
- ✓ Costo total más bajo, estas aplicaciones se caracterizan por su alto grado de integración de procesos y robustez a precios cómodos, que con otros sistemas de control no distribuido son altamente costosos
- ✓ Definido por usuario, los sistemas SCADA tienen la facilidad de ser personalizados, de acuerdo a las necesidades de cada línea de producción o proceso.
- ✓ Flexible, los diferentes módulos, deben permitir la adaptación a diferentes procesos, así como diversos métodos de comunicación, almacenamiento de información y generación de reportes

3.2.3 Algunos Proveedores

El desarrollo de software proveedor de herramientas SCADA se ha incrementado vertiginosamente, y gracias a esto podemos encontrar una gran gama de proveedores, los cuales no solo brindan en soporte técnico sino también paquetes completos de soluciones que incluyen instrumentación, autómatas programables, microcontroladores, DSP y PLC's. Los ejemplos citados son los más populares del mercado.

- ✓ USDATA (<http://www.usdata.com/>) con su producto: Factory Link 7
- ✓ Advantech (<http://www.advantech.com/>) con su producto: Paradym-31
- ✓ AlterSys Inc. (<http://www.altersys.com/>) con su producto: Virgo 2000
- ✓ eMation (<http://www.emation.com/>) con su producto: WizFactory
- ✓ GE Fanuc (<http://www.gefanuc.com/>) con su Producto: Cimplicity
- ✓ Iconics (<http://www.iconics.com/>) con su Producto: Genesis32
- ✓ Intellution (<http://www.intellution.com/>) con su Producto: Intellution Dynamics
- ✓ National Instruments (<http://www.ni.com/>) con sus Productos: LabView, Lookout, FieldPoint, cFP-2120
- ✓ Nematron (www.nematron.com/) con su Producto: HMI/SCADA Paragon
- ✓ Opto 22 (<http://www.opto22.com/>) con su Producto: FactoryFloor Software

- ✓ Rockwell Automation (<http://www.software.rockwell.com/>) con sus Producto: RSView32, RSBatch
- ✓ Siemens (<http://www.siemens.com>) con sus Productos: HYBEX (Hybrid Expert System), WinCC HMI, Web Control Center (webCC), SIMATIC WinAC ODK (Open Developer Kit), SIMATIC WinAC (Windows Automation Center), SIMATIC PLCSim, SIMATIC Protool.
- ✓ TA-Engineering Products (www.ta-eng.com/home.htm) con su Producto: Aimax
- ✓ Wonderware (<http://www.wonderware.com/>) con su Producto: FactorySuite 2000, SuiteVoyager

3.2.4 Monitoreo

En la medicina, el monitoreo de las señales tanto bioeléctricas, como de imágenes para visualizar el estado físico de órganos del cuerpo, es un factor determinante en el diagnostico del parte medico y así mismo para la formulación de tratamientos, los cuales deben ser vigilados para verificar la evolución de la recuperación de los pacientes.; además gracias a la posibilidad de monitorizar estos procesos, la investigación y desarrollo en la medicina ha generado nuevas técnicas y facilidades para la intervención medica tanto oportuna como adecuada para el tratamiento de enfermedades y anomalías de la salud humana.

3.2.4.1 Definición:

El monitoreo, es la acción de supervisión constante de variables de algún proceso, que puede ser sujeto o no a medición, lo cual determina su estado con respecto a un patrón, para lo cual se requiere la disposición de elementos que permitan su visualización, seguimiento, y registro, mediante el uso de un monitor adecuado, con el fin de, "Propender por la seguridad, uso adecuado y racionalización de los recursos tecnológicos, de información y comunicación, mediante la detección temprana de fallas, amenazas y de niveles de desempeño y de utilización y orientar las labores preventivas y correctivas a que haya lugar"²⁰; siguiendo las estrategias de control adecuadas ya definidas.

3.2.4.2 Evolución:

Figura 17 Diodo LED



Imagen Tomada de <http://www.ledtronics.com/datasheets/discrete.htm>

²⁰ <http://tic.unicauca.edu.co/docs.php>, viernes 27 de mayo de 2005

Existe un elemento que ha sido determinante en la evolución del seguimiento de variables, y es precisamente el Monitor²¹ pues el ha sido el que realmente ha evolucionando exigiendo que las técnicas para la presentación de los datos y el seguimiento de los mismos sea cada vez mas versátil y practico.

Dentro de este proceso de desarrollo se puede decir que la primera forma de monitoreo y supervisión con ayuda de la electricidad, se dio luego del aporte de Samuel Morse (1791-1872) con su telégrafo y la necesidad de codificar y decodificar los pulsos eléctricos para descubrir, graficar y almacenar un mensaje transmitido de un lugar a otro. Al avanzar en la modernización de las comunicaciones Alexander Graham Bell (1847-1922) con su teléfono en 1876 origino en los paneles de telefonía (Centralita)²² donde un simple patch cord²³ que le indicaba a la operadora que se encontraba establecida una conexión entre dos usuarios (abonados), al igual que la implementación de indicadores sonoros y lumínicos; con la invención de la bombilla eléctrica por parte de Thomas Alva Edison (1847-1931) en el año de 1894. Usando estos principios de monitoreo por medio de dispositivos actuadores sonoros y lumínicos, integrándoles en paneles muy prácticos se continuo con la compactación de la tecnología, dando origen a diferentes posibilidades de aplicación.

Es así como la bombilla eléctrica evoluciona, para optimizar la monitorización e indicación, mediante la aparición y evolución de los dispositivos semiconductores en los laboratorios Bell, donde el LED (diodo emisor de luz) presenta aportes de ahorro de energía y facilidad para su utilización e implementación en dispositivos integrados como los displays, conformados por arreglos de LED's ordenados según la necesidad de indicación, dando origen a una infinidad de opciones, tamaños, colores, brillo y desde luego usos, pasando así desde la utilización de un elemento como indicador de presencia de una variable, semáforos viales de alto brillo, arreglos de 7 segmentos para indicar numeración, hasta las complejas pantallas de publicidad que utiliza LED's RGB cuya característica principal es su gama de 32.000 colores controlados mediante un PC ver figura 18.

Figura 18 LED de alta luminosidad y pantalla Full Color video

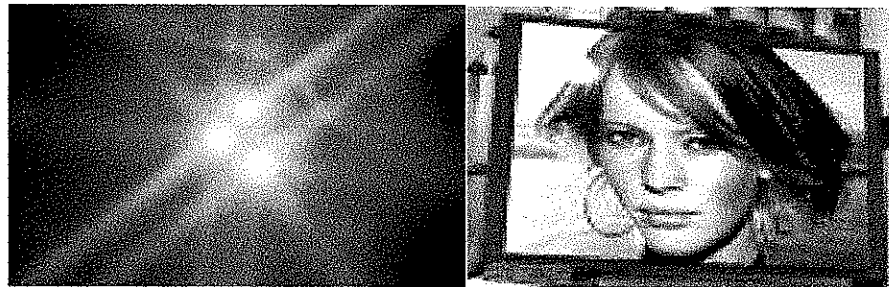


Imagen tomada de <http://www.hitechled.com/images/Fullcolorvideo.gif>

²¹ Dispositivo de visualización de datos.

²² Las Centralitas Telefónicas estaban dotadas de un tablero de conmutación manual para dar servicio hasta a 21 abonados, la primera de ellas se puso en funcionamiento en New Haven, Connecticut, en 1878. Douglas, John, Diccionario enciclopédico de la electrónica, ediciones CEAC, S.A. 1992 Pág. 644

²³ Cable de conexionado entre dos plug de una central telefónica, usado para intercomunicar dos nodos (usuarios telefónicos)

Figura 19 Pantallas LCD

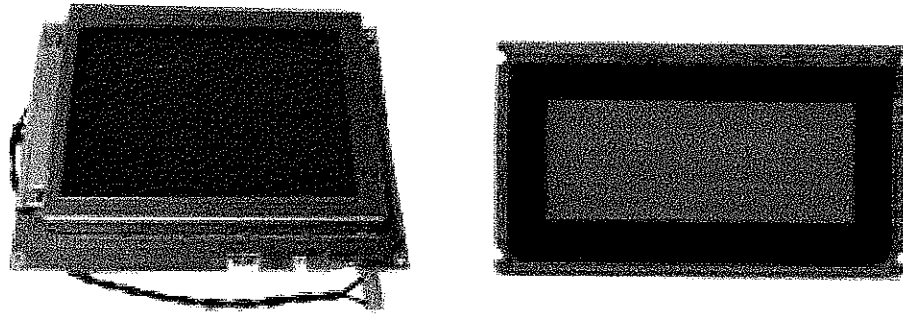
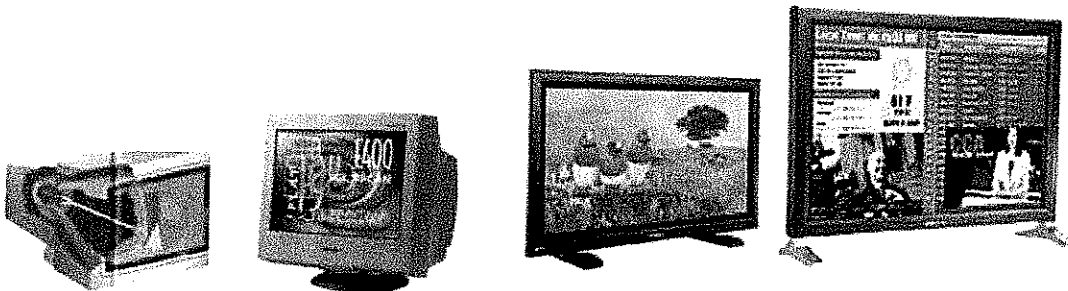


Imagen tomada de: <http://www.lcds.shopeio.com/inventory/category.asp?cat=Lcds>

Otra de las opciones es la aparición de los CRT tubos de rayos catódicos conocido por su amplia aplicación en las pantallas de la imagen de TV o monitores para computadores, o en los osciloscopios y equipos de radar para visualizar los datos. Ya que la flexibilidad para mostrar estos datos gráficamente o por medio de imágenes reales de fácil interpretación, han hecho de este, un campo de desarrollo donde los fabricantes de nuevos productos han enfocado su trabajo, produciendo monitores de alto nivel de integración, como las LCD (Displays de cristal liquido), las pantallas de plasma, y proyectores de imagen 3D y realidad virtual; por eso es muy fácil hoy encontrar aplicaciones de monitores dedicados en los teléfonos celulares y las agendas electrónicas que utilizan pantallas Touch Screen, donde se mezcla el entorno totalmente animado y grafico de alta resolución con el control de sus funciones mediante el uso de la iconografía para navegar dentro de los menús del equipo táctilmente.

Figura 20 Evolución del monitor



24

Imágenes tomadas de:

http://dualred.com/ANALISIS/MONITORES/Analisis%20Monitores_01.html

http://dualred.com/ANALISIS/MONITORES/Analisis%20Monitores_02.html

<http://www.pc-news.com/detalle.asp?sid=&id=3&lda=1730>

http://cab100.homestead.com/Plasma_VPW505.html

²⁴ La Figura muestra la evolución del monitor de izquierda a derecha así: Monitor CRT, Monitor LCD TFT24, monitor LED, Monitor plasma con Touch screen.

El proceso, es el punto de partida de toda acción de control (se cual sea su tipo siempre debe obedecer a las leyes físicas modelables) y por ende de la instrumentación, ya que esta, responde a fenómenos físicos definidos por el medio y por las tareas que se desarrollan en él, el conocimiento del proceso es la garantía para la implementación de la electrónica necesaria para gobernarlo.

El sensor, toma del medio las señales necesarias a través de un transductor adecuado y son llevadas a señales eléctricas, sobre las que se realiza luego el acondicionamiento con el fin de poder realizar el procesamiento para monitoreo y control.

El Acondicionamiento, se encarga de adecuar las señales eléctricas, teniendo en cuenta sus características implícitas como: los niveles de corriente y voltaje así como la frecuencia, (normalmente las señales provenientes del sensor son de dimensiones mínimas y por ello es necesario escalaslas, manipularlas en el tiempo, lo que representa retardos no deseados en las señales), según se trate de un acondicionamiento análogo o digital, aunque en este momento gracias a la velocidad de los dispositivos electrónicos se obtienen óptimos resultados digitalmente, lo análogo siempre tendrá la ventaja que se realiza en tiempo real.

Luego de tener lista la señal pasa a el Procesamiento, que es el conjunto de algoritmos y operaciones que se le aplican a las señales de acuerdo a la acción de control deseada, o forma de representarla, de tal forma que de ella podamos obtener medidas transducibles a nuestro lenguaje, mediante gráficos o números, que nos permitan entender la representación de las señales y su relación con el proceso.

Por último, el ciclo se cierra en el Actuador, el cual recibe una señal para ejecutar una acción en el proceso, pero en este caso esta señal proviene del sistema de procesamiento, que por lo general lo realiza un autómata programable en los casos de procesamiento digital, pero también debe ser acondicionada pues muchas veces los actuadores no funcionan a los niveles de señal obtenidos de los puertos de los autómatas.

3.3.1 Sensores

Los sensores existen desde hace mucho tiempo. Se han estudiado muy a fondo y tienen un gran campo de aplicación; es un elemento imprescindible para la toma de medidas.

Desde la llegada y propagación de las computadoras se han impulsado de manera sistemática la investigación y el desarrollo del campo de los sensores, tanto físicos como químicos, debido a la extraordinaria innovación que representa el seguimiento continuo mediante computadora de los parámetros físicos y químicos de un proceso complejo y, como consecuencia, la posibilidad de intervenir en el control del mismo. Los sistemas informáticos redescubrieron los sensores, especialmente los químicos, de tal forma que estos sistemas se han integrado apoyándose entre sí, ya que representan un nuevo concepto dentro del campo de la instrumentación.

3.3.1.1 Definiciones

- ✓ Dispositivo que a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es función de la variable medida. En un sistema de medida, el sensor es el elemento dispuesto expresamente con la misión de obtener información, en forma de señal eléctrica, sobre la propiedad medida.²⁷
- ✓ Dispositivo que detecta manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos, como la energía, velocidad, aceleración, tamaño, cantidad, etc.²⁸
- ✓ Dispositivo sensible que utiliza un fenómeno físico o químico dependiente de la naturaleza y el valor de la magnitud físico química a medir, lo cual permite la transducción del estímulo a una señal utilizada directa o indirectamente como medida.²⁹

Sensor y transductor se emplean a veces como sinónimos dependiendo del texto y del autor. Según Ramón Pallás Areny, en su libro *Sensores y Acondicionadores de señal*, define transductor como todo dispositivo que convierte una señal física en una señal correspondiente pero de otra forma física distinta.

3.3.1.2 Características

⇒ Características estáticas:

Las características estáticas describen la actuación del sensor en régimen permanente. Se utilizan para seleccionar el ámbito de medición del elemento sensor y para dimensionar el elemento final de control, a continuación se dan a conocer algunas de estas características.

- ✓ Campo de medida (Rango): se refiere al valor mínimo y el valor máximo de la señal entregada por el sensor en el cual puede entregar señales confiables de salida.
- ✓ Alcance (Span): es la diferencia algebraica del valor máximo y el valor mínimo de la señal confiable del sensor.
- ✓ Resolución: indica la capacidad del sensor para discernir entre valores muy próximos a la variable de entrada. Se mide por la diferencia entre dos valores que el sensor es capaz de distinguir.
- ✓ Error: es la relación que existe entre el valor medido y el valor deseado. Definido también como la diferencia entre el valor y el valor transmitido.

²⁷ Pallás Areny Ramón, *Sensores y Acondicionadores de señal*, 2002, Alfa Omega Grupo Editores, 3ª edición corregida.

²⁸ <http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor> 23-05-05 3:15pm

²⁹ http://www.jmarcano.com/glosario/glosario_s.html 23-05-05 3:20pm

✓ Exactitud: es la cualidad que caracteriza un instrumento de dar indicaciones que se aproximen al verdadero valor de la magnitud medida. La exactitud es un sensor se determina mediante la denominada calibración estática.

✓ Repetibilidad: es la capacidad para producir lecturas de la señal de salida cuando se le aplica repetidamente el valor de medida.

✓ Sensibilidad: Variación entre la señal de salida y la variación de la señal de entrada.

⇒ Características dinámicas:

Las características dinámicas responden a la forma de respuesta transitoria del elemento de medida ante una entrada conocida ya sea un escalón, un impulso o una rampa. Se distribuyen básicamente en tres tipos: Sistemas de orden cero o con función de transferencia constante, sistema de primer orden y sistema de segundo orden. Su descripción se realiza en el tipo de sensor entrada-salida.

La descripción del comportamiento del sensor se hace mediante las denominadas características dinámicas: error dinámico y velocidad de respuesta. El error dinámico es la diferencia entre el valor indicado y el valor de la variable medida, siendo nulo el error estático. Describe la diferencia en la respuesta del sensor a una magnitud de entrada según que ésta sea constante o variable en el tiempo.

La velocidad de respuesta indica la rapidez con que el sistema de medida responde a los cambios en la variable de entrada. En cuanto a la medida, no importa mucha que exista un retardo entre la magnitud aplicada y la indicación correspondiente a la salida. Pero si el sensor forma parte de un sistema de control, este retardo puede producir oscilaciones.

3.3.1.3 Clasificación de los sensores

Los sensores son tan diversos como los principios físicos en los que se basan. Existen diferentes criterios de clasificación. Ramón Pallás Areny, da a conocer en su libro Sensores y Acondicionadores de señal, las siguientes clasificaciones para los sensores.

✓ Indicación directa, cuando se deduce información cuantitativa acerca de una acción mediante comparación directa de una referencia (Ej. un termómetro de mercurio)

✓ Indicación indirecta cuando se calcula a partir de otras medidas, las cuales pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital, un computador y un display) de modo que los valores sensados puedan ser leídos por el hombre.

✓ Según el aporte de energía, los sensores se pueden dividir en moduladores y generadores. En los sensores moduladores o activos, la energía de la señal de salida procede, en su mayor parte, de una fuente de energía auxiliar. La entrada sólo controla la salida. En los sensores generadores o pasivos, en cambio, la energía de salida es

suministrada por la entrada. Los sensores moduladores en general requieren más hilos que los generadores, ya que la energía de alimentación suele suministrarse mediante hilos distintos a los empleados para la señal.

✓ Según la señal de salida, los sensores se clasifican en analógicos o digitales. En los analógicos la salida varía, a nivel macroscópico, de forma continua. La información está en la amplitud, si bien se suelen incluir en este grupo los sensores con salida en el dominio temporal. Si es de forma de frecuencia, se denominan, a veces casi-digitales, por la facilidad con que se pueden convertir en una salida digital.

En los sensores digitales, la salida varía en forma de saltos a pasos discretos. No requieren conversión A/D y la transmisión de su salida es más fácil. Tiene mayor fidelidad y mayor fiabilidad, y muchas veces mayor exactitud, pero lamentablemente no hay modelos digitales para muchas de las magnitudes físicas de mayor interés.

⇒ Atendido al modo de funcionamiento

Los sensores pueden ser de deflexión o de comparación.

➤ Por deflexión

La magnitud medida produce algún efecto físico, que engendra algún efecto similar, pero opuesto, en alguna parte del instrumento, y que está relacionado con alguna variable útil. Un dinamómetro para la medida de fuerzas es un sensor de este tipo en el que la fuerza aplicada deforma un muelle hasta que la fuerza de recuperación de éste, proporcional a su longitud, iguala la fuerza aplicada.

➤ Por comparación

Se intenta mantener nula la deflexión mediante la aplicación de un efecto físico conocido, opuesto al generado por la magnitud a medir. Hay un detector de equilibrio y un medio para restablecerlo. En una balanza manual por ejemplo, la colocación de una masa en un platillo provoca un desequilibrio, indicado por una aguja sobre una escala. El operario coloca entonces una o varias masas en el otro platillo hasta alcanzar el equilibrio, que se juzga por la posición de la aguja.

Las medidas por comparación suelen ser más exactas porque el efecto conocido opuesto se puede calibrar con un patrón o magnitud de referencia de calidad. Por el contrario tiene en principio menor respuesta dinámica y, si bien se pueden automatizar, mediante un servomecanismo, no se logra normalmente una respuesta tan rápida como en los de deflexión.

⇒ Según el tipo de relación entrada-salida,

Los sensores pueden ser de orden cero, de primer orden, de segundo orden o de orden superior. El orden está relacionado con el número de elementos almacenadores de energía independientes que incluyen el sensor, y repercute en su exactitud y velocidad de respuesta.

Esta clasificación es de gran importancia cuando el sensor forma parte de un sistema de control en lazo cerrado.

➤ Orden cero

No incluye ningún elemento almacenador de energía. El comportamiento está caracterizado por su sensibilidad estática. Tanto el error dinámico como el retardo son nulos. Un ejemplo es los potenciómetros utilizados para la medida de desplazamientos lineales y angulares.

➤ Primer orden,

Hay un elemento que almacena energía y otro que la disipa. El error dinámico y el retardo dependen de la forma de la señal de entrada.

➤ Segundo orden,

Cuando incluye dos elementos que almacenan energía y otros dos que la disipan. El error dinámico y el retardo dependen no sólo de la forma de la señal de entrada sino también del coeficiente de amortiguamiento y la frecuencia natural del sensor. Un ejemplo es un termómetro que tenga un recubrimiento para su protección. En este caso, a la capacidad calorífica del elemento que responde a la temperatura (sensor) y a la resistencia a la transmisión del calor desde el medio donde se mide, hay que añadir la capacidad calorífica y la resistencia térmica del recubrimiento. El sistema es de tipo sobre amortiguado. Un ejemplo de sensor sub. Amortiguado los ofrecen los sistemas masa-resorte (inerciales), empleados para la medida de desplazamientos, velocidades y aceleraciones de movimientos vibratorios o en móviles de largo recorrido. Son también el fundamento de los sismógrafos.

⇒ De acuerdo a la magnitud medida

Se puede clasificar en sensores de temperatura, presión, caudal, humedad, posición, velocidad, aceleración, fuerza, par, entre otras. Sin embargo esta clasificación difícilmente puede ser exhaustiva ya que la cantidad de magnitudes que se pueden medir es prácticamente inagotable.

➤ Sensores de peso

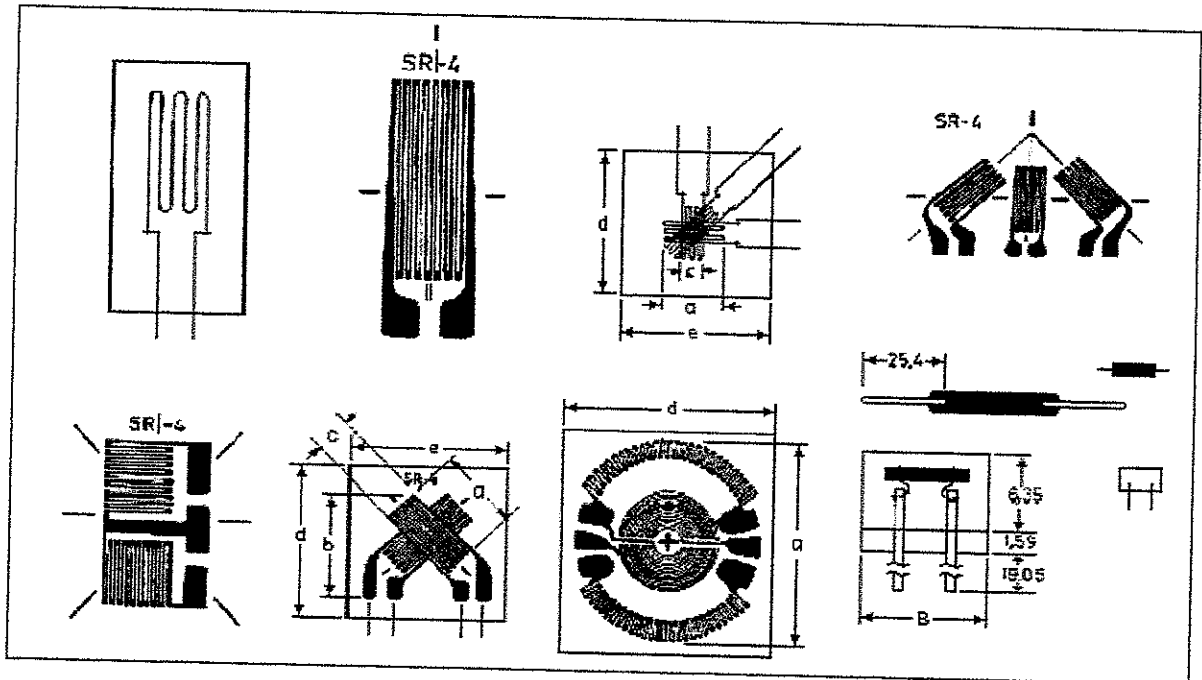
Para su medida se procede bien a su comparación con otra fuerza conocida, o bien a la detección de su efecto sobre un elemento elástico (medidas por deflexión). Este sensor es básicamente una resistencia variable en un sustrato que puede ser deformado, lo cual ocasiona el cambio en el valor de la mencionada resistencia.

○ Galgas extensimétricas, efecto piezorresistivo³⁰, se basan en la variación de la resistencia de un conductor o un semiconductor cuando es sometido a un esfuerzo

³⁰ WWW.Questlink.com

✓ **Tensión medible (%).** Es el rango de variación de longitud de la galga, cuando ésta se somete a una deformación. Este rango viene expresado en un tanto por cien respecto a la longitud de la galga.

Figura 22. Tipos de galgas metálicas y semiconductores.



Tomada de <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/tutorial/tecno2.pdf>

✓ **Temperatura de funcionamiento ($^{\circ}\text{C}$).** Es aquella temperatura para la cual el funcionamiento de la galga se encuentra dentro de los parámetros proporcionados por el fabricante.

✓ **Resistencia de la galga ($R \pm \%$).** Es la resistencia de la galga cuando ésta no está sometida a ninguna deformación. Es la resistencia de referencia y suele acompañarse de un porcentaje de variación.

✓ **Factor de galga.** Factor de galga o factor de sensibilidad de la galga es una constante K característica de cada galga. Determina la sensibilidad de ésta. Este factor es función de muchos parámetros, pero especialmente de la aleación empleada en la fabricación.

✓ **Coefficiente de temperatura del factor de galga ($\pm\%/^{\circ}\text{C}$).** La temperatura influye notablemente en las características. A su vez, cualquier variación en estas características influye en el factor de galga. Este coeficiente se mide en $\%/^{\circ}\text{C}$, que es la variación porcentual del valor nominal del factor de galga respecto al incremento de temperatura.

✓ **Prueba de fatiga.** Esta característica nos indica el número de contracciones o deformaciones a una determinada tensión que puede soportar la galga sin romperse.

✓ Material de la lámina (aleación de cobre níquel). Esta característica nos define el material del que está hecho el hilo conductor o el material semiconductor.

✓ Material de la base (polimida). Esta característica nos define el material del que está constituida la base no conductora de la galga.

✓ Factor de expansión lineal. Representa un error que se produce en la magnitud de salida en ausencia de señal de entrada, es decir, en ausencia de deformación. Este error depende de la temperatura ambiente a la que esta sometida la galga. Se expresa en C-1.

○ Transformador Diferencial (LVDT –Linear Variable Differential Transformer). Se basa en la variación de la inductancia mutua entre un primario y cada uno de dos secundarios al desplazarse a lo largo de su interior un núcleo de material ferromagnético, unido a la pieza cuyo movimiento se desea medir. Al alimentar el primario con una tensión alterna, en la posición central las tensiones inducidas en cada secundario son iguales y, al apartarse de dicha posición el núcleo, una de las dos tensiones crece y la otra se reduce en la misma magnitud.

A una frecuencia dada la tensión de salida es proporcional a la diferencia de acoplamiento mutuo entre el primario y cada uno de los secundarios. Si éste es proporcional a la posición del vástago, también lo será la tensión de salida. Aunque el dispositivo responde al desplazamiento con un cambio de impedancia mutua, la salida es propiamente una tensión alterna modulada en amplitud, no un cambio de impedancia.

Cabe señalar algunas limitaciones, la primera es que en la posición central la tensión de salida no pasa por cero, sino por un mínimo. Ello se debe a las capacidades parásitas entre primario y secundarios que apenas cambian con la posición del vástago y también a falta de simetría en los bobinados y circuitos magnéticos. Normalmente es inferior al 1% de la tensión a fondo de escala.

Otra limitación es la presencia de armónicos en la salida, más visible en el nulo. Aparece sobre todo el tercer armónico de la alimentación, debido a saturaciones de los materiales magnéticos. Esta interferencia se puede eliminar bastante bien a base de filtrar paso bajo la salida.

La temperatura es otra posible fuente de interferencias, pues varía la resistencia eléctrica del primario. Si la temperatura aumenta, lo hace también la resistencia, con lo que se reduce la corriente en el primario, y con ella la tensión de salida, si se alimenta a tensión constante. Por esta razón es mejor alimentar a corriente constante.

Entre las ventajas del LVDT tenemos. En primer lugar, su resolución teórica es infinita y en la práctica superior al 0.1%. Tiene un rozamiento muy bajo entre núcleo y devanados, por lo que imponen poca carga mecánica. La fuerza magnética que se ejerce sobre el núcleo es proporcional al cuadrado de la corriente en el primario; es cero en la posición central y aumenta linealmente con el desplazamiento. El bajo rozamiento les da vida casi ilimitada y alta fiabilidad. Ofrece aislamiento eléctrico entre el circuito del primario y el del

secundario, con lo que pueden tener referencias o puestas a tierra distintas. Ofrecen aislamiento entre el sensor (vástago) y el circuito eléctrico, ya que están acoplados magnéticamente. Tienen alta repetibilidad por su simetría, sensibilidad unidireccional, alta linealidad, alta sensibilidad, si bien depende de la frecuencia de alimentación, y respuesta dinámica elevada.

➤ Sensores de nivel

En su mayoría trabajan indirectamente determinando la posición de un flotador mediante un sensor inductivo o un interruptor del tipo de canilla ("reed") y un imán permanente, se puede emplear un flotador con una conexión mecánica que, en virtud del principio de Arquímedes convierte el desplazamiento de la superficie libre en una fuerza o par, y éstos en un ángulo de giro.

➤ Sensores de temperatura

Los más sencillos son los que actúan sobre un interruptor miniatura. En general, éstos son de dos tipos: Sistemas de Dilatación de un fluido y Bimetálicos. Los primeros actúan al dilatarse el líquido o el gas contenido dentro de un capilar y, los segundos actúan directamente sobre el interruptor mediante el efecto de diferencia de dilataciones de tiras de dos metales diferentes. En general, se usan para interrumpir corrientes de hasta 30 Amperios en 120 voltios.

Otros sensores de temperatura son los termopares, detectores de temperatura por resistencia (RTD) y, los termistores.

○ Termopares, están hechos de dos alambres de metales diferentes unidos precisamente en el punto de medición, también conocido como "unión caliente". Un pequeño voltaje llamado Seebeck, en honor a su descubridor, aparece entre los dos alambres en función de la temperatura de esa unión y, ese voltaje es la señal que actúa sobre el controlador de temperatura.

Las mediciones de temperatura que utilizan termocuplas o termopares se basan en el descubrimiento hecho por Seebeck en 1821. Este se puede resumir de la siguiente manera: una corriente fluye en un circuito continuo de dos alambres de distintos metales, si las conexiones o uniones se encuentran a temperaturas distintas. La corriente será proporcional a la diferencia de temperatura entre las dos uniones.

Si bien es cierto que cualquier par de metales forma un termopar, solo son algunos los que, por sus cualidades, relevantes, se usan en la práctica. Cada uno de estos termopares ofrece curvas típicas de F.E.M. vs. Temperatura. Para cada una de ellas se fabrican galvanómetros especiales, que generalmente están graduados directamente en grados de temperatura y más raramente en milivoltios (mV).

Los termopares tienen generalmente dimensiones de 20 a 100 cm y van aisladas, por ejemplo, con cuentas de cerámica y protegidas por vainas cerámicas o metálicas. Los dos extremos libres de los alambres del termopar concluyen en una placa de cerámica con dos

terminales donde se fijan y desde donde parte el cable compensado hasta el galvanómetro. Como se puede observar en las siguientes figuras.

Figura 23 Termopares industriales

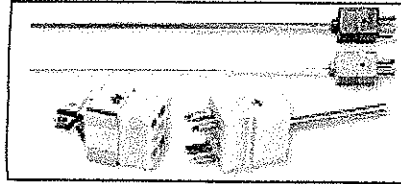
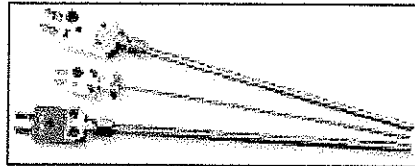


Figura 24 Termopares para altas temperaturas



Tomadas de: <http://www.galeon.com/termometria/>

Existen distintas combinaciones de metales o calibraciones respectivas. Los cuatro tipos más típicos son J, K, T y E. Cada calibración tiene distinto rango de temperatura y ambiente, aunque la temperatura máxima varía con el diámetro del cable usado en el termopar.

Ya que los termopares pueden medir amplios rangos de temperatura y son bastante resistentes, son muy usadas en la industria. Los siguientes criterios pueden ser útiles para definir los tipos de termopar a utilizar: Rango de temperatura que se desea cubrir, resistencia química del termopar, resistencia a vibraciones, requerimientos de instalación (compatibilidad con equipamiento existente)

Los rangos de calibración más comunes son:

- ✓ Hierro-Constantan (J), rango: - 250 a + 1000°C, máxima medida en mV: 51,9 a 900
- ✓ Chromel-Alumel (K), rango: + 500 a + 1250°C, máxima medida en mV: 32,4 a 800
- ✓ Cobre-Constantan (T), rango: - 250 a + 600°C, máxima medida en mV: 33,6 a 600
- ✓ Cromel-Constantan (E), rang: + 300 a 1000°C, máxima medida en mV: 300 a 1000

Cada tipo de termopar exige un tipo de cable de compensación, y es necesario respetar su polaridad para no anular el efecto del termopar.

○ Detectores de temperatura resistivos (RTD), el fundamento es la variación de la resistencia eléctrica de un conductor con la temperatura. En un conductor, el número de electrones disponibles para la conducción no cambia apreciablemente con la temperatura. Pero si ésta aumenta, las vibraciones de los átomos alrededor de sus posiciones de equilibrio son mayores, y así dispersan más eficazmente a los electrones, reduciendo su

velocidad media. Esto implica un coeficiente de temperatura positivo, es decir un aumento de la resistencia con la temperatura.

Son principalmente hechos de alambre de platino enrollado en una base cerámica cubiertos de vidrio o de material cerámico. Además pueden encontrarse como película en un sustrato. Con la temperatura el platino cambia de resistencia. Este tipo de sensor se fabrica también de Níquel en lugar de Platino pero son más usuales los de este último material.

En cuanto a la disposición física, hay modelos tanto para inmersión en fluidos como para medir temperaturas superficiales. En el primer caso, consisten en un hilo de 15-30 μm bobinado sobre un soporte, de forma que permita un movimiento relativo para acomodar las dilataciones diferenciales, y todo ello protegido por una cubierta inerte. Si la resistencia está conectada al soporte, este extremo queda puesto a masa. En el segundo caso es esencial que sean flexibles y que el soporte sea un buen aislante eléctrico.

El empleo de un conductor para la medida de temperaturas esta sometido a varias limitaciones. En primer lugar no se podrán medir temperaturas próximas ni superiores a la de fusión del conductor. En segundo lugar para poder medir una temperatura determinada, es necesario que el sensor esté precisamente a dicha temperatura. Se tendrá que evitar auto calentamientos provocados por el circuito de medida. Otra limitación es la posible presencia de deformaciones mecánicas, que provocan un cambio en el valor de la resistencia eléctrica de un conductor. Esta situación puede darse al medir temperaturas superficiales mediante un elemento adherido a la superficie.

Las principales ventajas de estos sensores son que su sensibilidad es unas diez veces mayor que la de los termopares, la alta repetibilidad, estabilidad a largo plazo y exactitud en el caso del platino, y el bajo costo en el caso del cobre y del níquel, que son tres de los metales empleados en esta finalidad. La sonda de 100 Ω , designada como Pt100, es uno de los sensores de temperatura más comunes.

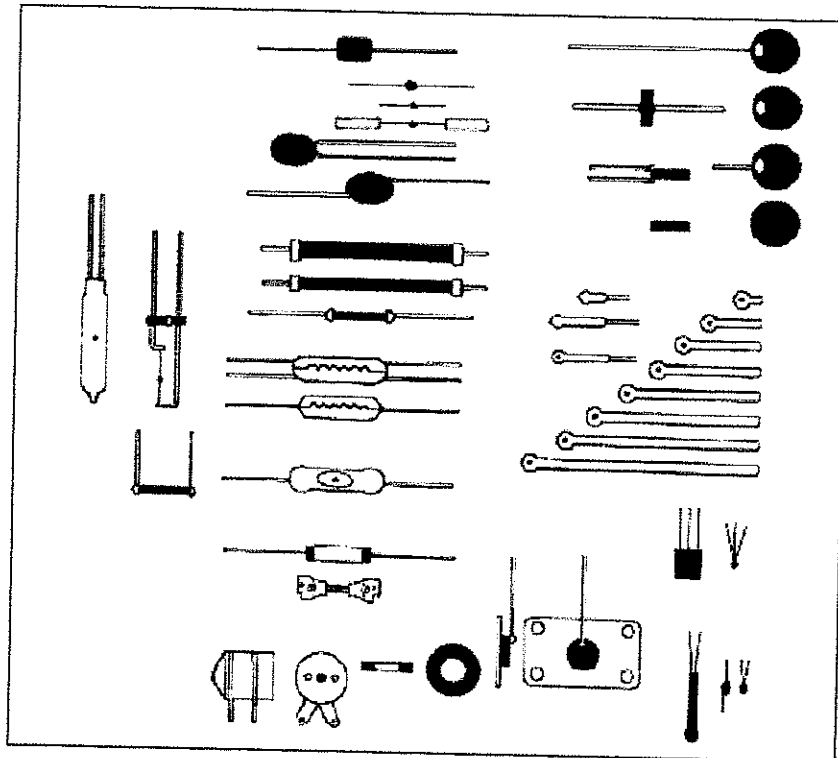
○ Termistores, están fabricados de un material semiconductor que cambia su resistencia eléctrica abruptamente en un pequeño rango de temperatura, por lo que son empleados en sistemas de adquisición de datos y en equipos delicados. Si su coeficiente de temperatura es negativo se denominan NTC (Negative Temperature Coefficient), mientras que si es positivo se denominan PTC (Positive Temperature Coefficient).

El fundamento de los termistores está en la dependencia de la resistencia de los semiconductores con la temperatura, debida a la variación con ésta del número de portadores. Al aumentar la temperatura lo hacen también el número de portadores reduciéndose la resistencia, y de ahí que presenten coeficiente de temperatura negativo. Esta dependencia varía con la presencia de impurezas, y si el dopado es muy intenso, el semiconductor adquiere propiedades metálicas con coeficiente de temperatura positivo en un margen de temperatura limitado, impuesto por la temperatura de fusión del conductor.

Tiene ventajas como: alta sensibilidad lo cual permite obtener alta resolución en la medida de temperatura. Dada su alta resistividad, pueden tener masa muy pequeña, lo que les confiere una velocidad de respuesta rápida y permite emplear hilos largos para su conexión, aunque éstos vayan a estar sometidos a cambios de temperatura, porque ellos tienen mayor resistencia y coeficiente de temperatura. Permiten una variedad de aplicaciones a base de auto calentamiento, y todo ello con un costo bajo.

Las NTC se fabrican a base de mezclar y sintetizar óxidos dopados de metales como el níquel, cobalto, manganeso, hierro y cobre, que se encapsulan con epoxy o vidrio. El proceso se realiza en una atmósfera controlada dándoles la forma y tamaño deseados. La proporción de óxidos determina la resistencia y el coeficiente de temperatura. La forma en que se presentan la NTC son múltiples como se muestra en la siguiente figura, y cada una de ellas está orientada a un grupo concreto de aplicaciones.

Figura 25. Diferentes formas de termistores



Fuente: <http://www.investigacion.ftc.utn.edu.ar/sensores/Tutorial/TECNO2.pdf#search=%22Galgas%20extensom%C3%A9tricas%22>

➤ Sensores de flujo

Los más usuales están compuestos por una pequeña turbina que gira dentro del fluido a sensar y de un sensor del tipo inductivo que sensa el número de revoluciones de los alabes de la turbina, o, en otro tipo, la señal es tomada de un taco generador acoplado directamente a la turbina.

También los hay de estado sólido, los cuales tienen en la cabeza sensora dos resistencias calibradas. Con una de ellas calienta un poco el fluido que rodea la cabeza y con el otro se sensa la temperatura del fluido; comparando la temperatura electrónicamente, la cual tiene un ajuste manual, es posible detectar movimientos de fluidos muy lentos como los de lubricantes de rodamientos, o flujos muy rápidos como los de una bomba de agua.

➤ Sensores de Humedad

Se puede decir que la humedad es una propiedad más difícil de definir y medir que sus parámetros asociados como pueden ser la presión y temperatura. La medición de la humedad es un proceso verdaderamente analítico en el cual el sensor debe estar en contacto con el ambiente de proceso a diferencia de los sensores de presión y temperatura que invariablemente se encuentran aislados del proceso por protecciones conductoras del calor o diafragmas respectivamente. Esto tiene, por supuesto, implicaciones en la contaminación y degradación del sensor en niveles variables dependiendo de la naturaleza del ambiente.

La medición de la humedad relativa consiste en la relación entre la presión parcial del vapor de agua en el gas de que se trate y la presión de saturación del vapor, a una temperatura dada. Por lo tanto la humedad relativa es función de la temperatura. La medición es expresada como un porcentaje.

Las mediciones de humedad relativa puede ser hecha por sensores basados en: psicometría, desplazamiento, resistivos, capacitivos y por absorción de líquido. Algunos de los cuales describimos.³¹

○ Psicometría por bulbo húmedo/bulbo seco, la psicometría desde hace tiempo es uno de los métodos más populares para el monitoreo de la humedad debido a su simplicidad e inherente bajo costo. Un psicómetro industrial típico consiste de un par de termómetros eléctricos acoplados, uno de los cuales opera en estado húmedo. Cuando el dispositivo funciona la evaporación del agua enfría el termómetro humedecido, resultando una diferencia medible con la temperatura ambiente o la temperatura del bulbo seco. Cuando el bulbo húmedo alcanza su máxima caída de temperatura la humedad puede determinarse comparando la temperatura de los dos termómetros en una tabla psicométrica.

El psicómetro provee una alta precisión en las proximidades del punto de saturación (100% RH) y es fácil de operar y reparar, por otra parte a baja humedad relativa (menos del 20%) el desempeño es pobre y el mantenimiento debe intensificarse. No puede utilizarse a temperaturas menores de 0° y, siendo el propio psicómetro una fuente de humedad, no puede utilizarse tampoco en ambientes pequeños o cerrados.

Los psicómetros son utilizados típicamente para control ambiental en recintos.

○ Sensores por desplazamiento, es quizás el tipo de sensor más antiguo y de uso común, utiliza un mecanismo para medir la expansión o contracción de un cierto material que es proporcional a los cambios en el nivel de humedad relativa. Los materiales más

³¹ <http://www.monografias.com/trabajos10/humed/humed2.shtml> 23-05-05 3:30 Pm

comunes el nylon y la celulosa. Las ventajas de este tipo de sensor son el bajo costo de fabricación y es altamente inmune a la contaminación. Las desventajas son la tendencia a la descalibración en el tiempo y los efectos de histéresis significativos.

○ Sensor de bloque de polímero resistivo, están compuestos de un sustrato cerámico aislante sobre el cual se deposita una grilla de electrodos. Estos electrodos se cubren con una sal sensible a la humedad embebida en una resina (polímero). La resina se recubre entonces con una capa protectora permeable al vapor de agua. A medida que la humedad permea la capa de protección, el polímero resulta ionizado y estos iones se movilizan dentro de la resina. Cuando los electrodos son excitados por una corriente alterna, la impedancia del sensor se mide y es usada para calcular el porcentaje de humedad relativa.

Por su misma estructura este tipo de sensores son relativamente inmunes a la contaminación superficial ya que no afecta su precisión aunque si el tiempo de respuesta. Debido a los valores extremadamente altos de resistencia del sensor a niveles de humedad menores que 20% es apropiado para los rangos altos de humedad.

○ Sensores capacitivos, los sensores capacitivos (polímero orgánico capacitivo) son diseñados normalmente con platos paralelos con electrodos porosos o con filamentos entrelazados en el sustrato. El material dieléctrico absorbe o elimina vapor de agua del ambiente con los cambios en el nivel de humedad. Los cambios resultantes en la constante dieléctrica causa una variación en el valor de la capacidad del dispositivo por lo que resulta una impedancia que varía con la humedad. Un cambio en la constante dieléctrica de aproximadamente el 30% corresponde a una variación de 0-100% en la humedad relativa.

El material sensor es muy delgado para alcanzar grandes cambios en la señal con la humedad. Esto permite al vapor de agua entrar y salir fácilmente y el secado rápido para la sencilla calibración del sensor.

Este tipo de sensor es especialmente apropiado para ambiente de alta temperatura porque el coeficiente de temperatura es bajo y el polímero dieléctrico puede soportar altas temperaturas. Los sensores capacitivos son también apropiados para aplicaciones que requieran un alto grado de sensibilidad a niveles bajos de humedad, donde proveen una respuesta relativamente rápida. A valores de humedad superiores al 85% sin embargo el sensor tiene una tendencia a saturar y se transforma en no lineal.

En la mayoría de los casos, la señal de salida de estos sensores no es apta para su procesamiento, por lo que se requiere usar un circuito de acondicionamiento, que consisten normalmente en circuitos electrónicos que ofrecen funciones entre otras como: referenciar los cambios eléctricos a una misma escala de corriente o voltaje para el resto de la circuitería, provee aislamiento eléctrica y filtraje de la señal con el objeto de proteger el sistema de transientes y ruidos originados en el campo. Los sensores pueden funcionar en ubicaciones alejadas del observador, así como en entornos inadecuados o impracticables para los seres humanos.

Comercialmente encontramos sensores integrados en transductores completos, aunque también se puede disponer de ellas individualmente.

3.3.2 Actuadores

3.3.2.1 Definición

Son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar un elemento final de control³².

3.3.2.2 Clasificación de los actuadores

Se clasifican según la energía que utilizan, en tres grandes grupos, hidráulicos, neumáticos y eléctricos. Los actuadores eléctricos son muy usados para manejar aparatos mecánicos. Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son simples posicionamientos. Los actuadores hidráulicos requieren demasiado equipo para suministro de energía, así como de mantenimiento periódico. Las aplicaciones de los modelos neumáticos son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento.

⇒ Actuadores Eléctricos³³

La estructura de un actuador eléctrico es simple en comparación con la de los actuadores hidráulicos y neumáticos, ya que sólo se requieren de energía eléctrica como fuente de poder. Dentro de los actuadores eléctricos pueden distinguirse diferentes tipos: Motores de corriente continua (DC): controlados por inducción, controlados por excitación. Motores de corriente alterna (AC): síncronos, asíncronos. Motores paso a paso. Métodos térmicos.

➤ Actuador de Rotación

○ Motores de corriente continua. Son los más usados en la actualidad debido a su facilidad de control. En este caso, se utiliza en el propio motor un sensor de posición (Encoder) para poder realizar su control.

Los motores de DC están constituidos por dos devanados internos, inductor e inducido, que se alimentan con corriente continua. El inducido, también denominado devanado de excitación, está situado en el estator y crea un campo magnético de dirección fija, denominado excitación.

³² <http://www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.shtml>

³³ <http://www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.shtml>

Los motores de DC son controlados mediante referencias de velocidad. Estas normalmente son seguidas mediante un bucle de retroalimentación de velocidad analógica que se cierra mediante una electrónica específica (accionador del motor).

Las desventajas del motor de corriente continua son el obligado mantenimiento de las escobillas, además de que no es posible mantener el par con el rotor parado más de unos segundos, debido a los calentamientos que se producen en el colector.

○ Motores de corriente alterna. Debido a su difícil control, este tipo de motores no han tenido aplicaciones en la robótica hasta hace algunos años. Sin embargo, las mejoras que se han introducido en las máquinas síncronas hacen que se presente como un claro competidor de los motores de corriente continua. Esto se debe principalmente a tres factores:

- ✓ La construcción de los motores sin escobillas.
- ✓ Uso de convertidores estáticos que permiten variar la frecuencia (y así la velocidad de giro) con la facilidad y precisión.
- ✓ El empleo de la microelectrónica que permiten una gran capacidad de control.

En los motores síncronos la velocidad de giro depende únicamente de la frecuencia de la tensión que alimenta el inducido, para poder variar esta precisión, el control de velocidad se realiza mediante un convertidor de frecuencia. Para evitar el riesgo de pérdida de sincronismo se utiliza un sensor de posición continuo que detecta la posición del rotor y permite mantener en todo momento el ángulo que forman los campos del estator y rotor. Este método de control se conoce como autosíncrono o autopilotado.

El motor síncrono autopilotado excitado con un imán permanente, también llamado motor senoidal, no presenta problemas de mantenimiento debido a que no posee escobillas y tiene una gran capacidad de evacuación de calor, ya que los devanados están en contacto directo con la carcasa. El control de posición se puede realizar sin la utilización de un sensor adicional, aprovechando el detector de posición del rotor que posee el propio motor. Además permite desarrollar, una potencia mayor que el motor de corriente continua.

○ Motores paso a paso. Los motores paso a paso se desarrollaron debido principalmente a que los pares para los que estaban disponibles eran muy pequeños y los pasos entre posiciones consecutivas eran grandes. El eje de un motor a pasos gira con incrementos discretos a paso del paso cuando pulsos eléctricos son aplicados en la secuencia apropiada.

En los motores paso a paso la señal de control son trenes de pulsos que van actuado rotativamente sobre una serie de electroimanes dispuestos en el estator. Por cada pulso recibido, el rotor del motor gira en determinado número discreto de grados.

Para simplificar el control de estos motores existen circuitos especializados que a partir de tres señales (tren de pulsos, sentido de giro e inhibición) generan, a través de una etapa lógica, las secuencias de pulsos que un circuito de conmutación distribuye a cada fase.

Su principal ventaja con respecto a los servomotores tradicionales es su capacidad para **asegurar un posicionamiento simple y exacto**. Pueden girar además de forma continua, con velocidad variable, como motores síncronos, ser sincronizados entre sí, obedecer a **secuencias complejas de funcionamiento**, etc. Se trata al mismo tiempo de motores muy ligeros, fiables, y fáciles de controlar pues al ser cada estado de excitación del estator estable, el control se realiza en bucle abierto, sin la necesidad de sensores de realimentación.

Entre los inconvenientes se puede citar que su funcionamiento a bajas velocidades no es suave, y que existe el peligro de pérdida de una posición por trabajar en bucle abierto. Tienden a sobrecalentarse trabajando a velocidades elevadas y presentan un límite en el tamaño que pueden alcanzar.

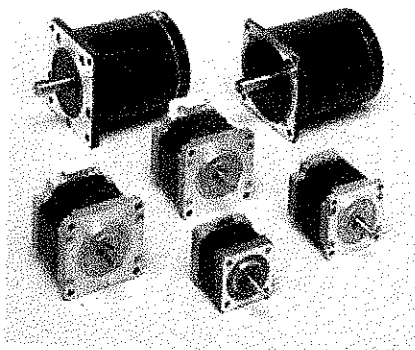
Su potencia nominal es baja y su precisión (mínimo ángulo girado) llega típicamente hasta 1.8° . Se emplean para el posicionado de ejes que no precisan grandes potencias (giro de pinza) o para robots pequeños (educacionales).

Existen tres tipos de motores paso a paso: de imanes permanentes, de reluctancia variable, híbridos.

En los motores paso a paso de imanes permanentes, el rotor, que posee una polarización magnética constante, gira para orientar sus polos de acuerdo al campo magnético creado por las fases del estator. En los motores de reluctancia variable, el rotor está formado por un material ferro-magnético que tiende a orientarse de modo que facilite el camino de las líneas de fuerza del campo magnético generado por las bobinas de estator. Los motores híbridos combinan el modo de funcionamiento de los dos anteriores.

A continuación se muestran diferentes tipos de motores paso a paso

Figura 26. Diferentes tipos de motores paso a paso



Tomada de <http://www.diode.es/eca/industrial.htm>

➤ **Actuador Térmico**

La actuación térmica requiere grandes cantidades de energía eléctrica, y gran cantidad de calor es disipado. Estos actuadores son del tipo "bimetálico" y dependen de la expansión de un líquido o un gas. El calentamiento puede ser realizado haciendo circular una corriente eléctrica a través del dispositivo.³⁴

En la práctica, los actuadores térmicos pueden ser diseñados para desarrollar grandes fuerzas, a costa del gran consumo de potencia requerido por los resistores. Por otro lado, el material calentado al enfriarse sitúa al actuador en su posición original, y el calor liberado se disipa alrededor del ambiente. Este procedimiento al realizarse en un tiempo finito, puede afectar la rapidez de respuesta del actuador.

En general los actuadores se pueden clasificar como muestra la siguiente tabla:

Tabla 4 Clasificación general de los actuadores

ACTUADORES			
	NEUMÁTICO	HIDRÁULICO	ELÉCTRICO
Energía	Aire a presión	Aceite Mineral	Corriente Eléctrica
Opciones	Cilindros. Motor de Paletas. Motor de Pistón.	Cilindros. Motor de Paletas. Motor de Pistones axiales.	Motor Corriente Continua. Motor Corriente Alterna. Motor Paso a Paso. Térmico.
Ventajas	Baratos. Rápidos. Sencillos. Robustos.	Rápidos. Alta relación Potencia-Peso. Autolubricantes. Alta capacidad de carga. Estabilidad frente a cargas estáticas.	Precisos. Fiabiles. Fácil control. Sencilla instalación. Silenciosos.
Desventajas	Dificultad de control continuo. Instalación especial (compresor, filtros). Ruidoso.	Difícil mantenimiento. Instalación especial (filtros, eliminación aire). Frecuentes fugas. Caros.	Potencia limitada.

³⁴ [Electrostatic Comb Driven Resonator (image from MCNC - 39k).] [Wobble Motor (image from MCNC - 68k).] [Operating Wobble Motor (mpeg video from MCNC - 157k).]

3.3.3 Instrumentación convencional

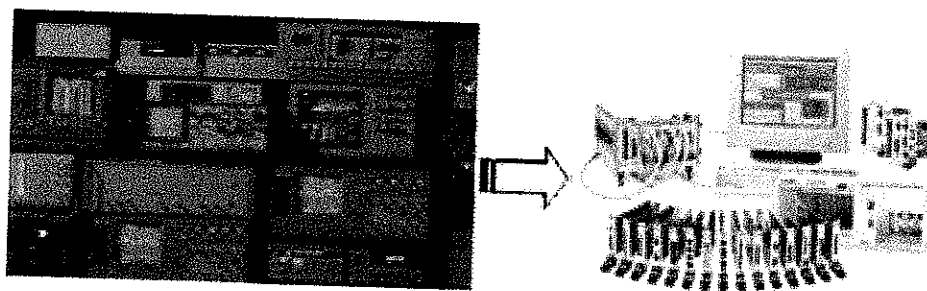
Como se ha dicho, según la necesidad de instrumentación especializada, la implementación electrónica necesaria para poder obtener los requerimientos necesarios, es demasiado costosa y de difícil acceso, ya que los fabricantes restringen este acceso. Lo que se traduce en un equipamiento muy robusto, e impracticable donde para cada necesidad se presenta un conjunto de hardware, donde una pequeña modificación del proceso hace obsoleto el sistema.

Sin embargo como cada elemento integrador de la instrumentación convencional debe ser muy específico para cada tarea, convierte el sistema en un equipo de muy alta calidad de desempeño y resultados, pero la tendencia día a día es migrar a la instrumentación virtual, que aunque no reemplaza los sensores ni acondicionadores, si ofrece grandes beneficios a nivel de integración de procesos, acondicionamiento y preprocesamiento de señales a través de las tarjetas de adquisición de datos.

3.3.4 Instrumentación virtual

Otro factor que se ha vinculado para facilitar la toma, la presentación y el procesamiento de la información, es la instrumentación Virtual que acompaña implícitamente a los sistemas SCADA (ventaja de este tipo de sistemas); ya que con la introducción de esta nueva forma de instrumentación; donde un "VI" Virtual Instrument (instrumento virtual), acompañado de un hardware mínimo (Sensores, tarjetas de adquisición, redes y controladores) y con el software de plataforma, podemos convertir un PC de exigencias moderadas, en un poderoso instrumento de medición de mucha precisión y fiabilidad, reduciendo los costos tan elevados de la instrumentación especializada, tan necesaria en las aplicaciones médicas, en las que los datos a capturar y procesar son de vital importancia para los procesos que se están desarrollando en la planta o proceso, donde cualquier error en el manejo de estos datos, puede ser catastrófico en el resultado final esperado del proceso (mantener la salud y la vida).

Figura 27 Del pasado al presente de la Instrumentación



Imágenes Tomadas de la conferencia Instrumentación Virtual para Sistemas de Monitoreo y Control dada por Luis Felipe Rincón Galvis Ingeniero de Aplicaciones representante de NI en el 1er Seminario de telecomunicaciones USTA Tunja.

Otra de las grandes ventajas de este tipo de sistemas es la introducción de una nueva forma de instrumentación; se trata de los VI o instrumentos virtuales donde con un hardware mínimo (Sensores, tarjetas de adquisición, redes y controladores) con el software de

plataforma, podemos convertir un PC de exigencias moderadas en un poderoso instrumento de medición de mucha precisión y fiabilidad, reduciendo los costos tan elevados de la instrumentación especializada, donde los datos a capturar y procesar son de vital importancia para los procesos que se están desarrollando en la planta, donde cualquier error en el manejo de estos datos puede ser catastrófico en el resultado final esperado del proceso.

Como se ilustra en la figura anterior, el avance que presenta este tipo de propuestas en cuanto a la simplificación de equipos de tareas específicas es muy significativo, dando beneficios a nivel tecnológico, económico, de manejo de espacio etc.

Figura 28 Bloques funcionales SCADA

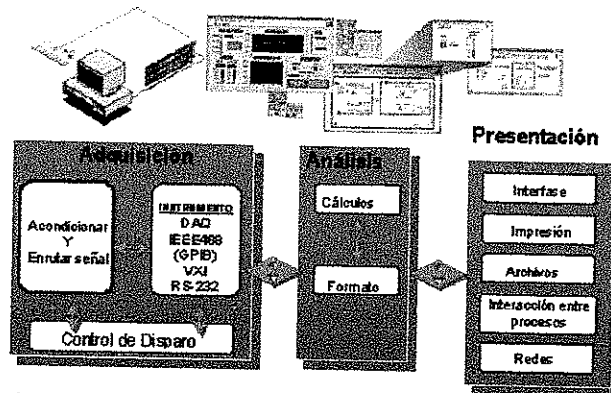


Imagen tomada de aplicaciones SCADA, Seminario de grado I, Facultad de Ing. Electrónica USTA, Ing. Gerardo Ramírez

3.4 COMUNICACIONES

Se puede asegurar que desde la aparición de la vida en nuestro planeta, nació la necesidad de la comunicación como proceso para poder relacionarnos en el medio. Surgiendo así el concepto y sus componentes constitutivos, aunque hoy en día la comunicación básica o de interlocución por medio de signos lingüísticos es eventualmente sencilla, pero realmente este proceso a madurado en el transcurso de los siglos al igual que la evolución de la humanidad, encontrando diferentes versiones y situaciones que representan uno de los logros mas sobresalientes de la humanidad, en cuanto al aporte de la electrónica y la informática.

La Comunicación es un proceso cuya finalidad, es llevar un mensaje de un lugar a otro; mediante el intercambio de información entre el emisor y el receptor a través de un canal o medio de transmisión; en las comunicaciones orales algunos factores como, el fonético³⁵, el morfosintáctico³⁶, el semántico³⁷ y el pragmático³⁸ toman gran importancia porque ellos son los que permitirán el entendimiento del mensaje, en otros tipos de comunicación como las de tipo electrónico estas características se ven reflejadas en aspectos como en la

³⁵ Los sonidos su producción, recepción y naturaleza física.

³⁶ Reglas de combinación de los morfemas para construir las palabras su ordenación y relación para construir frases

³⁷ Significado y sentido de las palabras, y oraciones

³⁸ Adecuación de las expresiones según el contexto.

generación de las señales eléctricas, la codificación de los mensajes, el uso de un protocolo adecuado, los medios de transmisión y sus reglas, la corrección de errores, el enrutamiento y control de flujo, el procesamiento, la visualización del mensaje descifrado, el almacenamiento, etc.

3.4.1 Evolución

La siguiente tabla, presenta la evolución que han sufrido las comunicaciones desde sus orígenes, hasta la época actual.

Tabla 5 Evolución de las comunicaciones

Lenguaje	Aprox. hace 500.000 años
Escritura (año 1300 a.c.)	Aprox. hace 5.000 años
Imprenta (año 1440 d.c)	Aprox. hace 500 años
Radio, TV., computador (principios siglo XX)	Aprox. hace 60 años
Redes de computación, telefonía celular (año 1990)	Aprox. hace 15 años
Internet (1995)	Aprox. hace 10 años

La utilización de los diferentes métodos para establecer las comunicaciones han exigido la regulación y normatividad de las mismas con el fin de evitar conflictos en los sistemas y pérdida de información, así como la protección y seguridad de la misma, además la comunicación al ser vital para el desarrollo de comunidades organizadas, cada país establece leyes y resoluciones para garantizar la prestación de los servicios de comunicación, siguiendo las recomendaciones internacionales, estándares y normas las cuales han sido desarrolladas por organizaciones dedicadas a esta función, organismos como: ISO (Internacional Standard Organisation), ANSI (American national Standards Institute), EIA (Electronics Industries Asociates), UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), CEI (Comision Electrotecnica Internacional), CEN (Comité Europeo de Normalización), ETSI (Comité Europeo de Telecomunicaciones), CENELC (Comité Europeo de Normalización Electrotecnia), AENOR (Agencia Española de Normalización y Certificación), IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) y en nuestro país existen organismos afiliados a estas entidades, los cuales son los encargados de certificar y acreditar el cumplimiento de las normas, entre los que están la CREG, el ICONTEC y la SIC.

3.4.2 Entorno industrial

La importancia de la información y la necesidad de su uso en diferentes formas, como por ejemplo: durante el desarrollo de procesos de producción, exige que la información sea distribuida por todo el sistema, interconectando los elementos de producción entre sí, (Instrumentos de precisión, sensores, autómatas programables, PLC, Controladores, etc.) mediante sistemas abiertos de comunicación, donde la introducción de un protocolo normalizado, que facilita el entendimiento entre los medios tanto físicos (Hardware) como los programas de aplicaciones (Software); como se enunciaba en lo referente a el monitoreo en este caso nuevamente se presenta SCADA como la mejor opción para el control

distribuido, integrando todos los niveles de la pirámide de automatización para entornos CIM (Computer Integrated Manufacturing)³⁹;

Los niveles de la pirámide de integración CIM se establecen en seis franjas específicas en orden descendente así: empresa, fábrica, área, celda, estación y máquina.

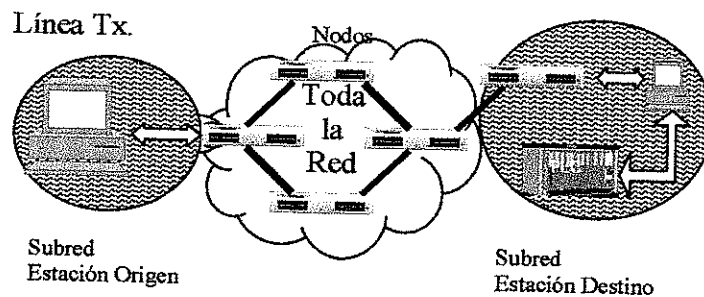
Hoy la comunicación a nivel industrial permite gran fiabilidad en y garantiza el control de los procesos dando como resultado la practicidad de los sistemas automáticos disminuyendo costos de fabricación, flexibilidad de las instalaciones, gestión, rapidez, distribución de tareas, menor mantenimiento, etc.; todo apuntando a la optimización y el mejoramiento de la calidad tanto de la producción como de los productos.

Luego el manejo de cualquier nivel de comunicación en la pirámide de automatización exige el conocimiento del manejo de Las líneas de transmisión, las redes, los protocolos, la funcionalidad, y la normatividad entre otros.

3.4.3 Líneas y Redes de transmisión

Las diferentes interconexiones que se realizan entre dos o más estaciones conformando un entramado que ofrece diferentes opciones de caminos para establecer un dialogo; los factores que intervienen en un red son: el medio (línea de transmisión) pues de el dependerá parte del enlace de la comunicación ya que por este es por donde viajaran los mensajes, su estado es determinante en la calidad del enlace de comunicación, de acuerdo al tipo de estas líneas el nivel de atenuación, distorsión, ruido y ancho de banda dará calidad en la comunicación. Las estaciones (unidades) terminales o elementos que se encuentran conectados a la red por medio de la línea de transmisión y los nodos que es el punto de unión de una estación a la red o subred, y estos son los que se encargan del enrutamiento de la información por la red.

Figura 29 Composición de una red de datos



³⁹ Las tecnologías CIM son herramientas donde el componente mas importante es el uso de las herramientas de la informática para desarrollar aplicaciones que faciliten el diseño y la manufactura dentro de los procesos de producción, dentro de estas encontramos: el diseño asistido por ordenador como CAD (Computer Aided Design)/CAE (Computer Aided Engineering), la fabricación asistida de ordenador CAM (Computer Aided Manufacturing), EL control numérico (CNC), la Robótica, Instalaciones Eléctricas, SCADA, Telecomunicaciones etc.

Una clasificación sencilla de las redes de comunicación, se muestra en la siguiente tabla, donde se presenta una forma general de catalogar estas redes.

Tabla 6 Clasificación de las redes de comunicación.

CRITERIO	TIPOS DE RED
Propiedad	▪ Publicas ▪ Privadas
Tipos de Enlace	▪ Punto a Punto ▪ Multipunto
Técnicas en la transferencia de los datos	▪ Red de conmutación de circuito. ▪ Red de conmutación de paquetes (Circuito virtual y datagrama).
Extensión geográfica	▪ WAN (Width Area Network), red de área extendida). ▪ LAN (Local Area Network, red de área local).
Topología	▪ Bus. ▪ Árbol. ▪ Anillo. ▪ Estrella.

Tomada de MORCILLO RUIZ , Pedro y CORREA RUEDA, Julian, "Comunicaciones Industriales", pag 9. Madrid, España. Editorial Paraninfo; Thompson. 2000. ISBN: 84-283-2706-8

Otra forma de establecer una comunicación es mediante una topología de difusión, usada en las comunicaciones satelitales donde un solo emisor (satélite) atiende diferentes estaciones receptoras de manera personalizada, donde la característica que las define es la carencia de nodos intermedios y se comunica con todas las estaciones usando el mismo medio de transmisión.

3.4.4 Funciones del sistema de comunicación

Para poder establecer una comunicación y garantizar su calidad y mantenimiento es necesario que el sistema de comunicación realice ciertas tareas o directivas que proveen este fin, teniendo en cuenta que los ambientes industriales son mas propensos a fallas por interferencias u otros aspectos ya que es un ambiente rudo donde las condiciones de operación son de máxima exigencia; luego estos factores se refieren a:

- Métodos para gestionar y controlar la capacidad del medio de transmisión, cuando es utilizado por varias estaciones, evitando su saturación.
- Acuerdos en la codificación, generación y repetición de los niveles eléctricos (Tensiones y corrientes) equivalentes a los datos para poder ser interpretados adecuadamente.
- Gestión de tráfico de los mensajes, rutas, turnos

- Sincronización en los mensajes de forma que se pueda entender cuando comienza o termina la información, según el tipo de comunicación simplex, half o full.
- Identificación y rectificación de errores, según la importancia de los datos y la velocidad de procesamiento se determina la necesidad de corregir o reenviar la información por lo cual existen algunas técnicas ya definidas que se profundizarán más adelante.
- Control del movimiento de los datos, donde es necesario identificar el o los destinatarios y los emisores, tinos y cantidad de información que se envía/recibe.
- Direcccionamiento y enrutamiento, de acuerdo a la topología.
- Forma de los mensajes (tramas) tamaño, velocidad, orden.
- Reconexión, sesión y seguridad.

3.4.5 Protocolos

Cuando hablamos de protocolos, estamos haciendo referencia a acuerdos o procedimientos que permite a dos o mas equipos (ordenadores, módems, A.P. autómatas programables, controladores etc.) conectarse de forma tal que pueden establecer una comunicación, orientada a la conexión⁴⁰, pero comunicaciones como los correos electrónicos son no orientadas a la conexión; las que nos interesa comprender por el momento son las orientadas a conexión.

El modelo OSI (Open Sistem Interchange) propuesto en el año de 1978 por la ISO; aunque todavía no se implementa completamente, trata dos aspectos fundamentales en las comunicaciones: Los niveles o capas y el uso del protocolo para comunicar estas capas que para el modelo completo son siete (fisico, enlace, red, transporte, sesión, presentación y aplicación)

Realmente estos protocolos enfrentan aspectos de la lingüística con la telecomunicación como la Sintaxis, la semántica y la temporacización, y el modelo se puede sintetizar en tres niveles: Acceso de red, transporte y aplicación. Otra alternativa de protocolos son los TCP/IP (Transmisión Control Protocol/Internet protocol) que surgieron en los años 80, usados en redes Internet y conmutación telefónica; aunque para cada nivel existen mas protocolos.

Como ya se había mencionado las telecomunicaciones se pueden establecer entre circuitos electrónicos, entre equipos, y entre dispositivos dedicados a la comunicación; esto se logra mediante buses (Paralelos/Serie), y mediante arreglos de acuerdo a las aplicaciones donde se aplican los diferentes protocolos.

⁴⁰ Los dispositivos intercambian información mientras se mantiene la conexión.

La siguiente tabla nos ilustra acerca de las diferentes formas de lograr conexión de los equipos según su clase.

Tabla 7 Formas de conexión entre circuitos y equipos

INTERCONEXIÓN	TIPO DE CONEXIÓN		
	Serie		Paralelo
Entre circuitos electrónicos dentro del mismo equipo	Microwire		Paralelo
	SPI		Europa
	I2C		VME
	SCI		Futurebus
			PCI
			AGP
Entre equipos	RS232	CAN	SPP
	RS422	GPiB	EPP
	RS485	Profibus	ECP
	4-20 mA	LonWorks	LVDS
	V/F -F/V	Instabas	SCSI
	IrDA	One Wire	
	Fibra Óptica	USB	
	FDDI	FIRE WIRE	
	HART	Ethernet	
	MIDI	RF	
	Power line MODEM	GSM	

Las normas RS232C, RS422, RS485 así como el uso de buses especializados de campo que establecen diferentes interfaces para su conexión física, lo cual implícitamente determina un protocolo a este nivel, así como las interfaces SCI (Serial Communications Interface), SPI (Serial Peripheral Interface), I2C

En otros niveles del modelo OSI encontramos otros protocolos como los: ICMP (Internet Control Message Protocol), ARP (Address Resolution Protocol), RARP (Reverse Address Resolution Protocol), http, Xmodem, host-link, UDP (User Datagram Protocol), FTP (File Transfer Protocol), SMTP (Simple Mail Transfer Protocol), POP3 (Post Office Protocol), IMAP (Internet Message Access Protocol) etc.

3.4.5.1 Comunicaciones seriales RS232

Este tipo de comunicaciones se utiliza ampliamente dentro de la industria de la electrónica. El estándar más popular es la especificación Eia/tia-232-e. Desarrollado por la asociación electrónica y la asociación de la industria de las telecomunicaciones (EIA/TIA) de la industria. Donde RS significa Estándar Recomendado, cuyo nombre oficial es "interfaz entre equipo terminal de datos y el equipo de la Circuito-Terminación para el intercambio de datos binarios seriales". Fue introducido en 1962 se ha puesto al día cuatro veces por la necesidad de ampliar y mejorar los usos de comunicación serial. La letra "E" en el nombre

del estándar indica que ésta es la quinta revisión del estándar. El cual define la transmisión física entre un Terminal DTE - Data Terminal Equipment (sistema huésped) y un Modem DCE - Data Communication Equipment (sistema Periférico) en la norma V.24 de la ITU incluyendo los conectores, los niveles de tensión, las funciones de los pines del conector y cableado, el protocolo 8N1, el protocolo de control de flujo y las velocidades de transmisión; 110 Bits/s (Teletipo), además para los Modems: 150, 300, 600, 1200 Bits/s, etc. Actualmente las velocidades alcanzadas usando este protocolo pueden llegar a los 115200 baudios. La norma RS232C es la tercera revisión de la antigua RS232 por la EIA y posteriormente por la CCITT

⇒ Señal eléctrica

Se define el uno y el cero lógicos como valores de tensión comprendidos entre -3V y -15V para el uno y entre +3V y +15V para el cero.

Figura 30 Niveles de tensión del protocolo RS232C

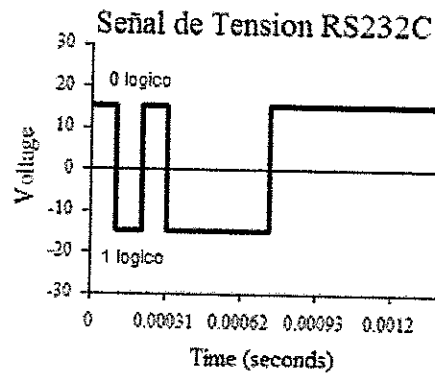
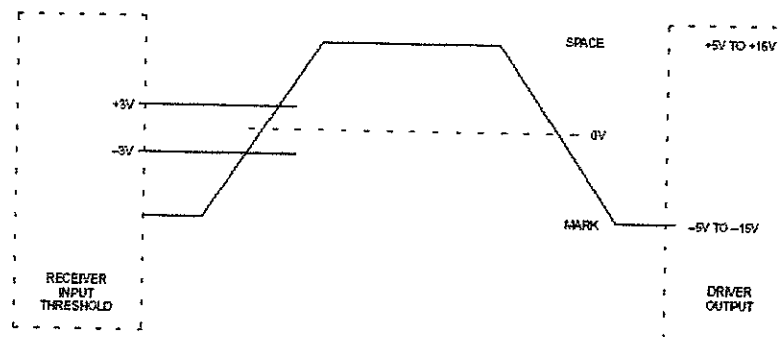


Figura 31 Detalle de los niveles de tensión RS232



Imágenes tomadas de Application Note 83 Fundamentals of RS-232 Serial Communications, Dallas semiconductor, pg 2

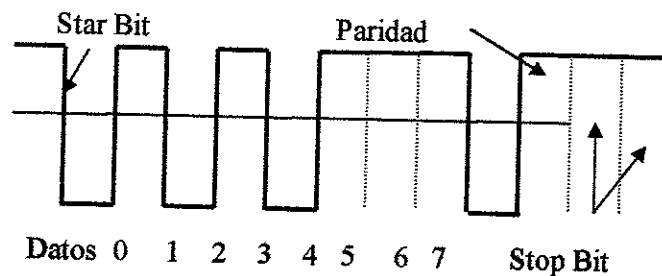
⇒ Diagrama de transmisión o estructura de los datos

En Transmisiones asíncronas, la primera transición de "1" a "0" es llamada Start Bit o bit de inicio, que es seguida, por 5, 6, 7 u 8 bits de datos espaciados con la misma base de tiempo,

de acuerdo a la velocidad de transmisión que se esté empleando, y un octavo bit opcional como paridad y siempre al final de la transmisión del carácter (dato), la señal debe obligatoriamente regresar a "0", mediante el Stop Bit o bit de parada, para atender el próximo Start Bit. Se puede definir 1, 1.5 o 2 Stop bits.

La transmisión con formato 8N1, es usado muy comúnmente en la comunicación de los ordenadores PC con equipos en 8 Bits de datos, sin paridad y 1 Stop Bit. Ejemplo de esto es el mouse, los modems y juegos en red, entre muchas otras aplicaciones.

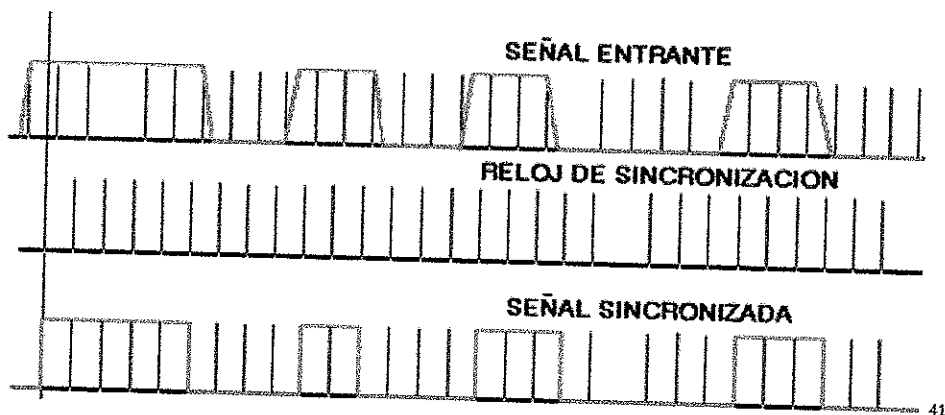
Figura 32 Estructura de transmisión serial de Datos



⇒ Reconstrucción de la señal

Al ser una transmisión serial en modo asíncrono sobre una línea, el receptor debe reconstruirla y sincronizarse para lo cual un reloj cuya frecuencia es un múltiplo de la frecuencia de emisión (16 o 64 veces más elevada) muestrea la polaridad de la señal entrante a pulso del reloj. Cuanto más elevada es esta frecuencia, la señal será reproducida más fielmente, (ver figura 33) siguiendo el principio de muestreo de Niquist. Este proceso no es notorio físicamente ya que se realiza internamente mediante circuitos integrados dedicados para tal fin denominados UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter).

Figura 33 Reconstrucción y sincronización de una señal serial en la UART



⁴¹ Figura tomada el día 08 de Agosto de 2005 de la web:

⇒ Conectores y descripción de pines

El RS232-c contempla un conector DB-25 de 25 pines, o la versión de 9 pines DB-9, más práctico y económico para cierto tipo de periféricos (como el mouse). Pero casi siempre solo se usan 9 pines en el conector DB-25. Como se vio en lo referente a señal eléctrica, los datos se transmiten a unos niveles de tensión equivalentes a las señales lógicas tanto como entrada y salida pero funcionan con lógica inversa en las señales de control. El estado de reposo en la entrada y salida de datos es -12V. Dependiendo de la velocidad de transmisión empleada, es posible tener cables de hasta 15 metros.

Los pines con las funciones más importantes son:

Tabla 8 Pines más importantes del estándar RS-232

PIN	FUNCIÓN
TXD	(Transmitir Datos)
RXD	(Recibir Datos)
DTR	(Terminal de Datos Listo)
DSR	(Equipo de Datos Listo)
RTS	(Solicitud de Envío)
CTS	(Libre para Envío)
DCD	(Detección de Portadora)

La masa de referencia para todas las señales es SG (Tierra de Señal). Otras funciones que hace que el estándar sea un conjunto de abundantes señales de control, que apoyan las comunicaciones primarias mediante comunicaciones secundarias de control o señalización las podemos ver en la siguiente tabla de la cual se explicaran los más relevantes en el marco conceptual:

Tabla 9 Funciones del estándar RS232 para comunicaciones seriales.

CIRCUIT MNEMONIC	CIRCUIT NAME*	CIRCUIT DIRECTION	CIRCUIT TYPE
AB	Signal Common	-	Common
BA BB	Transmitted Data (TD) Received Data (RD)	To DCE From DCE	Data
CA CB CC CD CE CF CG CH CI CJ RL LL TM	Request to Send (RTS) Clear to Send (CTS) DCE Ready (DSR) DTE Ready (DTR) Ring Indicator (RI) Received Line Signal Detector** (DCD) Signal Quality Detector Data Signal Rate Detector from DTE Data Signal Rate Detector from DCE Ready for Receiving Remote Loopback Local Loopback Test Mode	To DCE From DCE From DCE To DCE From DCE From DCE From DCE To DCE From DCE To DCE To DCE To DCE From DCE	Control
DA	Transmitter Signal Element Timing from DTE	To DCE	
DB DD	Transmitter Signal Element Timing from DCE Receiver Signal Element Timing From DCE	From DCE From DCE	Timing
SBA SBB	Secondary Transmitted Data Secondary Received Data	To DCE From DCE	Data
SCA SCB SCF	Secondary Request to Send Secondary Clear to Send Secondary Received Line Signal Detector	To DCE From DCE From DCE	Control

*Signals with abbreviations in parentheses are the eight most commonly used signals.

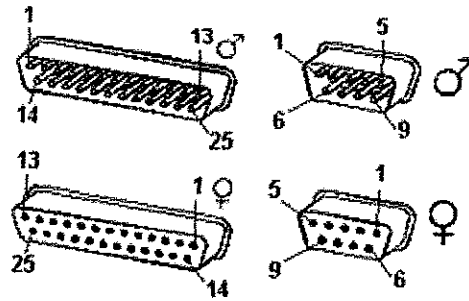
**This signal is more commonly referred to as Data Carrier Detect (DCD).

42

Conectores DB-25 y DB-9: Otra área que compone RS232 es la de características mecánicas o físicas externas, como lo son los conectores, para lo cual define el tipo DB-25 como el conector mínimo para conexionar la mayoría de las señales de control y datos para la comunicación, sin embargo, como no es común que se usen todas, también incluye el uso del conector DB-9 por lo cual se muestran y se enuncia su conexionado en las siguientes graficas.

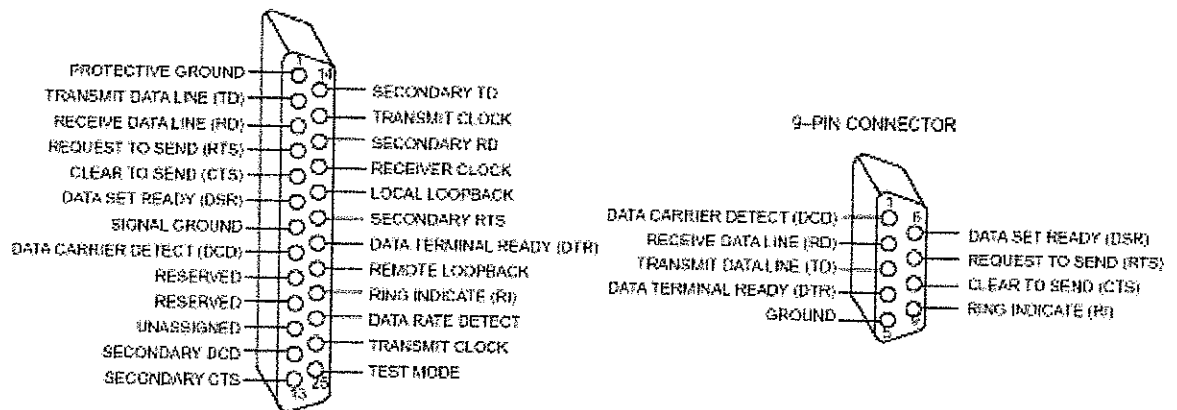
⁴² Tomada de Application Note 83 Fundamentals of RS-232 Serial Communications, Dallas semiconductor, pg 3.

Figura 34 Conectores macho y hembra DB-25 y DB-9



43

Figura 35 Detalle de los conectores para comunicación RS232
25-PIN CONNECTOR



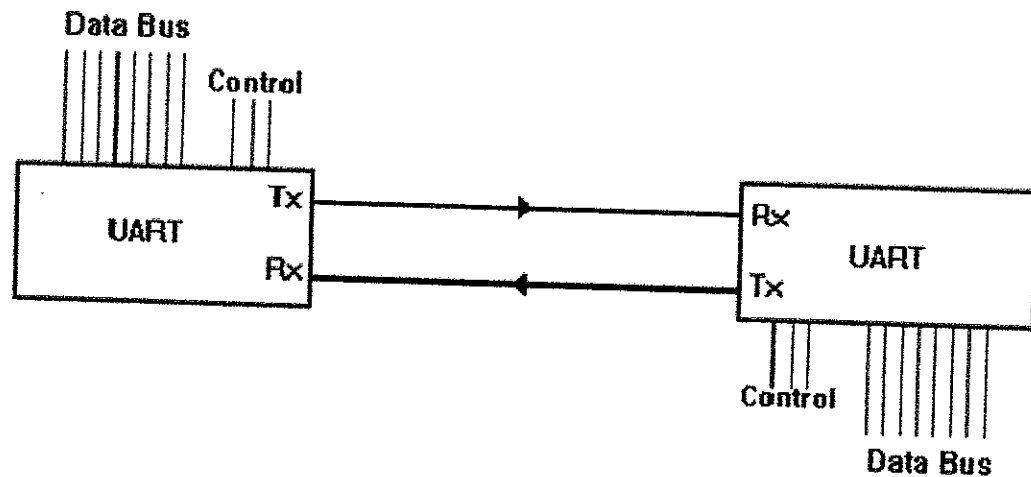
44

UART - Universal Asynchronous Receiver Transmitter: se constituye como el elemento más importante de un modem y es el encargado de transmitir la información; cuya misión principal es convertir los datos recibidos del bus del PC en formato paralelo, a un formato serie que será utilizado en la transmisión hacia el exterior. Y de transformar los datos serie recibidos del exterior en un formato paralelo entendible por el bus. Es un chip totalmente programable en el que pueden establecerse las condiciones que se utilizarán para la transmisión (velocidad, paridad, longitud y bits de parada). Existen varios modelos, el más básico ya discontinuado (un chip de 40 patillas DIP -Dual-In-Line-) es el 8250A, empleado en computadoras 286 y 386, y permitía comunicaciones hasta los 9600 bps. En la actualidad, el 16550 (con sus 3 versiones, 16550A, AF y AFN). Este chip contiene un buffer FIFO (First In, First Out) de 16 bytes, lo que le permite incrementar notablemente su rendimiento; asimismo, su capacidad de transmisión se eleva hasta 115 Kbps.

⁴³ Imagen tomada de la web: <http://www.euskalnet.net/shizuka/underc>.

⁴⁴ Imagen tomada de Application Note 83 Fundamentals of RS-232 Serial Communications, Dallas semiconductor, pg 3.

Figura 36 Conexión serial por UART



Igualmente se puede efectuar el test de paridad, testear el Overrun (Un 2do carácter ha llegado antes que el primero no sea leído) y monitorear las señales módems

3.5 CONTROL

En la actualidad la aplicación del control automático en los procesos industriales es una necesidad tangible, comúnmente llamado control de procesos, la cual genera alta competitividad y economía para los fabricantes.

Las necesidades cotidianas de seguridad y operación de los aparatos, la eficiencia, el control de calidad del producto, crean la necesidad de contar con sistemas de supervisión y control de los procesos cada vez más sofisticados. Sin embargo, la instrumentación de un proceso industrial puede tener instrumentos simples, como sistemas de última tecnología, los cuales pueden estar distribuidos en cualquier etapa del proceso.

Para la selección, instalación y puesta en servicio de los lazos de control industrial, se requiere conocer los instrumentos disponibles para la medición de las principales variables medidas o controladas en la industria, sobre el elemento final de control y sobre la operación de los controladores de uso industrial.

Todo lazo de control realimentado simple requerirá como mínimo de un elemento de medición y transmisión del valor de la variable que se desea controlar, un controlador y un elemento final de control debidamente interconectados.

El controlador empleado en más del 95% de los lazos de control industrial es el *PID*, el cual debe ser sintonizado adecuadamente para lograr el desempeño deseado del lazo de control.

3.5.1 Antecedentes Históricos ⁴⁵

En 1870 aparece lo que se ha considerado como el primer sistema de control automático aplicado a un proceso industrial. Este sistema fue desarrollado por James Watt y consistía en un control de velocidad para una máquina de vapor, utilizando para ello el gobernador de bolas giratorias. No fue sino hasta el siglo siguiente que este tipo de gobernador fue analizado teóricamente, este análisis fue realizado por Maxwell.

Durante la Primera Guerra Mundial cobró importancia el posicionamiento rápido y preciso de masas (cañones, baterías antiaéreas, etc.) Alrededor de 1920, Minorsky realizó un estudio clásico sobre los pilotos automáticos de barcos, así como el sistema de posición de los cañones en la cubierta de los mismos. Estos fueron los primeros servomecanismos que se desarrollaron. En general, un servomecanismo es un dispositivo cuya salida sigue, en algún sentido, a la entrada y siendo esa salida una posición mecánica o alguna de sus derivadas (velocidad o aceleración). El término “servo” fue introducido por Hazen, a quien se le considera como la primera persona que desarrolló una teoría general para el análisis de estos sistemas.

En los años 1940 se desarrollaron, y pusieron en práctica, métodos analíticos para el estudio de los sistemas de control, dando origen a una disciplina en la ingeniería: la Ingeniería de Control.

Durante la Segunda Guerra Mundial la teoría del control automático avanzó significativamente al desarrollarse equipos sofisticados en la industria del armamento (pilotos automáticos para aeronaves, sistemas de posicionamiento de cañones, sistemas de seguimiento para radar, etc).

Una vez terminada la guerra, el nivel alcanzado en el control automático fue aplicado al control de procesos industriales tales como: la industria manufacturera, industria química, metalúrgica y en la industria del papel.

El desarrollo industrial que se produjo a partir de 1950, obligó a los ingenieros de control a buscar nuevas teorías para el control de sistemas complejos, tales como los sistemas de múltiples entradas y múltiples salidas. Se desarrolló así la “teoría moderna de control automático”, la cual utiliza el concepto de variables de estado. Este concepto había sido desarrollado medio siglo antes para la mecánica clásica, pero desde 1955 su aplicación se ha facilitado con el advenimiento de las computadoras digitales y analógicas.

En la actualidad el control automático de procesos industriales, utilizando métodos numéricos, se ha desarrollado aceleradamente gracias a la aparición en el mercado de los microprocesadores. Estos dispositivos han elevado la calidad del control de procesos, tanto

⁴⁵ IE-0502 Herramienta para la identificación de procesos y sintonización de controladores PID.

desde el punto de vista de la flexibilidad y realización de estrategias de control muy sofisticadas, como desde el económico.

3.5.2 Sistema de control automático

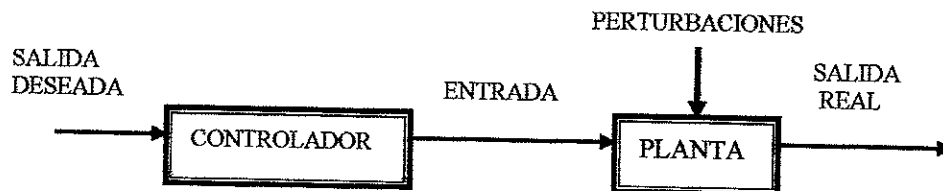
El problema fundamental del control automático es que dado un sistema, normalmente llamado planta o proceso, se debe escoger una entrada tal que la salida del sistema tenga un comportamiento preestablecido. Este problema puede ser resuelto de dos maneras diferentes:

- ✓ Ajustando por prueba y error un dispositivo de control.
- ✓ Representando el comportamiento de la planta, por medio de un conjunto de ecuaciones y escogiendo la estrategia de control en función de esta representación matemática.

Si bien la primera alternativa resuelve algunos problemas de control de procesos, la segunda ofrece al diseñador herramientas mucho más poderosas que le permitan controlar sistemas complejos.

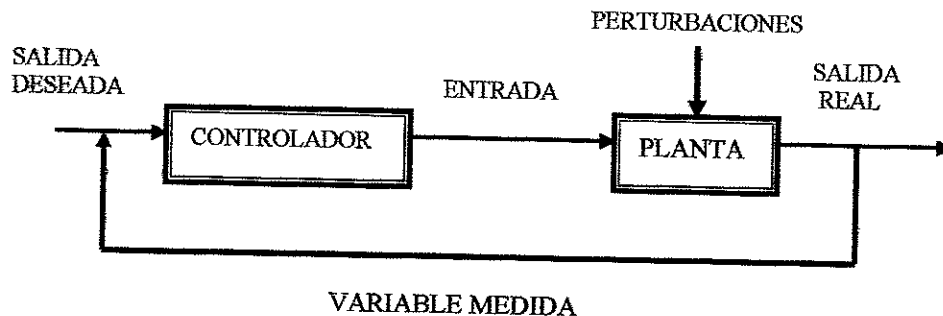
Con el modelo de la planta, el diseño del sistema de control puede hacerse de dos formas: ya sea que se conozca o no la respuesta del sistema. Si en el cálculo de la entrada no interviene la salida, las perturbaciones son predecibles, el sistema se llama de “lazo abierto o lazo directo de control”. La siguiente figura muestra una representación de un sistema de lazo abierto:

Figura 37 Sistema de lazo abierto.



Si en el cálculo de la entrada de la planta interviene la salida real del sistema, se tendrá un sistema de control de “lazo cerrado o realimentado”. La siguiente figura presenta un diagrama de un sistema de lazo cerrado:

Figura 38 Sistema de lazo cerrado.



3.5.2.1 Características relevantes de un Sistema de Control Automático⁴⁶

⇒ Estabilidad

Un sistema es estable si al aplicarle un estímulo momentáneo, su salida permanece acotada cuando el tiempo tiende a infinito; de manera que la respuesta a una señal, ya sea esta, un cambio en el valor deseado o una perturbación, debe alcanzar el valor deseado en un período de tiempo razonable, aunque pueda tener un error permanente.

Un sistema inestable puede producir oscilaciones persistentes o de gran amplitud en la señal, o bien, puede hacer que la señal tome valores que corresponden a límites extremos.

⇒ Perturbaciones

Todos los sistemas físicos están sujetos a algunos tipos de señales externas o ruido durante su operación. Ejemplos de estas señales son el voltaje de ruido térmico en circuitos electrónicos y el ruido de conmutación en motores eléctricos. En el diseño de sistemas de control, se deben dar consideraciones para que el sistema sea insensible al ruido y perturbaciones externas, y sensible a cambios en la entrada.

⇒ Exactitud

Un sistema de control debe ser exacto dentro de ciertos límites especificados. Esto significa que el sistema debe ser capaz de reducir cualquier error a un valor aceptable. Es conveniente hacer notar que no hay sistema de control alguno que pueda mantener un error cero en todo instante; de hecho, el control realimentado requiere que exista un error para que el sistema inicie la acción correctiva. Aún cuando haya sistemas que matemáticamente puedan reducir a cero el error en el sistema (bajo condiciones ideales), esto no sucede en la realidad a causa de las pequeñas imperfecciones inherentes a los componentes que conforman el sistema. La exactitud es muy relativa y sus límites están basados en la aplicación particular que se haga del sistema de control. Los límites deben hacerse tan amplios como sea posible porque, en general, el costo de un sistema de control aumenta rápidamente al hacerse necesario un aumento en la exactitud. En todo caso, todos los sistemas de control deben mantenerse dentro del grado necesario de exactitud.

3.5.3 Modelado de un proceso controlado

Los modelos matemáticos de un proceso o planta pueden obtenerse, básicamente, de dos formas, a saber:

- ✓ Experimentalmente.
- ✓ Analíticamente.

La identificación experimental conlleva la utilización de señales de prueba y un conjunto de mediciones de entrada-salida, y a partir de estas se determina, por medio de varios métodos

⁴⁶ IE-0502 Herramienta para la identificación de procesos y sintonización de controladores PID

de identificación, el modelo matemático buscado. Si se utiliza la forma analítica para la obtención del modelo, debe recurrirse a las leyes físicas y químicas que gobiernan el comportamiento del sistema. No es necesario que el modelo sea una descripción minuciosa del mecanismo real del sistema. Puede ser una simple imitación del comportamiento del mismo. Siempre se tendrá que llegar a un compromiso entre complejidad y exactitud: cuanta mayor exactitud, mayor complejidad. Si el modelo es muy complicado, su utilidad es discutible, además, debe tenerse en cuenta que una característica dominante de la construcción de modelos es su relativa simplicidad.

Por último, se debe saber la validez que tiene el modelo, esto es, lo bien o lo mal que el modelo imita al sistema real. Existen muchas opciones para evaluar la validez de un modelo.

3.5.4 Identificación Experimental de Procesos

Para poder aplicar técnicas de sintonización de los controladores PID es necesario identificar primero la dinámica del proceso, para posteriormente obtener los parámetros para el ajuste del controlador utilizando el procedimiento de sintonización deseado. Para obtener el modelo de la planta, se requiere que la misma sea excitada en alguna forma y que tanto su entrada como su respuesta sean registradas.

Las técnicas de identificación experimental normalmente utilizadas para la identificación de los modelos simples, que son requeridos para la sintonización de los controladores, se pueden clasificar como:

- ✓ Métodos basados en la curva de reacción del proceso (respuesta al escalón).
- ✓ Métodos de oscilación mantenida.
- ✓ Métodos de realimentación por relé.
- ✓ Métodos de control P.

➤ Los métodos basados en la curva de reacción del proceso

Son métodos de lazo abierto, el controlador puede o no estar instalado y si lo está, operará en modo “manual” durante la prueba. Los demás métodos son del tipo de lazo cerrado, en donde el controlador se encuentra operando en “automático”.

Los métodos basados en la curva de reacción del proceso y los de control P, se utilizan para identificar normalmente un modelo de primer o segundo orden simple o más tiempo muerto, mientras que los de oscilación mantenida y los de retroalimentación por relé, obtienen la información de la ganancia límite y el periodo de oscilación del sistema para ser usada directamente en un método de sintonización o para la identificación de un modelo para el sistema. Los sistemas sobre-amortiguados de orden mayor a dos, pueden ser representados por modelos de primer o segundo orden más tiempo muerto, y los sistemas sub-amortiguados pueden ser representados por modelos de segundo orden más tiempo muerto.

Las funciones de transferencia de los modelos que usualmente se requiere identificar son de:

Tabla 10. Funciones de Transferencia

Primer orden:	$G_p(s) = \frac{K_p}{\tau \cdot s + 1}$
Primer orden más tiempo muerto:	$G_p(s) = \frac{K_p * e^{-tms}}{\tau \cdot s + 1}$
Segundo orden sobreamortiguado:	$G_p(s) = \frac{K_p}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$
Segundo orden subamortiguado:	$G_p(s) = \frac{\omega_n^2 K_p}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} = \frac{K_p}{\tau_n^2 s^2 + 2\xi\tau_n s + 1}$
Segundo orden sobreamortiguado más tiempo muerto:	$G_p(s) = \frac{K_p * e^{-tms}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$
Segundo orden subamortiguado más tiempo muerto:	$G_p(s) = \frac{\omega_n^2 K_p * e^{-tms}}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} = \frac{K_p * e^{-tms}}{\tau_n^2 s^2 + 2\xi\tau_n s + 1}$
Integrante:	$G_p(s) = \frac{K_p * e^{-tms}}{s} \quad G_p(s) = \frac{K_p * e^{-tms}}{s(\tau \cdot s + 1)}$

En donde:

$G_p(s)$: Función de transferencia del proceso (modelo)

K_p : Ganancia estática

τ, τ_1, τ_2 : Constantes de tiempo

tm : Tiempo muerto aparente

ω_n : Frecuencia natural

ξ : Razón de amortiguamiento

s : Variable compleja

3.5.5 Controladores

3.5.5.1 Definición

El controlador es “un dispositivo que opera automáticamente para regular una variable controlada”⁴⁷. Compara el valor real de la variable controlada con su valor deseado (referencia), determina el error, y produce una señal de control que reduce el error a cero, o a un valor muy pequeño. Este error es procesado por el sistema de control para calcular el cambio necesario de la variable manipulada para restablecer el equilibrio del sistema.

3.5.6 Controladores PID

Históricamente, las primeras estructuras de control usaban las ideas del control PID. Sin embargo, fue hasta el trabajo de Minorsky de 1922, sobre conducción de barcos, que el control PID cobró verdadera importancia teórica. Hoy en día, a pesar de la abundancia de sofisticadas herramientas y métodos avanzados de control, el controlador PID es aún el más utilizado en la industria moderna, controlando más del 95% de los procesos industriales en lazo cerrado.

La familia de controladores PID es una estructura de control utilizada normalmente en la industria. Estos controladores han mostrado ser robustos y extremadamente beneficiosos en el control de procesos industriales de importancia. Están formados por la combinación de los modos de control proporcional **P**, integral **I** y derivativo **D**.

El término básico en el controlador PID es el proporcional (**P**), que origina una actuación de control correctiva proporcional al error.

El término integral (**I**) brinda una corrección proporcional a la integral del error acumulado, lo que implica que es un modo de controlar lento. Esta acción tiene la ventaja de asegurar que en última instancia se aplicará suficiente acción de control para reducir el error de regulación a cero. Sin embargo, la acción integral también tiene un efecto desestabilizador debido al corrimiento de fase agregado.

El término derivativo (**D**) da propiedades predictivas a la actuación, generando una acción de control proporcional a la velocidad de cambio del error. Tiende a dar más estabilidad al sistema pero suele generar grandes valores en la señal de control.

Los controladores se clasifican de la siguiente manera:

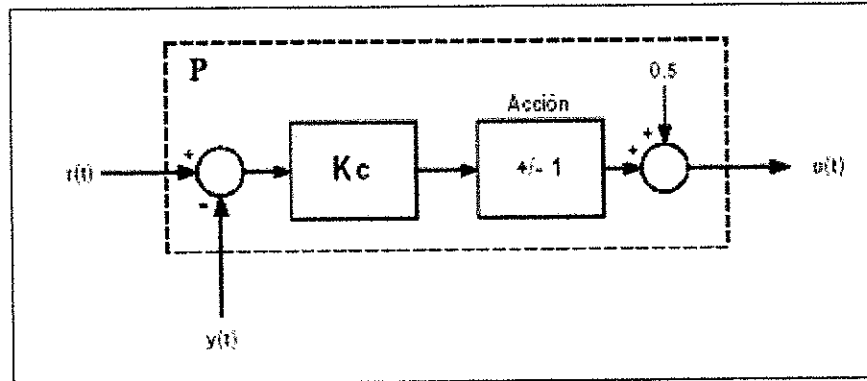
- ✓ P: Proporcional.
- ✓ PI: Proporcional - Integral.
- ✓ PD: Proporcional - Derivativo.
- ✓ PID: Proporcional - Integral - Derivativo.

⁴⁷ Alfaro, V.M. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 2003.

3.5.6.1 Controlador Proporcional (P)

Un controlador formado por solamente el modo proporcional se denomina Controlador Proporcional o simplemente Controlador P. Da una salida del controlador que es proporcional al error, es decir: $u(t) = \pm K_p \cdot e(t)$, donde K_p es una ganancia proporcional ajustable. Un controlador proporcional puede controlar cualquier planta estable, pero posee desempeño limitado y error en régimen permanente (off-set).

Figura 39 Diagrama de bloques del controlador Proporcional

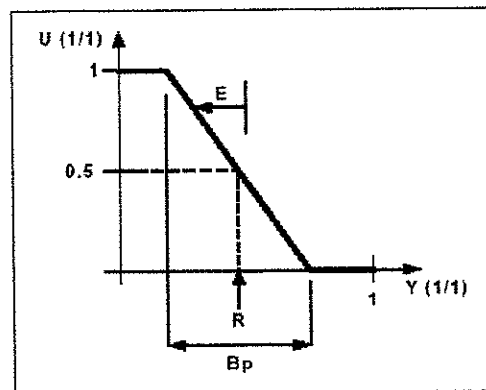


Fuente: IE-432 Capítulo 5 - Controladores

En el Controlador Proporcional se puede seleccionar el valor deseado ($r(t)$), su Ganancia (K_p) o Banda Proporcional (B_p) y la Acción.

La Banda Proporcional es el cambio porcentual necesario en la señal realimentada (y) para producir un cambio de 0 al 100% en la salida del controlador (u).

Figura 40 Característica de un controlador Proporcional (acción inversa)



Fuente: IE-432 Capítulo 5 - Controladores

El controlador puede tener Acción Directa o Acción Inversa. Con la Acción Directa la salida del controlador crecerá cuando la señal realimentada crezca, con la Acción Inversa la salida del controlador decrecerá cuando la señal realimentada crezca.

La Acción del controlador debe elegirse en forma adecuada de manera que el controlador efectúe las correcciones tendientes a disminuir el error, producto por ejemplo de una perturbación, y no a aumentarlo si esta se selecciona en forma equivocada.

La selección de la acción del controlador debe tomar en cuenta el signo de la ganancia de la planta y la acción del actuador en caso de falla del elemento final. Considerando entonces la ganancia del conjunto actuador – planta – sensor, la acción del controlador debe ser inversa si esta es positiva y directa si es negativa.

3.5.6.2 Controlador Proporcional-integral (PI)

El modo proporcional toma en cuenta la magnitud y el signo (presente) del error, pero no por cuanto tiempo ha existido o con que velocidad cambia este error.

Además, el hecho de existir una relación uno a uno entre el error y la salida del controlador hace que en la mayor parte de los casos, la salida requerida para mantener el balance del sistema en estado estacionario solo se pueda obtener con un error permanente.

Un modo que toma en cuenta la “historia anterior” (pasado) del error y que permite obtener cualquier salida del controlador con error permanente cero es el modo integral. La salida del modo integral no alcanzará un valor estacionario hasta que el error sea cero y permanezca siendo cero.

El modo integral adicionará a la salida del controlador una cantidad que es proporcional a la integral del error. Aunque el modo integral se puede utilizar solo, en lo que se denomina un “controlador flotante”, se emplea más comúnmente en combinación con el modo proporcional para formar un controlador proporcional – integral o simplemente controlador PI.

Esta dado por:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau$$

Donde T_i se denomina tiempo integral y es quien ajusta la acción integral. La función de transferencia resulta:

$$C_{PI}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

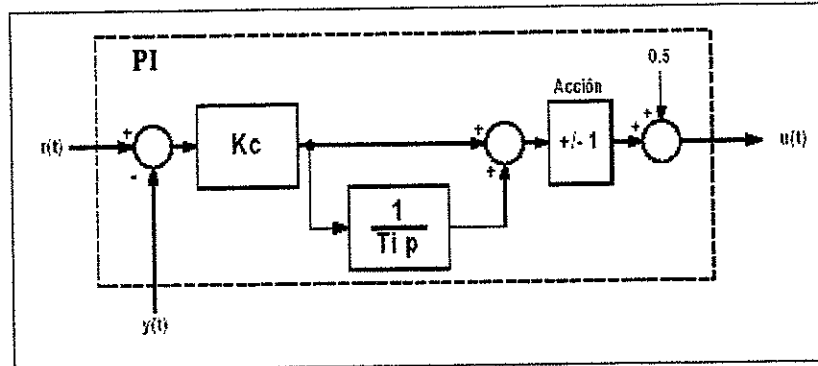
De manera que se tienen que sintonizar dos parámetros en este tipo de controlador: K_c y T_i ; donde:

K_c : ganancia del controlador.

T_i : tiempo integral del controlador.

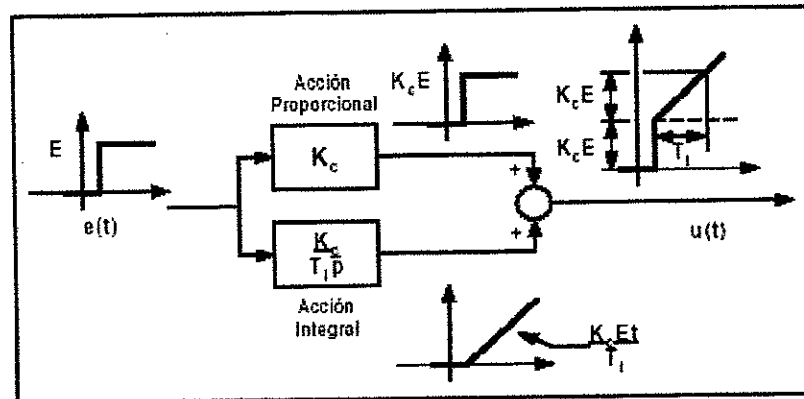
$e(t)$: error,

Figura 41 Diagrama de bloques del controlador Proporcional – Integral



Fuente: IE-432 Capítulo 5 – Controladores

Figura 42 Característica de un controlador Proporcional-Integral



Fuente: IE-432 Capítulo 5 - Controladores

Con un control proporcional, es necesario que exista error para tener una acción de control distinta de cero. Con acción integral, un error pequeño positivo siempre nos dará una acción de control creciente, y si fuera negativo la señal de control será decreciente.

Este razonamiento sencillo nos muestra que el error en régimen permanente será siempre cero.

Muchos controladores industriales tienen solo acción PI. Se puede demostrar que un control PI es adecuado para todos los procesos donde la dinámica es esencialmente de primer orden.

3.5.6.3 Controlador Proporcional-Derivativo (PD)

En los sistemas que tienden fácilmente a la inestabilidad, es conveniente introducir una compensación dinámica estabilizadora. Una acción de este tipo es la derivativa.

El modo derivativo toma en cuenta la velocidad con que cambia el error aumentando la amplitud de la acción correctiva cuando el error cambia rápidamente y disminuyéndola cuando cambia lentamente, además que toma en cuenta la dirección en que cambia el error, esto es, las cantidades de acción correctiva grandes o pequeñas dependiendo de la velocidad de cambio, se suman si el error aumenta y se restan si el error disminuye.

El modo derivativo permite estimar la tendencia (futuro) del error.

La acción derivativa se encuentra siempre asociada a la acción proporcional para formar el controlador proporcional – derivativo o controlador PD.

La ecuación para el controlador PD es

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

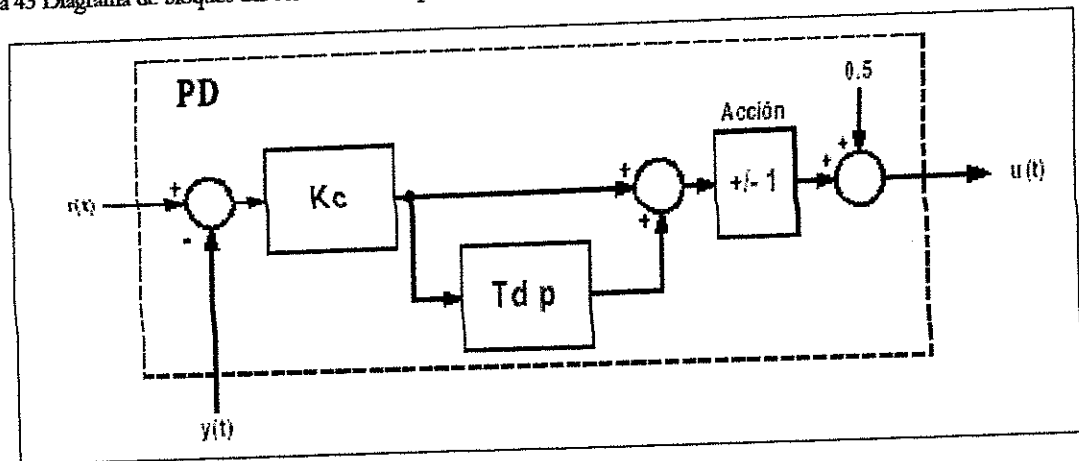
Donde T_d es una constante denominada tiempo derivativo. Esta acción tiene carácter de previsión, lo que hace más rápida la acción de control, aunque tiene la desventaja importante que amplifica las señales de ruido y puede provocar saturación en el actuador.

La acción de control derivativa nunca se utiliza por sí sola, debido a que solo es eficaz durante periodos transitorios. La función transferencia de un controlador PD resulta:

$$C_{PD}(s) = K_p + sK_p T_d$$

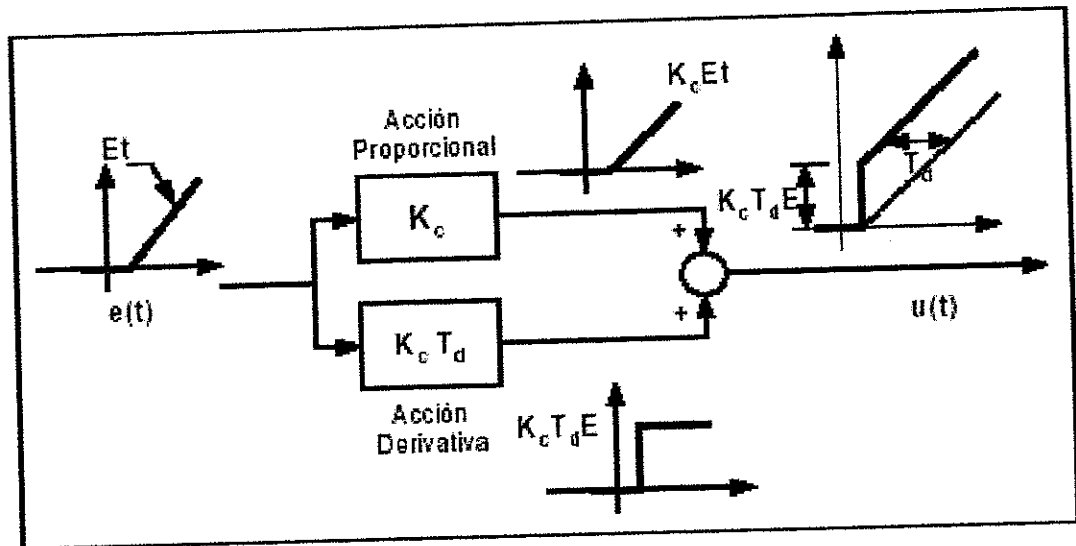
Cuando una acción de control derivativa se agrega a un controlador proporcional, permite obtener un controlador de alta sensibilidad, es decir que responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande. Aunque el control derivativo no afecta en forma directa al error en estado estacionario, añade amortiguamiento al sistema y, por tanto, permite un valor más grande que la ganancia K , lo cual provoca una mejora en la precisión en estado estable.

Figura 43 Diagrama de bloques del controlador Proporcional – Derivativo



Fuente: IE-432 Capítulo 5 – Controladores

Figura 44 Característica de un controlador Proporcional-Derivativo



Fuente: IE-432 Capítulo 5 - Controladores

Al adicionar la acción derivativa se está adicionando adelanto en el controlador para compensar el retraso en el lazo. El uso del modo derivativo se limita usualmente a aquellos casos con un retraso extremo en el proceso como es el caso de los lazos de control de temperatura, evitando utilizarlo en los sistemas con ruido de medición. El ajuste del tiempo derivativo tiene que ver con cuanto adelanto se introduce en la acción de control.

La adición del modo derivativo en el controlador hace normalmente que el lazo sea más estable si está ajustado correctamente. Si el lazo es más estable, la ganancia puede ser mayor se tendría con un controlador puramente proporcional.

3.5.6.4 Controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID)

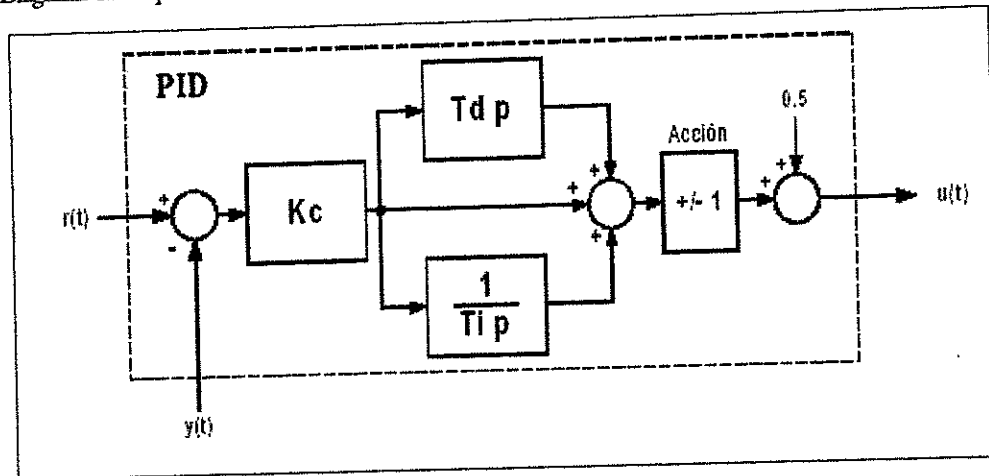
Esta acción combinada reúne las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La ecuación de un controlador con esta acción combinada se obtiene mediante:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Y su función transferencial resulta:

$$C_{PID}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Figura 45 Diagrama de bloques del controlador Proporcional - Integral - Derivativo



Fuente: IE-432 Capítulo 5 – Controladores

3.5.6.5 Orientaciones para el uso del regulador PID.

Para el control de posición o dirección, velocidad y aceleración, se utilizan las tres acciones, aunque existen algunas excepciones como el control numérico de máquinas en las que se aplica el regulador P para el control de la posición de la herramienta y un regulador PI para el control de la velocidad de la misma.

En la regulación del caudal y presión en líquidos es esencial la acción integral pero perjudicial la derivativa porque amplifica las perturbaciones que producen los sensores de medida de este tipo de variables. Por lo tanto se recomienda un PI con un tiempo integral elevado. Para la regulación de nivel ocurre lo mismo aunque puede prescindirse de la acción integral si el error es aceptable.

Es esencial la acción derivativa en la regulación de temperatura porque los retardos son considerables, pero es innecesaria en la regulación de la presión de un gas para la que basta con un controlador proporcional con una ganancia grande. La variación de la presión es un proceso muy estable y se elimina prácticamente el error con una acción P.

Es necesaria la acción integral si el proceso es continuo pero no lo es si el propio proceso dispone de un elemento integrador (control P o PI). En la regulación de temperatura y presión de vapor es necesaria la acción integral y la derivativa es esencial si se necesita acelerar la respuesta. En la regulación del pH es esencial la acción integral y la derivativa es recomendable.

Tabla 11 Recomendaciones para el uso del PID según aplicación

	Caudal y presión en líquidos	Presión de un gas	Nivel en líquidos	Temperatura y presión de vapor	Ph
Proporcional (P)	50-500%	0-5%	5-50%	10-100%	100-1000%
Integral (I)	Esencial	Innecesario	Si	Si	Esencial
Derivativo (D)	No	Innecesario	No	Esencial	Si posible

3.5.7 Métodos de sintonización de controladores PID⁴⁸

La sintonización de los controladores PID consiste en la determinación del ajuste de sus parámetros (K_c , T_i y T_d), para lograr un comportamiento del sistema de control aceptable y robusto de conformidad con el criterio de desempeño establecido.

Para poder realizar la sintonización, primero se necesita identificar el proceso o planta para luego a partir de esta, determinar los parámetros del controlador utilizando un método de sintonización adecuado.

Se deben considerar entonces las posibles condiciones de operación del sistema. Como servomecanismo y como regulador:

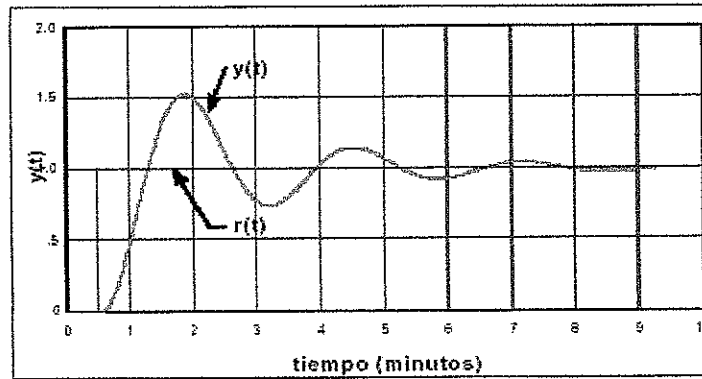
3.5.7.1 Servomecanismo ($z = 0$)

$$y(s) = \frac{G_c(s)G_p(s)}{1 + G_c(s)G_p(s)} r(s) = G_{lcr} r(s)$$

En la cual se requiere un buen seguimiento al valor deseado.

⁴⁸ IE-432 Capítulo 6 -- Métodos de sintonización

Figura 46 Respuesta del sistema de control Cambio escalón en el valor deseado.



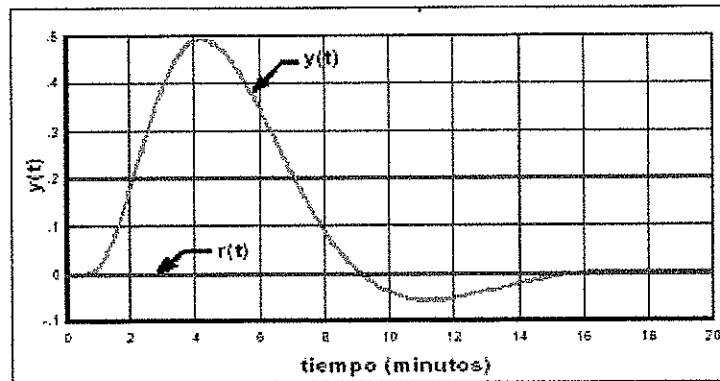
Tomada de: IE-432 Capítulo 6 – Métodos de sintonización

3.5.7.2 Regulador ($r = 0$)

$$y(s) = \frac{G_p(s)}{1 + G_c(s)G_p(s)} z(s) = G_{lez} z(s)$$

En donde lo importante es la insensibilidad a las perturbaciones.

Figura 47 Respuesta del sistema de control Cambio escalón en la perturbación.



Tomada de: IE-432 Capítulo 6 – Métodos de sintonización

Dado que los numeradores de las funciones de transferencia de lazo cerrado G_{ler} y G_{lez} son diferentes, no necesariamente un buen ajuste del controlador para operar como servomecanismo funcionará bien como regulador.

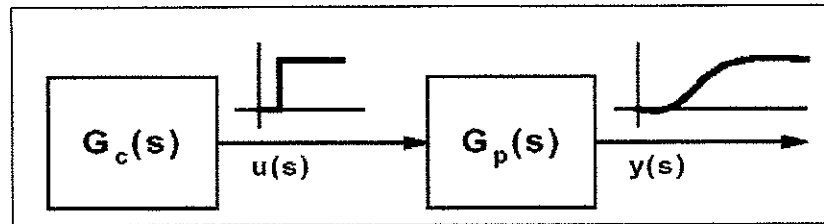
3.5.8 Tipos de métodos de sintonización

El desarrollo de los métodos de sintonización ha sido extenso desde que Ziegler y Nichols propusieron su procedimiento en 1942 y estos se agrupan usualmente como:

3.5.8.1 Métodos de lazo abierto

En estos el controlador, si es que está instalado operará en modo “manual”. Produciendo un cambio escalón a la salida del controlador se obtiene la curva de reacción del proceso, a partir de la cual se identifica un modelo para el mismo, usualmente de primer orden más tiempo muerto. Este modelo es la base para la determinación de los parámetros del controlador.

Figura 48 Respuesta en lazo abierto.

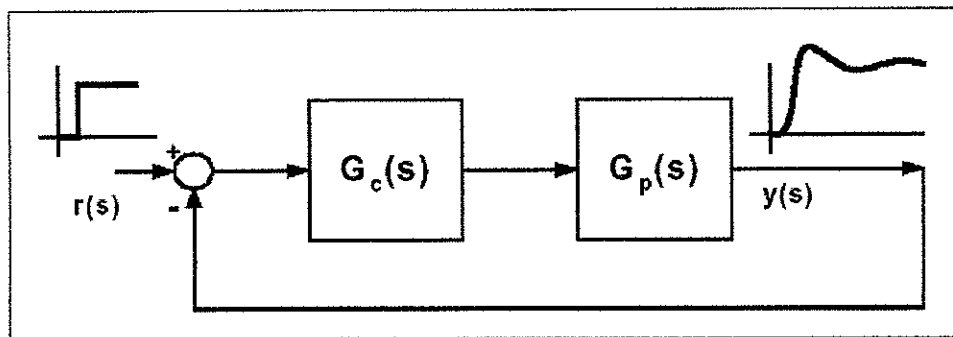


Tomada de: IE-432 Capítulo 6 – Métodos de sintonización

3.5.8.2 Métodos de lazo cerrado

En este se requiere el controlador y que este opere en modo “automático”. Produciendo un cambio en el valor deseado se obtiene información del comportamiento dinámico del sistema ya sea para identificar un modelo de orden reducido para el proceso, o de la oscilación sostenida del mismo, dependiendo del método de sintonización a utilizar, información que será empleada para el cálculo de los parámetros del controlador.

Figura 49 Respuesta en lazo cerrado.



Tomada de: IE-432 Capítulo 6 – Métodos de sintonización

3.5.9 Clasificación de los métodos de sintonización⁴⁹

Los métodos de sintonización de controladores que se describirán se clasificarán de acuerdo a la información requerida para su uso o al criterio de desempeño empleado como:

- ✓ Basados en la curva de reacción del proceso (lazo abierto)
- ✓ Basados en Criterios Integrales
- ✓ Métodos de oscilación sostenida (lazo cerrado), entre otros.

Para cada uno de ellos aparte de las ecuaciones requeridas para el cálculo de los parámetros del controlador, es importante conocer si fueron desarrollados para controladores funcionando como servomecanismos o como reguladores, cual fue el procedimiento utilizado para la obtención del modelo del proceso si este es requerido y cual fue la función de transferencia del controlador PID supuesta por los autores del método.

3.5.9.1 Métodos basados en la curva de reacción del proceso

Estos son métodos que se basan en información obtenida de la respuesta del sistema a una entrada escalón. Esta respuesta es la curva de reacción del proceso, la cual se obtiene mediante una prueba de lazo abierto con el controlador en manual y el sistema operando en el punto de operación deseado. En estas condiciones se aplica manualmente un cambio escalón en la salida del controlador (entrada al proceso) y se registra esta señal y la de salida del proceso, desde el instante en que se aplicó el escalón de entrada hasta que el sistema alcance un nuevo punto de operación estable, si este es un proceso auto-regulado.

Los procedimientos de sintonización basados en la curva de reacción del proceso parten de la obtención a partir de la misma, de un modelo de primer orden más tiempo muerto dado por:

$$G_p(s) = \frac{K_p * e^{-tms}}{\tau.s + 1}$$

Conocidos la ganancia k_p , la constante de tiempo τ y el tiempo muerto aparente del sistema t_m se pueden calcular los parámetros del controlador.

⇒ Método de Ziegler y Nichols

El primer procedimiento sistematizado para el cálculo de los parámetros de un controlador PID fue desarrollado por Ziegler y Nichols. Las ecuaciones fueron determinadas en forma empírica a partir de pruebas realizadas en el laboratorio con diferentes procesos

⁴⁹ IE-432 Capítulo 6 – Métodos de sintonización

➤ Características:

- ✓ Modelo de la planta: primer orden más tiempo muerto.
- ✓ Identificación del modelo: método de la tangente.
- ✓ Funcionamiento del controlador: regulador.
- ✓ Criterio de desempeño: decaimiento de un cuarto.
- ✓ Controlador PID: ideal (Z&N utilizaron controladores neumáticos con cierta interacción y no hay un criterio uniforme sobre este punto).
- ✓ Validez: $t_m <$

➤ Ecuaciones:

⇒ Método de Chien, Hrones y Reswick

Chien establecen ecuaciones tanto para servomecanismos como reguladores con dos tipos distintos de desempeño.

➤ Características:

- ✓ Modelo de la planta: primer orden más tiempo muerto
- ✓ Identificación del modelo: método de la tangente
- ✓ Funcionamiento del controlador: servomecanismo o regulador
- ✓ Criterio de desempeño: la respuesta más rápida sin sobrepaso o la respuesta más rápida con un 20% de sobrepaso máximo
- ✓ Controlador PID: ideal

⇒ Método de Cohen y Coon

En el desarrollo de su método de sintonización Ziegler y Nichols no consideraron que el proceso fuera auto regulado. Cohen y Coon introducen entonces un índice de auto regulación definido como $\mu = t_m/\tau$ y replantean las ecuaciones de sintonización.

Cohen y Coon consideraron que el modelo real del proceso era de primer orden más tiempo muerto. Aunque no hay referencia a cual método de identificación del modelo se supone debe usarse, el método fue propuesto antes que otro método distinto de la tangente fuera utilizado, sin embargo dado que el estudio que realizaron parte del supuesto que los valores de los parámetros del modelo de primer orden más tiempo brindan la mejor representación del proceso, debe utilizarse entonces el método de identificación más preciso como lo es alguno de los de dos puntos.

➤ Características:

- ✓ Modelo de la planta: primer orden más tiempo muerto
- ✓ Identificación del modelo: método que provea la mejor aproximación
- ✓ Funcionamiento del controlador: regulador
- ✓ Criterio de desempeño: decaimiento de un cuarto, sobrepaso mínimo, mínima área bajo la curva de respuesta
- ✓ Controlador PID: ideal

⇒ Método de Miller, Smith y Murill

Aunque presentan inicialmente el método de la tangente para identificar el modelo, indican que los gráficos se aplican a sistemas que sean de primer orden más tiempo muerto. Posteriormente indican que el método de la tangente modificada es un mejor método de identificación.

Como parten del supuesto que el modelo exacto del sistema es de primer orden más tiempo muerto debe utilizarse el mejor procedimiento para su identificación.

Para poder resolver el sistema de ecuaciones planteado para los parámetros del controlador, se requiere una condición para el controlador P, dos para el PI y PD, y tres para el PID. Por esta razón el criterio de desempeño seleccionado para el sistema de control depende del tipo de controlador empleado. Para un controlador P es el decaimiento de $\frac{1}{4}$, para el PI se adiciona la condición de minimizar la integral del error absoluto IAE, para el PD será el decaimiento de $\frac{1}{4}$ y error mínimo en estado estacionario, y para el PID el decaimiento de $\frac{1}{4}$, IAE mínimo y que se cumpla que $K_c k_p t_m / \tau = 0.5$.

➤ Características:

- ✓ Modelo de la planta: primer orden más tiempo muerto
- ✓ Identificación del modelo: método que provea la mejor aproximación
- ✓ Funcionamiento del controlador: regulador
- ✓ Criterio de desempeño: depende del controlador empleado
- ✓ Controlador PID: ideal

➤ Ecuaciones:

3.5.9.2 Métodos de lazo cerrado

⇒ Método de Ziegler y Nichols

Al igual que sucedió con los procedimientos de sintonización basados en la curva de reacción del proceso, el primer procedimiento de sintonización basado en una prueba de lazo cerrado fue propuesto por Ziegler y Nichols, de hecho ellos presentaron ambos procedimientos en la misma publicación.

El procedimiento requiere que utilizando un controlador puramente proporcional y mediante un proceso iterativo, se aumente paulatinamente la ganancia del mismo hasta lograr que el sistema entre en una oscilación mantenida ante un cambio escalón en el valor deseado.

La ganancia en este punto es la ganancia última K_{cu} y el periodo de la oscilación el periodo último T_m .

Para el ajuste proporcional seleccionaron el decaimiento de $\frac{1}{4}$ como un compromiso entre error permanente y decaimiento encontrando que la ganancia proporcional para un controlador P debería ser la mitad de la ganancia última.

➤ Características:

- ✓ Información del sistema: K_{cu} y T_m
- ✓ Funcionamiento del controlador: regulador
- ✓ Criterio de desempeño: decaimiento de un cuarto
- ✓ Controlador PID: ideal (Z&N utilizaron controladores neumáticos con cierta interacción)

➤ Ecuaciones:

⇒ Método de Shinskey

Un procedimiento basado también en la información última del sistema es el propuesto por Shinskey en cual supone que el sistema es de primer orden más tiempo muerto.

➤ Características:

- ✓ Información del sistema: K_{cu} y T_m
- ✓ Funcionamiento del controlador: regulador
- ✓ Criterio de desempeño: IAE, ganancia de lazo igual a 0.5
- ✓ Controlador PID: ideal e interactuante

En la aplicación de los diferentes métodos de sintonización de controladores descritos anteriormente, usualmente se supone que la planta es lineal o por lo menos se utiliza un modelo linealizado en torno al punto de operación deseado para el sistema. Sin embargo, en la realidad las plantas son no lineales, por lo que los parámetros utilizados en los modelos, tales como ganancia, constantes de tiempo y tiempos muertos, se ven afectados al variar el punto de operación ya sea por efecto de las perturbaciones o por un cambio del valor deseado.

Es importante entonces determinar la robustez de los diferentes métodos, esto es, su habilidad de mantener las características de control deseadas ante cambios en los parámetros de la planta. Se dirá que un método de sintonización es robusto si el comportamiento del sistema ante una perturbación o un cambio en el valor deseado, no se ve afectado en forma considerable por el cambio en una o más de las características del sistema. Si el método no es robusto las variaciones en el comportamiento del sistema de control pueden ser considerables, e incluso podría darse el caso de que ante un cambio apreciable de un parámetro, el sistema se vuelva inestable.

Dos de los parámetros de la planta cuya variación pueden motivar la inestabilidad del sistema de control son la ganancia y el tiempo muerto. Al aumentar la ganancia del proceso se reduce el amortiguamiento del lazo de control hasta que se producen oscilaciones mantenidas, esto representa el límite de la estabilidad, y el incremento requerido de la ganancia para llevar el lazo hasta este punto es una indicación de su robustez. De igual manera se puede hacer con el tiempo muerto.

3.5.10 Lógica difusa

La lógica difusa (llamada también Lógica Borrosa) o Fuzzy Logic por su diversidad de aplicaciones en diferentes campos, se ha introducido en todos los sectores; control de complejos procesos industriales, diseño de dispositivos artificiales de deducción automática, construcción de artefactos electrónicos de uso doméstico y de entretenimiento, sistemas de diagnóstico, entre otros, dando una respuesta satisfactoria en cada uno de estos procesos.

El aspecto central de los sistemas basados en la teoría de la lógica difusa es que, a diferencia de los que se basan en la lógica clásica, tienen la capacidad de reproducir aceptablemente los modos usuales del razonamiento, considerando que la certeza de una proposición es una cuestión de grado. Más formalmente se puede decir que si la lógica es la ciencia de los principios formales y normativos del razonamiento, la lógica difusa o borrosa se refiere a los principios formales del razonamiento aproximado, considerando el razonamiento preciso (lógica clásica) como caso límite. Así pues, las características más atractivas de la lógica difusa son su flexibilidad, su tolerancia con la imprecisión, su capacidad para modelar problemas no-lineales, y su base en el lenguaje natural.

3.5.10.1 Historia⁵⁰

La lógica difusa fue investigada, por primera vez, a mediados de los años sesenta en la Universidad de Berkeley (California) por el ingeniero Lotfy A. Zadeh, cuando se dio cuenta de lo que él llamó principio de incompatibilidad: "Conforme la complejidad de un sistema aumenta, nuestra capacidad para ser precisos y construir instrucciones sobre su comportamiento disminuye hasta el umbral más allá del cual, la precisión y el significado son características excluyentes". Introdujo entonces el concepto de conjunto difuso (Fuzzy Set), bajo el que reside la idea de que los elementos sobre los que se construye el

⁵⁰ www.tdx.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0207105-105056/04Rpp04de11.pdf 21-11-05 6:40 Pm

pensamiento humano no son números sino etiquetas lingüísticas. La lógica difusa permite representar el conocimiento común, que es mayoritariamente del tipo lingüístico cualitativo y no necesariamente cuantitativo, en un lenguaje matemático a través de la teoría de conjuntos difusos y funciones características asociadas a ellos. Permite trabajar a la vez con datos numéricos y términos lingüísticos; los términos lingüísticos son inherentemente menos precisos que los datos numéricos pero en muchas ocasiones aportan una información más útil para el razonamiento humano.

Aunque la lógica difusa es conocida con este nombre desde que Zadeh la bautizó así en 1965, la idea que se esconde tras ella y sus orígenes se remontan 2.500 años atrás. Los filósofos griegos, Aristóteles entre ellos, consideraban que existían ciertos grados de veracidad y falsedad, Platón había trabajado con grados de pertenencia.

Además de las contribuciones del propio Zadeh, otros autores como Bellman, Lakoff, Goguen, Kohout, Smith, Sugeno, Chang, Dunn, Bezdek, Negoita, Mizumoto, Tanaka, Kandel, Zimmermann, etc... hicieron aportaciones al desarrollo de las bases de esta teoría. Durante esta primera década, gran parte de estructuras lógicas y matemáticas son generalizadas en términos de lógica difusa: relaciones lógicas, funciones, grupos, operaciones, operadores, algoritmos, etc...

Un hito importante en el desarrollo de la lógica difusa fue establecido por Assilian y Mamdani en 1974 en el Reino Unido al desarrollar el primer controlador difuso diseñado para una máquina de vapor, pero la primera implantación real de un controlador de este tipo fue realizada en 1980 por F.L. Smidth & Co. en una planta cementera en Dinamarca.

En 1983 Fuji aplica la lógica difusa para el control de inyección química en plantas depuradoras de agua por primera vez en Japón y en 1987 Hitachi pone en marcha un controlador fuzzy para el control del tren-metro de Sendai, y la empresa Omron desarrolla los primeros controladores difusos comerciales.

Paralelamente al desarrollo de las aplicaciones de la lógica difusa, investigadores teóricos siguen, en la década de los ochenta, el camino iniciado por Mamdani. Así, Takagi y Sugeno desarrollan la primera aproximación para construir reglas fuzzy a partir de datos de entrenamiento, y aunque en un principio no tiene mucha repercusión, más tarde será el punto de partida para investigar la identificación de modelos fuzzy. Otro de los factores que contribuye a seguir con la investigación en este campo es el creciente interés en las redes neuronales y su similitud con los sistemas fuzzy; la tendencia es buscar vías de relación entre las dos técnicas y los resultados son los llamados neuro-fuzzy systems, sistemas fuzzy que usan métodos de aprendizaje basados en redes neuronales para identificar y optimizar sus parámetros. B. Kosko es conocido por su contribución a los sistemas neurofuzzy y con sus publicaciones introdujo en la lógica difusa a muchos lectores interesados en las redes neuronales.

En la década de los noventa, además de las redes neuronales y los sistemas fuzzy, hacen su aparición los algoritmos genéticos. Estas tres técnicas computacionales, que pueden

combinarse de múltiple maneras y se pueden considerar complementarias, son herramientas de trabajo muy potentes en el campo de los sistemas de control en la última década.

En realidad, la intención original del profesor Zadeh era crear un formalismo para manipular de forma más eficiente la imprecisión y la vaguedad del razonamiento humano expresado lingüísticamente, sin embargo causó cierta sorpresa que el éxito de la lógica borrosa llegase en el campo del control automático de procesos. Esto se debió básicamente al boom que la lógica borrosa causó en Japón, en 1987 y principios de los noventa. Desde entonces, han sido infinidad los productos lanzados al mercado que usan tecnología borrosa, muchos de ellos utilizando la etiqueta fuzzy como símbolo de calidad y prestaciones avanzadas. El control difuso ha sido aplicado con éxito en muy diversas ramas tecnológicas, por ejemplo la metalurgia, robots para la fabricación, controles de maniobras de aviones, sensores de imagen y sonido (cámaras fotográfica y de video Sony, Sanyo y Cannon), lavadoras (Panasonic y Bosch), aire acondicionado (Mitsubishi), en automoción, sistemas de frenado ABS (Mazda y Nissan), climatizadores, fotocopiadoras, lavaplatos, ascensores, humidificadores, mejoras en imágenes médicas, sistemas de reconocimiento de escritura, hornos microondas, neveras, televisores, sistemas automáticos de regulación de la cantidad de anestesia que se suministra a los pacientes en un quirófano (bajo supervisión médica), etc... Estas son algunas de las muchísimas aplicaciones de la lógica difusa, que ya están funcionando en el campo de los llamados sistemas expertos. Todos estos sistemas utilizan información, esencialmente, imprecisa con el fin de lograr sus cometidos. La lógica difusa está teniendo, por lo tanto, bastante éxito en su utilización sobre los sistemas de control, aplicación que ya podría considerarse como rutinaria. Sin embargo, los investigadores buscan nuevos campos de aplicación de esta técnica. Se investiga en áreas como el reconocimiento de patrones visuales o la identificación de segmentos de ADN, por mencionar dos ejemplos. Además, según algunos de los más prestigiosos investigadores en Internet, parece que el futuro para abordar la ingente cantidad de datos, recuperar la información, controlar y gestionar la red, pasa por el uso de las tecnologías borrosas. Esta intuición parece ser que coincide con la nueva orientación que, según el profesor Zadeh, debe seguir la lógica borrosa. Prueba de ello fue la celebración del primer encuentro sobre lógica borrosa e Internet en el año 2001 (FLINT 2001) en la universidad de Berkeley organizado por el propio Zadeh.

3.5.10.2 Conceptos básicos de Lógica Difusa

⇒ Conjuntos Difusos

Los conjuntos difusos pueden ser considerados como una generalización de los conjuntos clásicos: la teoría clásica de conjuntos sólo contempla la pertenencia o no pertenencia de un elemento a un conjunto, sin embargo la teoría de conjuntos difusos contempla la pertenencia parcial de un elemento a un conjunto, es decir, cada elemento presenta un grado de pertenencia a un conjunto difuso que puede tomar cualquier valor entre 0 y 1. Este grado de pertenencia se define mediante la función característica asociada al conjunto difuso: para cada valor que pueda tomar un elemento o variable de entrada x la función característica $\mu_A(x)$ proporciona el grado de pertenencia de este valor de x al conjunto difuso A .

⇒ Operaciones entre Conjuntos Difusos

Sean A y B dos conjuntos difusos en U con funciones de pertenencia A y B, respectivamente. Las operaciones de unión, intersección y complemento se definen por medio de sus funciones de pertenencia.

➤ Unión

La función de pertenencia $A \cup B$ de la unión A B se define punto a punto para todo $u \in U$ como, $A \cup B = \max \{ A(u), B(u) \}$.

➤ Intersección

la función de pertenencia $A \cap B$ de la intersección A B se define punto a punto para todo $u \in U$ como, $A \cap B = \min \{ A(u), B(u) \}$.

➤ Complemento

La función de pertenencia A del complemento de A se define punto a punto para todo $u \in U$ como, $A^c = 1 - A(u)$.

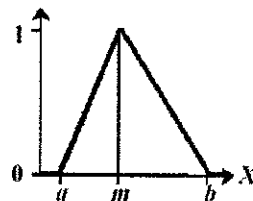
⇒ Función Característica

La función característica proporciona una medida del grado de similaridad de un elemento de U con el conjunto difuso. La forma de la función característica utilizada, depende del criterio aplicado en la resolución de cada problema y variará en función del punto de vista del usuario. La única condición que debe cumplir una función característica es que tome valores entre 0 y 1, con continuidad. Las funciones características más comúnmente utilizadas por su simplicidad matemática y su manejabilidad son: triangular, trapezoidal, gaussiana, sigmoideal, gamma, pi, campana etc... Conceptualmente existen dos aproximaciones para determinar la función característica asociada a un conjunto: la primera aproximación está basada en el conocimiento humano de los expertos, y la segunda aproximación es utilizar una colección de datos para diseñar la función.

➤ Función Triangular

Definido por sus límites inferior a y superior b, y el valor modal m, tal que $a < m < b$.

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ (x-a)/(m-a) & \text{si } x \in (a, m) \\ (b-x)/(b-m) & \text{si } x \in (m, b) \\ 0 & \text{si } x \geq b \end{cases}$$



También puede representarse así:

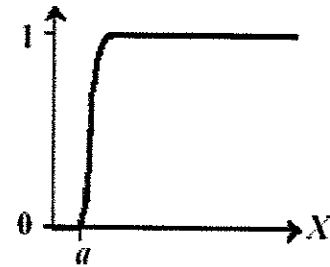
$$A(x; a, m, b) = \max\{\min\{(x-a)/(m-a), (b-x)/(b-m)\}, 0\}$$

➤ Función Γ (gamma)

Definida por su límite inferior a y el valor $k > 0$.

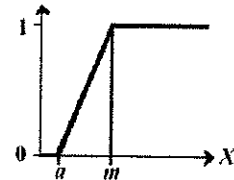
$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ 1 - e^{-k(x-a)^2} & \text{si } x > a \end{cases}$$

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ \frac{k(x-a)^2}{1 + k(x-a)^2} & \text{si } x > a \end{cases}$$



- ✓ Esta función se caracteriza por un rápido crecimiento a partir de a .
- ✓ Cuanto mayor es el valor de k , el crecimiento es más rápido aún.
- ✓ La primera definición tiene un crecimiento más rápido.
- ✓ Nunca toman el valor 1, aunque tienen una asíntota horizontal en 1.
- ✓ La función opuesta se llama **Función L**.
- ✓ Se aproximan linealmente por:

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ (x-a)/(m-a) & \text{si } x \in (a, m) \\ 1 & \text{si } x \geq m \end{cases}$$

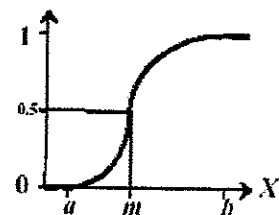


➤ Función S

Definida por sus límites inferior a y superior b , y el valor m , o punto de inflexión tal que $a < m < b$.

- ✓ Un valor típico es: $m = (a+b) / 2$.
- ✓ El crecimiento es más lento cuanto mayor sea la distancia $a-b$.

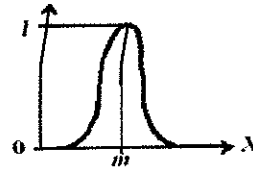
$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ 2\{(x-a)/(b-a)\}^2 & \text{si } x \in (a, m) \\ 1 - 2\{(x-b)/(b-a)\}^2 & \text{si } x \in (m, b) \\ 1 & \text{si } x \geq b \end{cases}$$



➤ Función Gausiana

Definida por su valor medio m y el valor $k > 0$.

$$A(x) = e^{-k(x-m)^2}$$

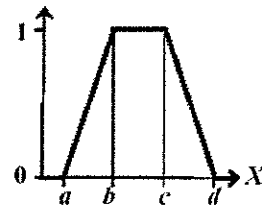


- ✓ Es la típica campana de Gauss.
- ✓ Cuanto mayor es k , más estrecha es la campana.

➤ Función Trapezoidal

Definida por sus límites inferior a y superior d , y los límites de su soporte, b y c , inferior y superior respectivamente.

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } (x \leq a) \text{ ó } (x \geq d) \\ (x-a)/(b-a) & \text{si } x \in (a, b) \\ 1 & \text{si } x \in (b, c) \\ (d-x)/(d-c) & \text{si } x \in (c, d) \end{cases}$$



⇒ Etiquetas lingüísticas y operadores

El centro de las técnicas de modelado difuso es la idea de variable lingüística. Desde su raíz, una variable lingüística es el nombre de un conjunto difuso. Si tenemos un conjunto difuso llamado "largo" éste es una simple variable lingüística y puede ser empleada como una regla-base en un sistema basado en la longitud de un proyecto en particular

Una variable lingüística encapsula las propiedades de aproximación o conceptos de imprecisión en un sistema y da una forma de computar adecuada; siempre representa un espacio difuso, toma variables difusas como sus valores.

La idea básica sugerida por Zadeh es que una etiqueta lingüística tal como "muy", "más o menos", "ligeramente", etc... Puede considerarse como un operador que actúa sobre un conjunto difuso asociado al significado de su operando. Por ejemplo en el caso de un término compuesto "muy alto", el operador "muy" actúa en el conjunto difuso asociado al significado del operando "alto". Zadeh también considera que las etiquetas lingüísticas pueden clasificarse en dos categorías que informalmente se definen como sigue:

- ✓ Tipo I: las que pueden representarse como operadores que actúan en un conjunto difuso: "muy", "más o menos", "mucho", "ligeramente", "altamente", "bastante", etc. y,
- ✓ Tipo II: las que requieren una descripción de cómo actúan en los componentes del conjunto difuso (operando): "esencialmente", "técnicamente", "estrictamente", "prácticamente", "virtualmente", etc...

En otras palabras, las etiquetas lingüísticas pueden ser caracterizadas como operadores más que construcciones complicadas sobre las operaciones primitivas de conjuntos difusos.

3.5.10.3 Reglas en un Sistema Difuso

Reglas: Son un modo de representar estrategias o técnicas apropiadas cuando el conocimiento proviene de la experiencia o de la intuición (careciendo de demostración matemática o física). Son Propositiones que usan IF-THEN (SI-ENTONCES): IF <antecedente o condición> THEN <consecuente o conclusión>, que convierten entradas a salidas, un conjunto difuso en otro.

El <antecedente> y el <consecuente> son Propositiones Difusas que pueden formarse usando conjunciones (AND) o disyunciones (OR): El significado, obviamente, depende de esto.

Para construir un sistema difuso, se debe comenzar con un conjunto de reglas difusas de un experto. Luego, se puede definir los grados de pertenencia a varios conjuntos difusos de entrada y de salida con un conjunto de curvas. La relación entre los conjuntos difusos de entrada y de salida se puede dibujar posteriormente. EL producto de estos conjuntos difusos forma un área difusa, esta representa el conjunto de todas las asociaciones que forma la regla entre la entrada y salida.

EL tamaño del área difusa refleja la incertidumbre de la regla. Entre mas preciso el conjunto difuso, menor el área difusa. Las reglas de un sistema difuso definen un conjunto de áreas difusas que se superponen y relacionan el rango de la entrada con el rango de la salida. En este sentido, el sistema difuso aproxima una función matemática o ecuación de causa efecto. Los sistemas difusos pueden aproximar cualquier función matemática continua. Se ha demostrado que suficientes áreas difusas pequeñas pueden cubrir la gráfica de cualquier relación entrada salida.

3.6 FUENTES DE ALIMENTACIÓN

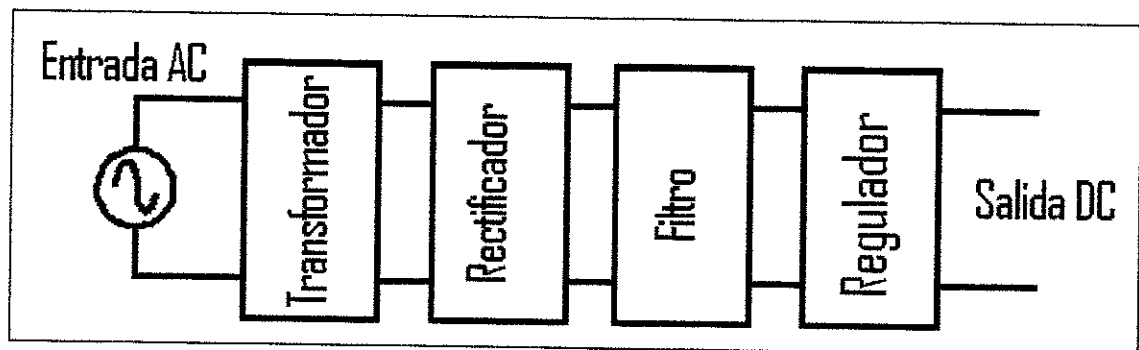
Una fuente de alimentación es un dispositivo que nos convierte la corriente eléctrica alterna a corriente continua. La mayoría de dispositivos electrónicos necesitan una fuente de energía estable, consistente y pura para funcionar correctamente. Existen muchas formas de nombrarlas y dependiendo del ámbito o sector se denominan de una forma u otra. También llamadas rectificadores, transformadores, convertidores, alimentadores, etc. No siempre correctamente pero igualmente utilizados.

La tarea de la fuente de alimentación o fuente de poder es convertir la energía de la red a valores de voltaje y corriente adecuados para el sistema, puede proveer salidas de 5V, -5V, 12V, -12V, 6V etc., estos voltajes varían según la aplicación. Las fuentes más utilizadas son las lineales y las conmutadas.

3.6.1 Fuentes de alimentación lineales

El término lineal significa “línea” o “recto”. Como puede verse en el diagrama de bloques de la figura 50. Una fuente de alimentación lineal básicamente opera en una línea recta a partir de la corriente alterna de entrada hacia la(s) salida(s) de corriente directa. Los componentes exactos y las especificaciones de la fuente varían mucho de una a otra, pero todas las fuentes lineales contienen las mismas etapas básicas: transformación, rectificación, filtrado y regulación.

Figura 50 Diagrama de Bloques de una Fuente de Alimentación Lineal



Tomada de: Localización y reparación de fallas de monitores para computadoras, Stephen J. Bigelow, Mc Graw Hill, 1997.

3.6.1.1 Transformador:

Dispositivo que transfiere energía eléctrica desde un circuito a otro⁵¹. Es un dispositivo que se encarga de "transformar" el voltaje de corriente alterna que tiene a su entrada en otro diferente que entrega a su salida⁵².

Un transformador utiliza los principios de la inducción magnética para alterar la entrada de corriente alterna y los niveles de corriente. La salida de los transformadores (secundario) no está directamente conectada a su entrada. La señal de salida se genera por el magnetismo inducido por las fluctuaciones de la corriente alterna en el primario del transformador (entrada).

⁵¹ Diccionario Enciclopédico de Electrónica, John Douglas Young.

⁵² http://www.unicrom.com/Tut_transformador.asp. 20-03-2006.

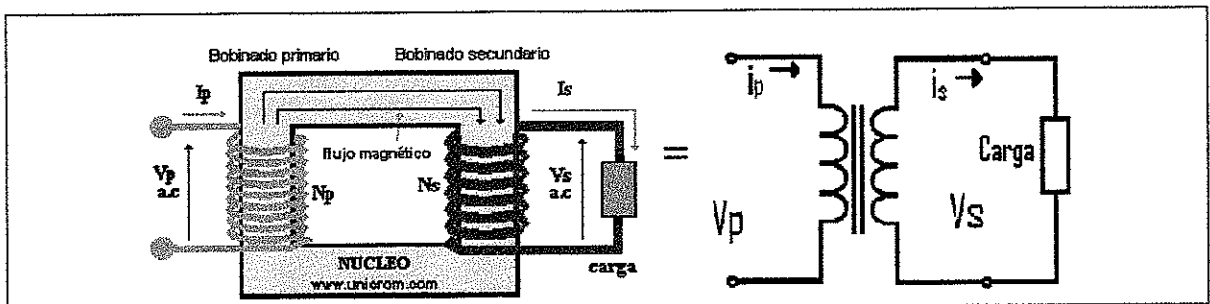
El transformador se compone de un núcleo de hierro sobre el cual se han arrollado varias espiras (vueltas) de alambre conductor como se observa en la figura 51. El primario y el secundario de un transformador tienen el mismo núcleo de hierro que asegura que el flujo a través de cada espira sea el mismo.

El conjunto de vueltas se llaman bobinas y se denominan: Bobina primaria o "primario" es aquella que recibe el voltaje de entrada y Bobina secundaria o Secundario" es aquella que entrega el voltaje transformado.

La Bobina primaria recibe un voltaje alterno que hará circular, por ella, una corriente alterna. Esta corriente inducirá un flujo magnético en el núcleo de hierro. Como el bobinado secundario está arrollado sobre el mismo núcleo de hierro, el flujo magnético circulará a través de las espiras de éste. Al haber un flujo magnético que atraviesa las espiras del "Secundario", se generará por el alambre del secundario una tensión. En este bobinado secundario habría una corriente si hay una carga conectada.

La razón de la transformación del voltaje entre el bobinado "Primario" y el "Secundario" depende del número de vueltas que tenga cada uno. Si el número de vueltas del secundario es el triple del primario. En el secundario habrá el triple de voltaje.

Figura 51 Transformador



Sea:

ϕ Flujo del campo magnético a través de cada espira.

N_p Numero de Espiras del Primario.

N_s Numero de Espiras del Secundario.

V_p Tensión del Primario.

V_s Tensión del Secundario.

Si la corriente en el primario I_p varía con el tiempo se produce en el secundario una f.e.m. inducida V_s .

$$V_s = -\frac{d\phi_s}{dt} = -\frac{d(N_s\phi)}{dt} = -N_s \frac{d\phi}{dt}$$

Si cambiamos los papeles de modo que el secundario pase a ser primario y viceversa

$$V_P = -\frac{d\phi_P}{dt} = -\frac{d(N_P\phi)}{dt} = -N_P \frac{d\phi}{dt}$$

Dividiendo ambas expresiones, obtenemos la relación de transformación

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

Por ejemplo si el secundario tiene $N_S=5N_P$ resulta que $V_S=5V_P$, y dicho transformador aumenta en el secundario la tensión del primario y se llama transformador elevador. Para que un transformador sea reductor deberá tener menos espiras en el secundario que en el primario.

Si no hay pérdidas de energía en el proceso de transformación por corrientes de Foucault y otras pérdidas en el núcleo laminado de hierro, se cumplirá que la energía por unidad de tiempo (potencia) en el primario será la misma que en el secundario

$$P = i_P * V_P = i_S * V_S$$

3.6.1.2 Acople de impedancias

El transformador también se utiliza para acoplar impedancias. Asumiendo que el acople entre el primario y el secundario es ideal, el Coeficiente de acoplamiento k es 1. Si el transformador no es ideal el valor de k es menor a 1. Entonces:

$$\frac{Z_S}{Z_P} = n^2 = \left[\frac{V_S}{V_P} \right]^2$$

Donde:

Z_P es la impedancia reflejada al primario cuando en el secundario la carga es Z_S .

Z_S es la impedancia reflejada al secundario cuando la impedancia conectada en el primario es Z_P .

n Es la relación de vueltas entre el bobinado primario y el secundario. $n = V_S/V_P$

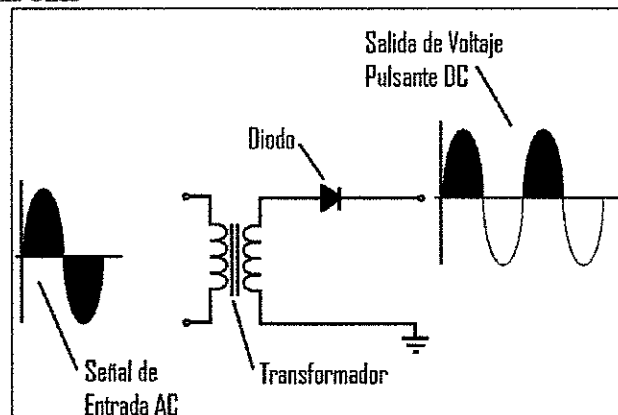
3.6.1.3 Rectificador

Es el elemento o circuito que permite convertir la corriente alterna en corriente continua. Esto se realiza utilizando diodos rectificadores, ya sea semiconductores de estado sólido, válvulas al vacío o válvulas gaseosas como las de vapor de mercurio⁵³.

El voltaje en el secundario (salida) de un transformador se encuentra todavía en forma de corriente alterna. El voltaje y la corriente alternos deben convertirse a corriente directa antes de alimentar circuitos electrónicos. El proceso de conversión de ac a dc se conoce como rectificación. Para lograr una rectificación, se permite que llegue sólo una polaridad de la señal de ac a la salida del rectificador. Aunque la salida del rectificador puede variar mucho, la polaridad de salida permanecerá ya sea positiva o negativa. Esta dc fluctuante se llama dc pulsante. Los diodos son ideales para utilizarse como rectificadores porque permiten el flujo de corriente en sólo una dirección. Es posible que encuentre cualquiera de tres circuitos rectificadores clásicos: Media onda, onda completa y puente.

Un rectificador de media onda se muestra en la figura 52. Éste es el tipo de rectificador más simple y directo ya que sólo se requiere de un diodo. Como el voltaje en el secundario del transformador supera el voltaje de conducción del diodo (aproximadamente 0.7 V), el diodo comienza a conducir corriente. Esta condición genera una salida la cual reproduce la mitad positiva de la señal de ac. Si el diodo se invirtiera, la polaridad de salida también se invertiría. La desventaja con los rectificadores de media onda es que éstos son muy ineficientes. Sólo la mitad de la onda de ac se aprovecha, y la otra mitad básicamente se ignora y desperdicia. El espacio resultante entre pulsos causa un voltaje promedio de salida menor y una mayor cantidad de ruido de AC contenido en la salida final de DC. Los rectificadores de media onda se utilizan rara vez en las fuentes de alimentación lineales modernas, aunque las fuentes conmutadas alguna vez las usan para una etapa final de rectificación.

Figura 52 Rectificador de Media Onda

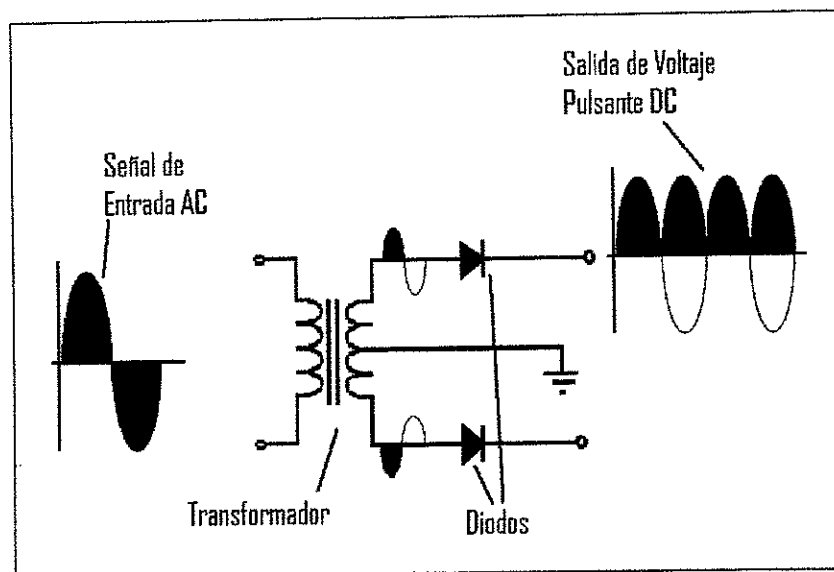


Tomada de: Localización y reparación de fallas de monitores para computadoras, Stephen J. Bigelow, Mc Graw Hill, 1997.

⁵³ <http://es.wikipedia.org/wiki/Rectificador>

Los rectificadores de onda completa, como el que se muestra en la figura 53, ofrecen grandes ventajas sobre el diseño de media onda. Mediante el uso de dos diodos en la configuración mostrada, ambas polaridades del voltaje en el secundario de ac pueden rectificarse a dc pulsante. Como un diodo se encuentra en cada terminal de la señal secundaria, las polaridades en cada diodo son opuestas. Cuando la señal de AC es negativa, el diodo de arriba conduce y el diodo de abajo está en corte. Cuando la señal de AC es positiva, el diodo de arriba está en corte y el diodo inferior conduce. Esto significa que siempre hay un diodo conduciendo, así que no hay espacios en la señal de DC pulsante. La única desventaja de los rectificadores de onda completa es que es necesario el uso de un transformador con derivación central. Los transformadores con derivación son frecuentemente más pesados y voluminosos que los que no cuentan con derivación.

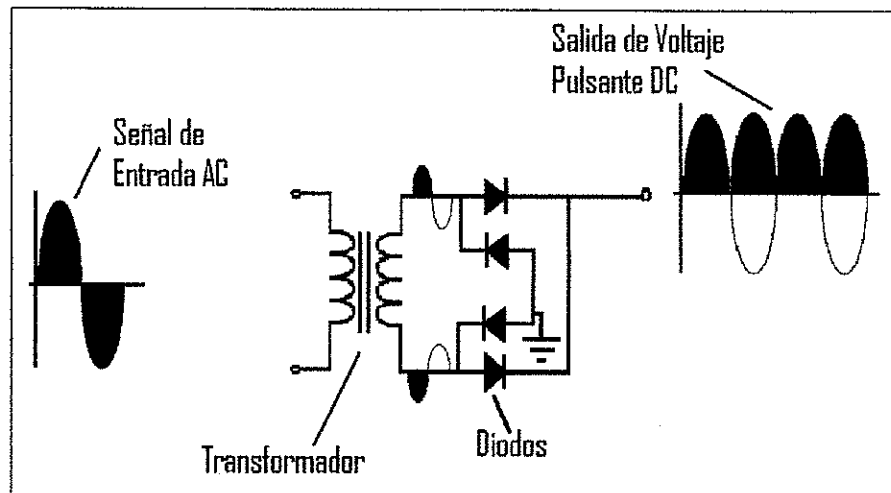
Figura 53 Rectificador de Onda Completa



Tomada de: Localización y reparación de fallas de monitores para computadoras, Stephen J. Bigelow, Mc Graw Hill, 1997.

Los puentes rectificadores usan cuatro diodos en una configuración de puente para proporcionar rectificación de onda completa sin la necesidad de un transformador con derivación. La figura 54 ilustra un puente rectificador típico. Dos diodos proporcionan los pulsos de corriente para su rectificación, mientras que los otros dos diodos proporcionan el aislamiento a tierra. Cuando el voltaje de ac es positivo, el diodo D1 conduce y D4 proporciona el aislamiento. Cuando el voltaje de ac es negativo, el diodo D2 conduce mientras que D3 provee el aislamiento. Los puentes rectificadores son el tipo más popular de circuitos rectificadores para fuentes de alimentación lineales.

Figura 54 Rectificador en Puente

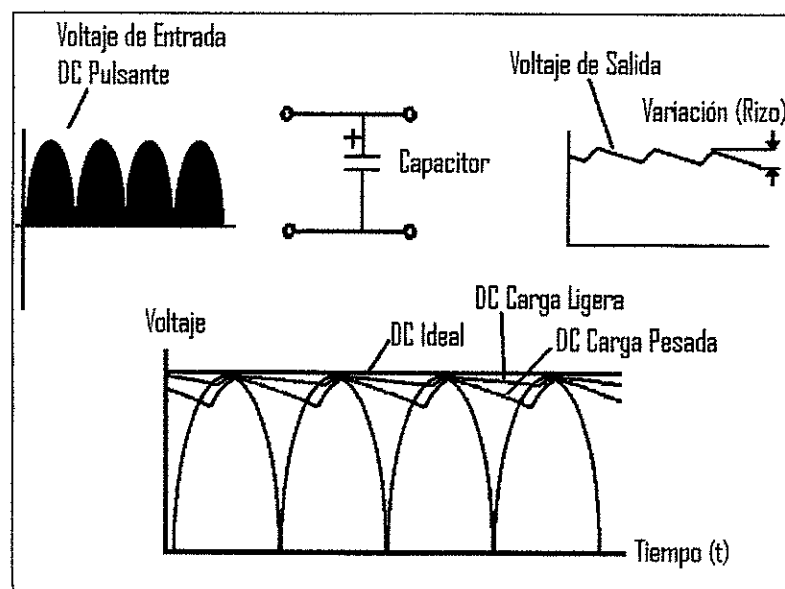


Fuente: Localización y reparación de fallas de monitores para computadoras, Stephen J. Bigelow, Mc Graw Hill, 1997.

3.6.1.4 Filtrado

Por definición estrictamente técnica, la dc pulsante es dc porque su polaridad permanece constante (aun cuando su magnitud cambia periódicamente). Desafortunadamente, la dc pulsante es inapropiada para cualquier tipo de fuente de energía electrónica. La magnitud del voltaje debe ser constante en el tiempo para poder operar los dispositivos electrónicos apropiadamente. La dc pulsante se convierte en dc allanada mediante el uso de un filtro como se ilustra en la figura 55.

Figura 55 Filtro Capacitivo



Tomada de: Localización y reparación de fallas de monitores para computadoras, Stephen J. Bigelow, Mc Graw Hill, 1997.

Los capacitores electrolíticos generalmente funcionan como los elementos filtrantes ya que éstos se comportan como dispositivos de almacenaje de voltaje. Cuando se aplica una dc pulsante a un filtro capacitivo, el capacitor se carga y el voltaje en el capacitor se incrementa. Finalmente, la carga del capacitor alcanza el valor pico de la dc pulsante. Cuando un pulso de dc disminuye hacia cero, el capacitor comienza a proporcionar corriente a la carga. Esta acción tiende a mantener alto el voltaje de salida en el tiempo que la dc se filtra.

Sin embargo, el filtrado no es un proceso perfecto. Conforme la carga demanda una corriente del filtro, el voltaje en el filtro disminuye. El voltaje del filtro continúa disminuyendo hasta que un nuevo pulso de DC del rectificador recarga el filtro para otro ciclo. Esta acción de carga y descarga repetitivas resulta en fluctuaciones regulares en la salida del filtro. Estas fluctuaciones se llaman rizados, que son un componente indeseable (pero inevitable) de ruido en la salida de una salida de dc allanada.

En el diagrama de la figura 55, también se observa una gráfica representativa del voltaje contra el tiempo para un circuito típico de filtro. La salida ideal de DC debería ser una línea constante indicando una salida de DC constante en todos los puntos en el tiempo. En realidad siempre existirá alguna cantidad de rizo en el filtro. La cantidad de rizo presente depende de la carga que sea alimentada. Para una carga ligera (un circuito que demanda una pequeña cantidad de corriente), la descarga es menor entre los pulsos, así que la magnitud del rizo es menor. Una carga grande (un circuito que demanda una corriente grande) requiere mayores cantidades de corriente, por lo que la descarga es más pronunciada entre los pulsos. Esto da como resultado magnitudes mayores de rizo. La relación de pulsos de DC se muestra para referencia.

3.6.1.5 Rizado y Factor de Rizado⁵⁴

Si bien el objetivo último de un rectificador es obtener una tensión continua, es inevitable que superpuesta a ésta aparezcan componentes armónicos. Se define el rizado como la suma de estos componentes:

$$v(t) = V_{med} + v_{rizado}(t).$$

Para cuantificar el rizado se introduce el factor de rizado, definido como el cociente entre el valor eficaz del rizado y el valor medio de la señal, expresado normalmente en forma porcentual:

$$FR = \frac{V_{Rizadorms}}{V_{med}}$$

⁵⁴ Rectificación, B05.04, Federico Miyara, 2002

Donde

$$V_{med} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt$$

Y

$$V_{Rizado rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (v(t) - V_{med})^2 dt} = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{med}^2}$$

En el caso de la rectificación de media onda se tiene:

$$V_{med} = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} V_p \sin \omega t dt = \frac{V_p}{\omega T} (\cos 0 - \cos \pi) = \frac{V_p}{\pi}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{T/2} V_p^2 \sin^2 \omega t dt} = \frac{V_p}{2}$$

Entonces:

$$FR = \sqrt{\frac{\pi^2}{4} - 1} = 1.21 = 121\%$$

Este factor de rizado es muy alto, ya que implica que hay más energía (no aprovechable) en los armónicos que en la componente de continua.

En el caso de un rectificador de onda completa los mismos cálculos arrojan los valores siguientes:

$$V_{med} = \frac{2}{\pi} V_p$$

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$$

$$FR = \sqrt{\frac{\pi^2}{8} - 1} = 0.483 = 48.3\%$$

En este caso los armónicos contienen un 23% de la energía correspondiente a la componente continua.

Todas las conclusiones correspondientes al rectificador de media onda con filtro son cualitativamente aplicables a este caso, cambiando sólo las fórmulas. Puede observarse por simple inspección que para una misma constante de tiempo el rizado disminuye y el valor medio aumenta.

$$t_1 \cong \frac{T}{4} \left(1 + \frac{T}{\pi^2 \tau} \right)$$

y para $\tau \gg T$ también puede aproximarse por

$$t_1 \cong \frac{T}{4}$$

en tanto que t_2 está dado por

$$t_2 \cong \frac{3T}{4} - \frac{T}{2\pi} \sqrt{\frac{T}{\tau}}$$

El valor medio está más cerca del valor de pico y vale, para $\tau \ll T$,

$$V_{med} \cong V_p \left(1 - \frac{T}{4\tau} \right)$$

y el valor eficaz del rizado es, similarmente, la mitad del correspondiente al rectificador de media onda:

$$V_{Rizado rms} \cong \frac{V_p T}{2\sqrt{12}\tau}$$

Por último, el factor de rizado porcentual se calcula como

$$FR\% \cong \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{T}{4\tau - T} 100\%$$

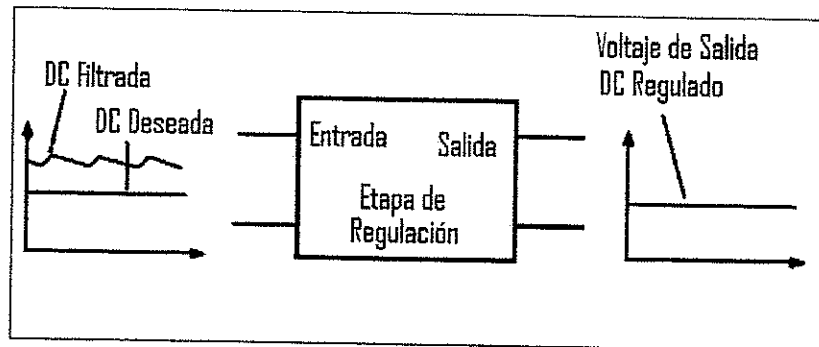
3.6.1.6 Reguladores

Un transformador, rectificador y un filtro son indispensables en cualquier fuente de alimentación. Estas partes combinadas convertirán exitosamente la ac a dc que sea capaz de manejar muchas cargas eléctricas y electrónicas. Sin embargo, dichas fuentes de alimentación no reguladas tienen dos principales desventajas: siempre está presente el rizo en la salida de la fuente, y el nivel de salida varía con la carga. Aun los circuitos integrados (IC por

integrated circuits) más tolerantes pueden funcionar erráticamente si son operados con una dc no regulada. Una dc ideal debería estar libre de rizados y ser constante cualquiera que sea la carga. Se necesita un regulador para mantener la dc de la salida de un filtro.

La regulación lineal es exactamente lo que implica su nombre la corriente fluye de la entrada del regulador a la salida como se muestra en la figura 56. Cuando se aplica un voltaje a la entrada del regulador, la circuitería interna en el regulador manipula el voltaje de entrada para proporcionar un voltaje constante y consistente. La salida permanecerá constante para amplio intervalo de condiciones de entrada sólo mientras el voltaje de entrada se encuentre por arriba del voltaje deseado de salida. Si el voltaje de entrada cae al voltaje de salida deseado o por debajo de éste, el regulador deja de regular. En este caso, la salida del regulador tiende a seguir la señal de entrada, incluyendo el rizo.

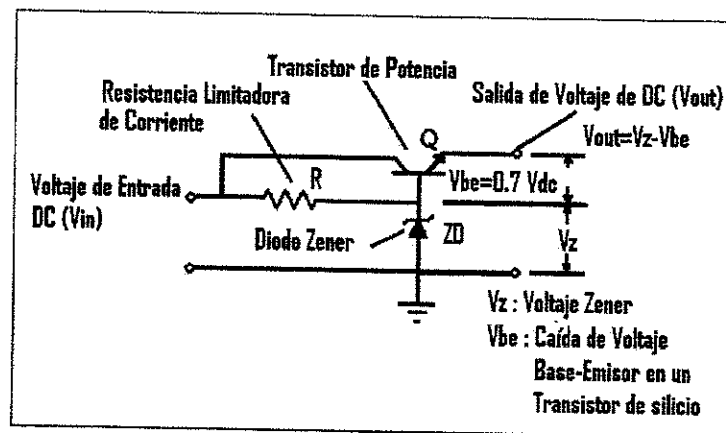
Figura 56 Acción de un Regulador



Tomada de: Localización y reparación de fallas de monitores para computadoras, Stephen J. Bigelow, Mc Graw Hill, 1997.

Un regulador lineal funciona al “descartar” la energía adicional proporcionada por un filtro; la parte restante es la salida deseada. La energía se desecha en forma de calor. Esto explica por qué muchos reguladores están unidos a grandes disipadores metálicos de calor. La regulación lineal es un método simple y confiable de operación.

Figura 57 Regulador Simple con Transistor en Serie

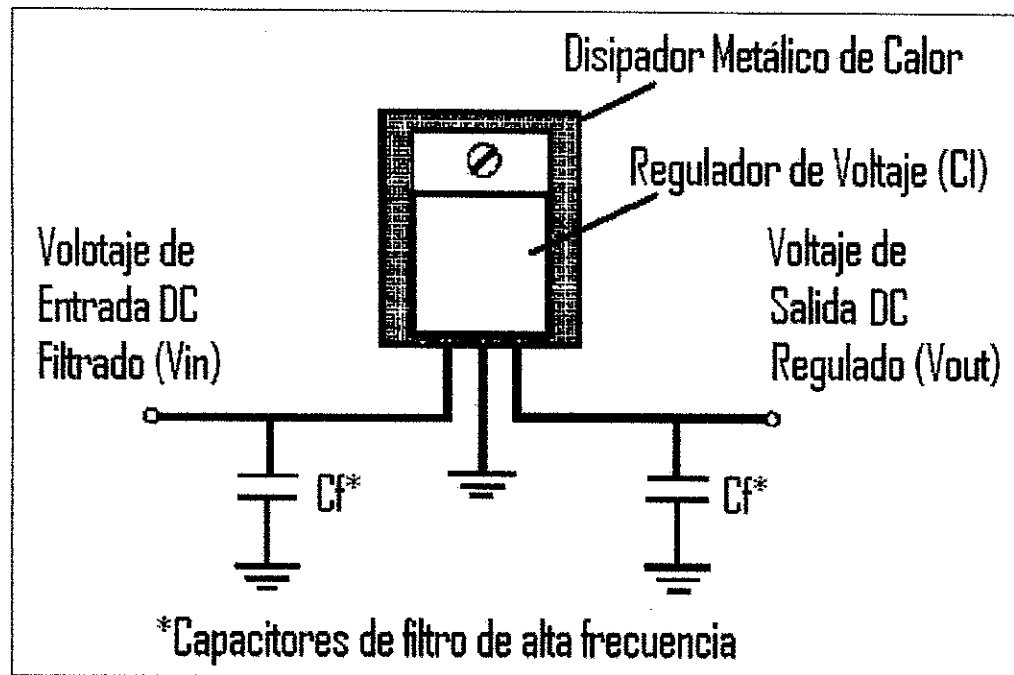


Tomada de: Localización y reparación de fallas de monitores para computadoras, Stephen J. Bigelow, Mc Graw Hill, 1997.

En la figura anterior se muestra un regulador simple con transistor en serie. Los diodos zener sirven como excelentes reguladores de voltaje porque limitan la cantidad de voltaje que se presenta entre sus terminales, como se ilustra en la figura 57. El voltaje de entrada proveniente de un filtro se aplica entre las terminales del diodo zener por medio de una resistencia limitadora de corriente. El zener fija el voltaje a su nivel zener. A su vez, el potencial zener enciende un transistor de potencia, que permite el flujo de corriente del colector hacia el emisor. El voltaje de salida igualará el voltaje de base (establecido por el diodo zener) menos la caída del voltaje del diodo en la unión base-emisor del transistor (normalmente cerca de $+0.7 \text{ V dc}$). Puede cambiarse el voltaje de salida del regular si se cambia el diodo zener.

Los circuitos reguladores también pueden fabricarse como circuitos integrados (CI) como se muestra en la figura 58. Se pueden incluir características de funcionamiento adicionales como limitador de corriente automático y circuito de apagado por sobretemperatura que aumentan la confiabilidad del regulador. El voltaje de entrada debe exceder al voltaje deseado de salida por varios volts, pero los reguladores de CI son simples de usar. Una consideración más para los reguladores de CI es el uso de capacitares de pequeño valor en la entrada y la salida del CI. Los capacitores pequeños (0.01 a 0.1 uF) filtran el ruido de alta frecuencia o señales que pudieran interferir con la operación del regulador.

Figura 58 Regulador de Voltaje de Circuito Integrado (CI).

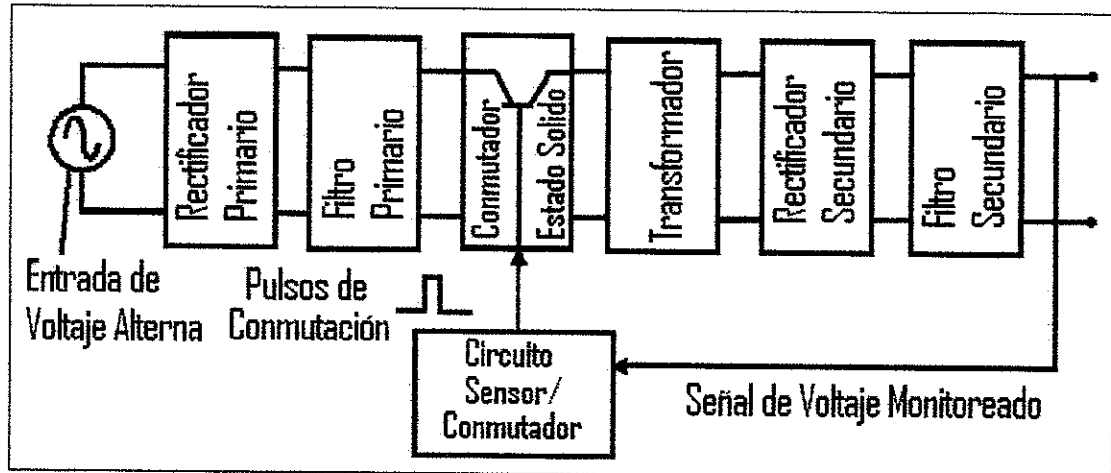


Tomada de: Localización y reparación de fallas de monitores para computadoras, Stephen J. Bigelow, Mc Graw Hill, 1997.

3.6.2 Fuentes conmutadas de alimentación

Una fuente conmutada de alimentación monitorea el voltaje de salida suministrado a la carga y después conecta o desconecta el circuito de alimentación de energía si fuera necesario para mantener niveles estables. Un diagrama de bloques de una fuente conmutada de alimentación típica se muestra en la figura 59. Pueden verse las similitudes y las diferencias entre una fuente conmutada y la fuente lineal mostrada anteriormente.

Figura 59 Diagrama de Bloques de una Fuente Conmutada de Alimentación.



Tomada de: Localización y reparación de fallas de monitores para computadoras, Stephen J. Bigelow, Mc Graw Hill, 1997.

El voltaje de la línea de corriente alterna que entra a la fuente se convierte inmediatamente a dc pulsante y después filtrada para proporcionar un voltaje "dc primario". Nótese que la corriente alterna no se transforma antes de la rectificación, así la dc primaria puede alcanzar niveles de aproximadamente 170 V. Recuerde que la corriente alterna es de 120 volts RMS. Ya que los capacitores se cargan al voltaje pico ($\text{pico} = \text{RMS} \times 1.414$), los niveles de dc pueden ser mayores que sus lecturas del voltímetro de AC.

En el arranque, el transistor de conmutación se enciende y apaga a alta frecuencia (normalmente 20 a 40 kHz) y durante un factor de utilización largo (duty cycle). El transistor de conmutación convierte esta dc primaria a dc recortada que puede ahora utilizarse como la señal primaria para un transformador reductor. El factor de utilización (ciclo de trabajo) de la dc recortada afectará el nivel de voltaje alterno generado en el secundario del transformador. Un factor de utilización o ciclo de trabajo largo significa un voltaje de salida mayor (para cargas grandes), y un ciclo de trabajo corto significa un voltaje de salida menor (para cargas ligeras). El ciclo de trabajo en sí, se refiere a la cantidad de tiempo que una señal se encuentra presente comparada con su ciclo total. El ciclo de trabajo se ajusta continuamente por medio del circuito de monitoreo-conmutación. Puede usarse un osciloscopio para visualizar las señales de dc de conmutación y recortada.

El voltaje alterno generado en el devanado del secundario del transformador (comúnmente un transformador reductor) no es una señal senoidal pura (normalmente ondas cuadradas),

pero alterna con una regularidad suficiente como para tratarla como corriente alterna por el resto de la fuente. El voltaje en el secundario se rectifica una vez más y refiltrado para formar un voltaje "dc en el secundario" que se suministra a la carga. El voltaje de salida se monitorea por un circuito sensor-conmutador que constantemente ajusta el ciclo de trabajo del voltaje de dc recortado. Conforme la carga se incrementa en el circuito del secundario (la carga demanda más corriente), el voltaje de salida tiende a caer. Esto es perfectamente normal y lo mismo sucede en cualquier fuente no regulada. Sin embargo, un circuito sensor detecta esta caída de voltaje e incrementa el ciclo de trabajo conmutado. En respuesta, el ciclo de trabajo de dc recortada se incrementa, lo que aumenta el voltaje generado por el devanado del secundario. El voltaje de salida se incrementa nuevamente hasta el valor deseado (el voltaje de salida está regulado).

El fenómeno inverso sucederá si la carga disminuye en el circuito del secundario (la carga demanda menor cantidad de corriente). Una carga menor tenderá a hacer que el voltaje de salida se eleve. Nuevamente, lo mismo sucede en una fuente no regulada. El circuito sensor-conmutador detecta este incremento en voltaje y reduce el ciclo de trabajo conmutado. Como resultado el ciclo de trabajo para la dc recortada disminuye y el voltaje en el secundario del transformador también disminuye. El voltaje de salida cae otra vez hasta el valor deseado (el voltaje de salida permanece regulado).

Considere las ventajas de un circuito de alimentación conmutado. Sólo hay demanda de corriente en el circuito del primario cuando el transistor de conmutación está en conducción, de modo tal que muy poca potencia se desperdicia en el circuito del primario. El circuito del secundario proporcionará sólo la potencia necesaria para mantener el voltaje de carga constante (regulada), pero se desperdicia muy poca potencia en el rectificador del secundario, el filtro o el circuito de conmutación.

Desafortunadamente hay varias desventajas que deben tenerse presentes con las fuentes de alimentación conmutadas. Primero las fuentes conmutadas tienden a actuar como transmisores de radio. Sus frecuencias de operación de entre 20 y 40 kHz pueden causar interferencias con la recepción de radio y televisión. Es por esto que encontrará la mayoría de las fuentes conmutadas de alguna forma cubiertas o blindadas en una carcasa de metal. En muchas aplicaciones este ruido no es suficiente para provocar interferencia en la carga.

4 ACERCAMIENTO AL ENTORNO HOSPITALARIO NEONATAL

4.1 LOS CENTROS HOSPITALARIOS DE BOYACÁ

A través de la historia se han dado grandes avances tecnológicos en cada una de las ciencias del saber, siendo la medicina una de las áreas en donde estos avances han sido determinantes, pues cada día por factores ambientales y alimenticios los seres humanos estamos expuestos a adquirir enfermedades y como consecuencia surge la necesidad de buscar las soluciones que terminen o disminuyan sus efectos.

Para el bienestar de los seres humanos, existen ramas como la electrónica que ha contribuido en el proceso y más exactamente en la creación de equipos de diagnósticos como las incubadoras utilizadas para regular el ambiente de neonatos con situación térmica comprometida, contribuyendo a disminuir la mortalidad de niños prematuros o débiles.

4.2 ÍNDICE DE NATALIDAD Y MORTALIDAD EN BOYACÁ

Una de las metas de salud para el caso colombiano, mas exactamente para el departamento de Boyacá, seria que los hospitales contaran con la tecnología necesaria, y por ende con los equipos suficientes para satisfacer la demanda de pacientes, pues en algunos casos por el reducido numero de equipos y el mal estado de los existentes, obliga a trasladarlos a otros centro hospitalarios que ofrezcan mayores garantías de vida, en ocasiones poniendo en peligro la vida del paciente.

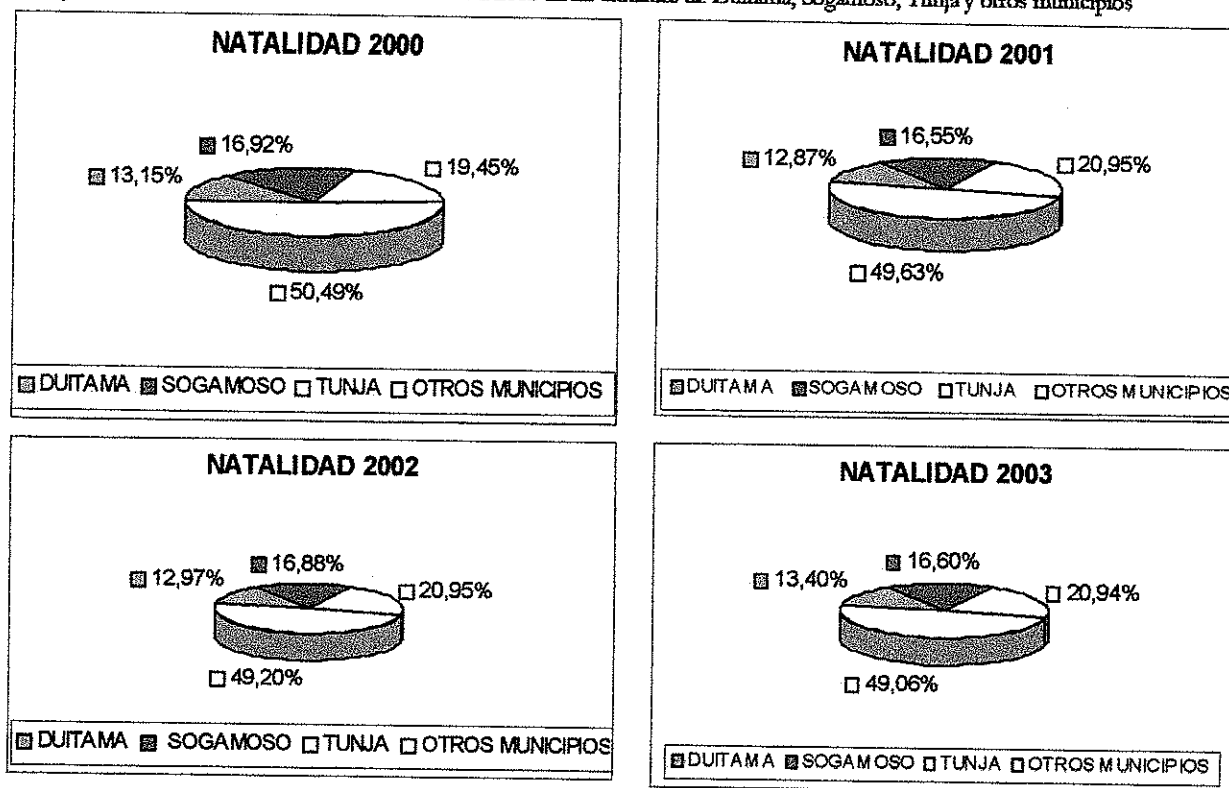
Para el caso que no ocupa, el Instituto Seccional de Salud de Boyacá, cuenta con estadísticas entre otras, el índice de natalidad, mortalidad de todos los municipios de Boyacá, indicándonos que las ciudades de Tunja, Duitama, Sogamoso, son las que encabezan estos listados; de igual forma en estos municipios encontramos organismos de salud con alto nivel de complejidad hospitalario.

Las estadísticas elegidas en esta investigación corresponden a los años 2000-2003, este periodo fue escogido para dar mayor precisión, ya que los índices presentan variaciones de un año a otro⁵⁵.

A nivel departamental en el periodo 2000-2003, los municipios de: Tunja, Sogamoso y Duitama presentan el mayor índice de natalidad, situación que se manifiesta por el número de habitantes, la ubicación geográfica, característica que permiten la accesibilidad al mismo de la población de diferentes centros asistenciales. A continuación podemos observar las graficas de Natalidad de los años 2000, 2001, 2002 y 2003; en la cuales podemos observar que en estas tres ciudades nacen más del 50% de los neonatos del departamento.

⁵⁵ Información suministrada por el Instituto Seccional de Salud de Boyacá, oficina de sistema integral de información.

Figura 60 Índices de Natalidad de los años 2000 a 2003 en las ciudades de Duitama, Sogamoso, Tunja y otros municipios



Es por tal motivo que se hace necesario en especial en los centros hospitalarios de estas poblaciones una capacidad física adecuada para satisfacer las necesidades locales de los neonatos, teniendo presente el nivel de complejidad del centro hospitalario para que los recursos no vayan a ser subutilizados.

4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES CENTROS HOSPITALARIOS DE BOYACÁ SEGÚN LOS SERVICIOS QUE PRESTAN A LA POBLACIÓN

El departamento de Boyacá cuenta con un gran número de centros hospitalarios, los cuales prestan servicios a la población según su acceso geográfico y funcional: vías, flujos y vínculos, distancias y tiempos de desplazamiento; oferta y producción de servicios y el tamaño poblacional.

En el departamento de Boyacá los centros hospitalarios de acuerdo a los servicios que prestan a la población se clasifican en tres categorías:

- Complejidad Baja.
 - ✓ Tipo A
 - ✓ Tipo B
 - ✓ Tipo C
- Complejidad Media.
- Complejidad Alta.

4.3.1 Complejidad baja

Tipo A: ofrece servicios de consulta médica, enfermería, vacunación y atención farmacéutica. En esta categoría se encuentran 45 puestos de salud ubicados en las cabeceras municipales; 80 cubren áreas muy reducidas de las zonas rurales los cuales solamente se prestan en forma espontánea los relacionados con Promoción de la Salud, algunas acciones de Protección específica y en algunos casos se realiza consulta médica y odontológica, estos centros están ubicados en las ciudades de: Sutatenza, Chivor, Almeida, Pachavita, Chinavita, La capilla, Caldas, San Miguel de Sema, Tunungua, Tinjaca, La victoria, Panqueba, Guacamayas, Chiscas, El espino, Covarachia, Boavita, Beteitiva, Busbanza, Corrales, Cuitiva, Tutaza, Chitaraque, Cucaita, Rondon, Zetaquirá, Paez, Campohermoso, San Eduardo, Sachica, Santa Sofía, Oicata, Motavita.

Tipo B: brinda asistencia relacionada con consulta Médica, Odontológica, enfermería, farmacia, vacunación, consulta prioritaria, toma de muestras de laboratorio en algunos casos laboratorio clínico y atención de partos; algunos de estos ofrecen además atención en hospitalización básica. Se encuentran 86 centros de salud municipal, 11 de estos ofrecen además atención en hospitalización básica. Estos centros están ubicados en las ciudades de: Santa María, Somondoco, Chiquinquirá barrio Sucre, Saboya, Buenavista, San Pablo de Borbur, Briceño, Raquira, Quipama, Coper, Sativa Sur, San Mateo, Chita, La Uvita, Susacón, Pajarito, Nobsa, Tibasosa, Firavitoba, Pesca, Mengua, Gameza, Tasco, Topaga, Salud Sogamoso, Iza, Tota, Jerico, Paz del Río, Tuta, Sotaquirá, Salud Tundaza, Belén, Floresta, Cerinza, Sabtana, San José de Pare, Togüi, Sora, Cienega, Viracacha, Boyacá, Ienesano, Berbeo, Ventaquemada, Nuevo Colón, Tibana, Sutamarchan, Gachantiva, Combita, Chivata, Siachoque, Chiquita, Soraya, Arcabuco.

Tipo C: cuenta con servicios de consulta externa en: Medicina General, Odontología, Enfermería; Vacunación, Toma Muestras de Citologías, Urgencias, Apoyo Diagnóstico y terapéutico tales como laboratorio Clínico y Radiología; Atención de Partos y Cirugía de Baja Complejidad a la población de su área de influencia. En esta categoría se encuentran 16 hospitales, 12 Centro de Salud brindan localmente estos servicios. Estos centros están ubicados en las ciudades de: San Luis de Gaceno, Guayata, Umbita, Macanal, Tenza, Maripi, Otanche, Pauna, Muzo, Cubara, Guican, Cocuy, Sativanorte, Labranzagrande, Pisba, Paya, Mongui, Aquitania, Socota, Socha, Paipa, Santa Rosa, Samaca, Ramiriquí, Turmeque, Villa de Leyva, Toca.

Gran cantidad de los centro hospitalarios públicos de nuestro departamento son de baja complejidad, provocando una sobre oferta de servicios en el nivel I de atención aspecto que conlleva a una subutilización de la capacidad física instalada, especialmente en los Centros de Atención ubicados en las zonas rurales donde solamente se desarrollan acciones de promoción de la Salud y algunos de Prevención.

4.3.2 Complejidad media

Los servicios de media complejidad son prestados por ocho Empresas Sociales del Estado del orden departamental ubicados en las ciudades de: Duitama, Sogamoso, Moniquirá, Garagoa, Saravena, Guateque, Puerto Boyacá, Soatá, Miraflores y el Hospital de Chiquinquirá, todos estos atienden los eventos de complejidad baja procedentes del municipio sede, al igual que las remisiones procedentes de las localidades circunvecinas. Los servicios de complejidad media están dados básicamente por anestesiología, cirugía general, pediatría medicina interna y ortopedia, al igual que los relacionados con ayudas diagnósticas y terapéuticas de mediana complejidad. En realidad solo las empresas Sociales del Estado de Duitama, Sogamoso y Moniquirá cuentan con las cuatro especialidades básicas en forma permanente; las dos primeras ofrecen además oftalmología, urología, medicina física y rehabilitación, cirugía maxilofacial, neurocirugía, otorrinolaringología.

Los hospitales de Puerto Boyacá, Soatá, Guateque, Garagoa, Miraflores y Moniquira, se comportan como únicos prestadores para las áreas de hospitalización, cirugía, partos y apoyo diagnóstico en lo que tiene que ver con radiología. Existe una oferta moderada de prestadores independientes en los servicios médicos, odontológicos y de laboratorio clínico. Las ciudades de Duitama y Sogamoso poseen un considerable número de prestadores privados que compiten con la Red Pública.

En general los servicios de mediana complejidad no se brindan de una manera adecuada, debido a la inoportunidad, falta de continuidad e integridad en la atención, por cuanto la mayoría de las IPS públicas clasificadas en este nivel, presentan deficiencias relacionadas especialmente por carencia de recurso humano calificado en las diferentes especialidades, al igual que en el área tecnológica, deficiencias en suministros, traumatismos laborales derivados fundamentalmente por los problemas económicos que atraviesan esas Instituciones, situación que se ve reflejada en el aumento del flujo de pacientes hacia el hospital de III Nivel y la dirección de Salud, quien debe derivarlas hacia otras IPS Privadas del departamento o hacia la ciudad de Bogotá generando sobre costos sociales y económicos tanto para el departamento como para la población en general.

4.3.3 Complejidad alta

Los servicios de alto grado de complejidad son prestados por la Empresa Social del Estado Hospital San Rafael de Tunja quien es la Institución de para el III Nivel de toda la población del departamento, este además atiende el primer nivel hospitalario de la ciudad de Tunja y otras ocho localidades adyacentes al mismo, también atiende el segundo nivel, de las atenciones que demanda la población de 28 municipios, aspecto que condiciona la prestación del tercer nivel por la disponibilidad de la capacidad física instalada que ocupan los eventos de baja y mediana complejidad. El hospital ofrece los servicios relacionados con: Cirugía general y especializadas, pediatría, medicina interna, anestesiología, ginecoobstetricia, neumología, gastroenterología, cardiología, neurocirugía, neurología, oftalmología, otorrinolaringología, urología, psiquiatría, ortopedia, traumatología,

psicología, cirugía maxilofacial, dermatología, medicina física, y rehabilitación, hospitalización general y especializada, laboratorio clínico y de citopatología, banco de sangre, radiología especializada (incluye tomografía), cuidado intensivo adulto (solo seis camas), terapia física, ocupacional, respiratoria y de lenguaje.

Los eventos relacionados con cirugía cardiovascular, diálisis y demás servicios de alta complejidad así como los de apoyo diagnóstico en lo referente a laboratorio clínico, resonancia magnética, cuidado intensivo neonatal y de adultos se prestan a través de contratos celebrados con IPS Privadas del departamento al igual que Públicas y Privadas de la ciudad de Bogotá.

Los servicios de Salud Mental se brindan a través del centro Integral de Rehabilitación cuya oferta se circunscriben a Medicina general, psiquiatría, psicología, terapia física y ocupacional.”⁵⁶

⁵⁶ Información suministrada por el Instituto Seccional de Salud de Boyacá, oficina de sistema integral de información.

5 SCADA HOSPITALARIO

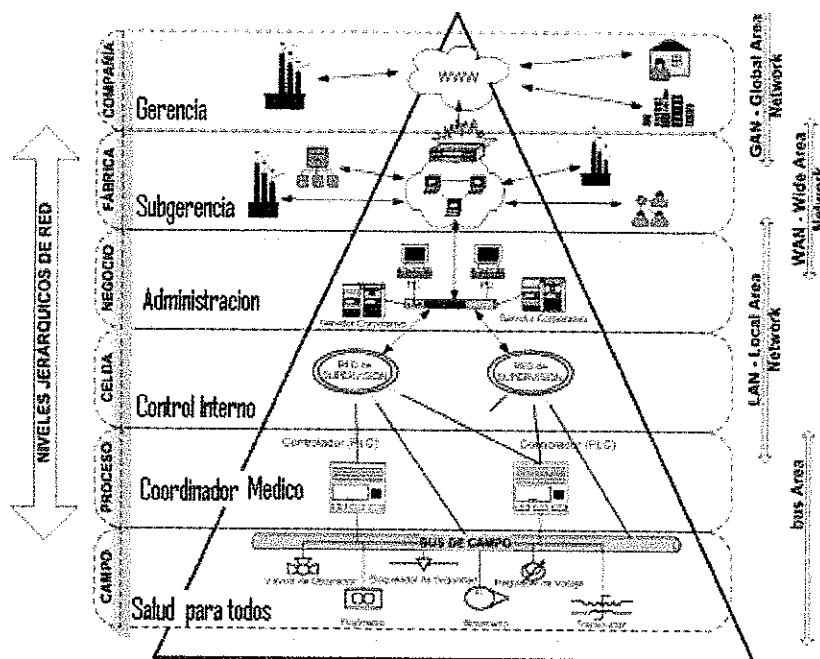
De acuerdo a la problemática planteada en los antecedentes y los referentes de la parte introductoria. Se han tomado los conceptos de la automatización industrial para generar un sistema electrónico aplicado a un bioproceso; sistema que cuenta con las herramientas necesarias y adecuadas para garantizar la seguridad del paciente, la fácil operatividad o manipulación del equipo, el monitoreo práctico de las variables y estado del equipo, con la señalización pertinente, que informe las anomalías presentes en el sistema. Superando las expectativas tanto de aplicabilidad, costos y problemáticas sociales adyacentes, mejorando la calidad en el servicio hospitalario.

5.1 SCADA DENTRO DE LAS IPS

5.1.1 Analogía SCADA industrial, SCADA en medicina

Al hacer referencia a SCADA, la característica mas sobresaliente es en cuanto al manejo de la información y por ende la toma de decisiones de control y supervisión, se subordinan en dependen de la jerarquía de la pirámide de automatización CIM la cual se establece a partir de la importancia del manejo tanto de la información como de las redes.

Figura 61 Niveles Jerarquía de redes vs. Organización IPS



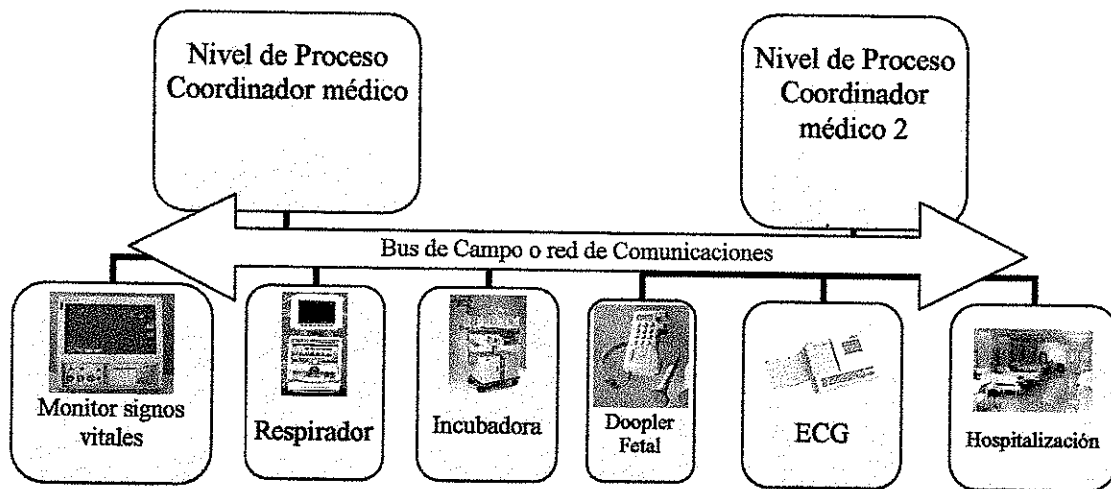
Basada en imagen tomada del curso comunicaciones industriales de Fabiana Ferrera, Universidad de Buenos aires.
www.fi.uba.ar/materias/6629/redes1c.pdf

Como se observa en la pirámide jerárquica de redes, (mostrada en la Figura 61), existe una relación nivel a nivel con el concepto de la pirámide de automatización CIM donde se presentan los niveles en orden ascendente como nivel Máquina (Campo), Estación (proceso), Celda, Área, Fábrica y Empresa.

Teniendo en cuenta este concepto, al aplicar esta pirámide dentro de las IPS estos niveles se conformarían como se describe a continuación:

5.1.1.1 Nivel de campo (Salud para todos)

Figura 62 Estructura del nivel de campo



Es el nivel que tiene mayor contacto directo e indirecto con los usuarios finales, en el se encuentran equipos e instrumentos de diagnóstico, tratamiento, terapia, cirugía, rehabilitación etc. Como por ejemplo equipos de ecografía (ultrasonidos), miografía, tomografía, electrografía, espirometría, pletismografía, biotelemedicina, Rx, resonancia magnética, etc.

Analógicamente en el modelo CIM, este nivel corresponde al que interactúa directamente con la manufactura o fabricación de piezas (manipulación), encontrando los elementos que tienen interacción con el proceso (sensores y actuadores), los cuales hoy ya cuentan con cierto grado de independencia con el sistema, gracias al denominado control distribuido, puesto que estos instrumentos son dotados con microcontroladores e interfaces de comunicación que les permiten lograr esta autonomía, de forma tal que pueden realizar acciones de censado, acondicionamiento, procesamiento y actuación, en el proceso, desde que las condiciones de operación se mantengan entre sus rangos de funcionamiento, de tal forma que las acciones realizadas solo se informan a través de las comunicaciones industriales (Sub capítulo 3.4). Un ejemplo práctico de este tipo de instrumentos son los

relés programables⁵⁷. Sin embargo, en la medicina, esta autonomía de operación es y debe seguir siendo limitada, ya que algunos bioprocesos son susceptibles en su operación a modificaciones que dependen de los conceptos pragmáticos de los profesionales de la salud, y estos pueden ser diversos entre sí, por lo cual la programación de estos equipos para que logren el grado de autonomía requerido sería muy dispendiosa.

Ya que actualmente, una gran cantidad de los equipos que se encuentran en el mercado, cuentan con opciones de comunicación, se puede aprovechar la conectividad que nos ofrecen los buses de campo y las redes de comunicación, para desarrollar la propuesta de forma generalizada. En la figura 62, se puede observar la conectividad del nivel, entre diferentes equipos, a través de un bus de campo o según la tecnología del instrumento, mediante otros tipos de redes, que pueden ser por ejemplo Ethernet o Lan. Se observa que los instrumentos están al mismo nivel y se comunican con un nivel superior de jerarquía en la automatización. Muchos de estos equipos a pesar de ser del nivel de campo, poseen un alto nivel de integración que permite, realizar tanto supervisión como control con autonomía si el proceso lo requiere, esto facilita la operatividad del personal de planta, ya que las consolas de interfase, son de fácil manipulación e interpretación.

5.1.1.2 Nivel de Proceso (Coordinador médico)

Este nivel de la pirámide esta compuesto por supervisores y controladores dedicados a los procesos de la misma naturaleza, es decir, que las áreas de aplicación del coordinador médico es común a los procesos, un ejemplo de esto puede ser: Si el coordinador de neonatología es el neonatólogo podrá desplazarse por la pirámide de jerarquía sin perder su nivel, por lo tanto podrá monitorear y controlar los procesos susceptibles a ello, mediante el uso de una identificación personal y su respectivo código de seguridad al igual que en todos los niveles CIM, esto se logra gracias a las comunicaciones y a las herramientas informáticas para la generación de sesiones para cada tipo de usuario, según su jerarquía.

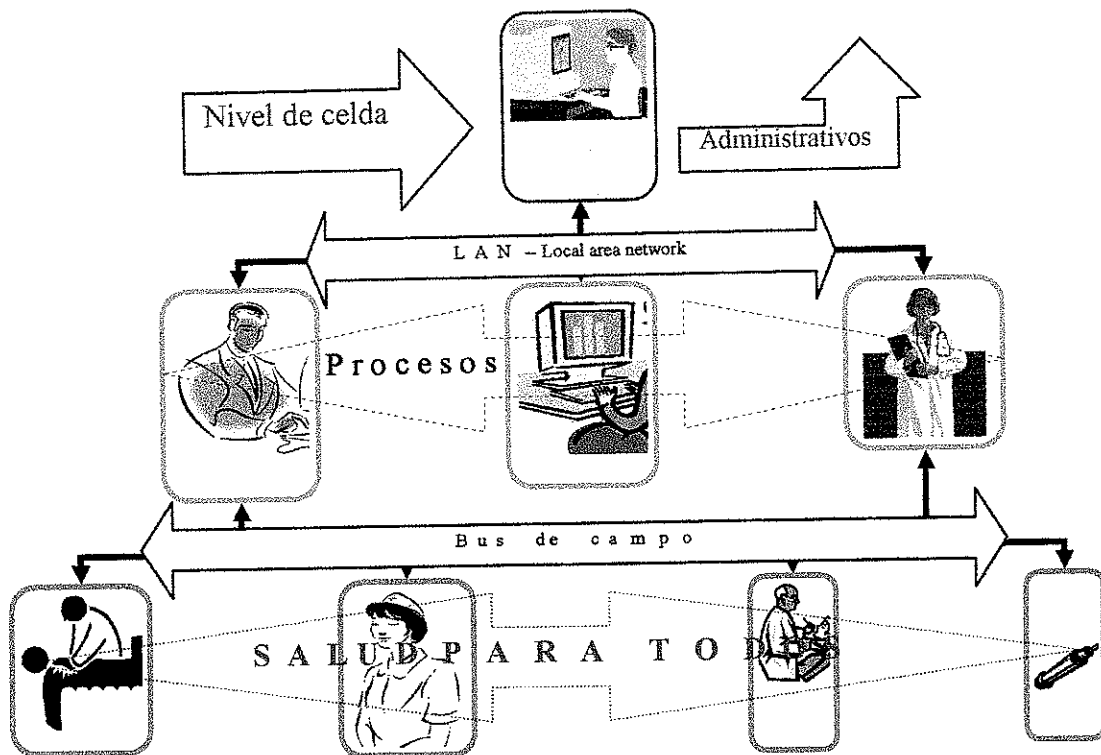
En la figura 63 se muestra como se va integrando nivel a nivel la estructura de la pirámide de automatización mostrando desde el nivel de procesos hasta el nivel de celda, control interno

⁵⁷ El Rele Programable es un dispositivo de conmutación, que cuenta con sistemas microcontrolados que permiten programar una o diferentes secuencias de operación, así como el tiempo de conmutación, y otros aspectos, como claves de ingreso, alarmas, envío de reportes etc. Cuenta con pantalla de visualización e interfaz de comunicación de diferentes protocolos, y es capaz de operar autónomamente se acuerdo al proceso que gobierne, algunos fabricantes son: Siemens, Schneider electric, Legrand, Omrón Electronics.

5.1.1.3 Nivel de Celda (Control Interno)

En este nivel se hace necesaria la coordinación de todos los elementos inferiores; y en este caso es el puente entre los procesos y la parte administrativa y de gestión, aquí convergen todos los procesos con el fin de inspeccionar y, verificar la operatividad de los procesos de acuerdo a los lineamientos administrativos y a las exigencias de cada proceso por ejemplo bioseguridad, atención al cliente, laboratorios, consultorios, hospitalización, caja, etc.

Figura 63 Estructura del nivel de Proceso



5.1.1.4 Nivel de negocio (Administración)

Al Igual que en el modelo CIM en este nivel se coordinan los elementos de control y sincronización de los elementos inferiores y es el encargado de manejar la información de los procesos así como las comunicaciones y la calidad de los servicios en salud.

5.1.1.5 Nivel de Fabrica (Subgerencia)

Tiene el manejo de los índices de productividad (costo-Beneficio), estadísticas, gestión de recursos, y de este depende el control operativo de la institución.

5.1.1.6 Nivel de Compañía (Gerencia)

Se cumple a cabalidad el enfoque de integración en el entorno CIM donde aquí, se desarrollan los procesos de productividad, planificación, cálculos, mercadeo, recursos humanos, I+D, etc.

5.2 APLICACIÓN PRÁCTICA EN NEONATOLOGÍA

Los sistemas de control electrónicos aplicados a incubadoras proporcionan un ambiente estable y definido para neonatos que así lo requieran. Para estos sistemas es necesario que el personal médico y paramédico realice una vigilancia constante del neonato, y de la variables como temperatura, humedad, nivel de oxígeno etc., que se deben controlar, con el fin de garantizar la seguridad del mismo. Por esta razón es fundamental desarrollar un sistema fiable que permita realizar este control, así como el monitoreo remoto en un computador. Logrando menor exposición del neonato con agentes contaminantes, lo cual es garantizado por los sistemas SCADA.

5.2.1 Características Generales del Sistema:

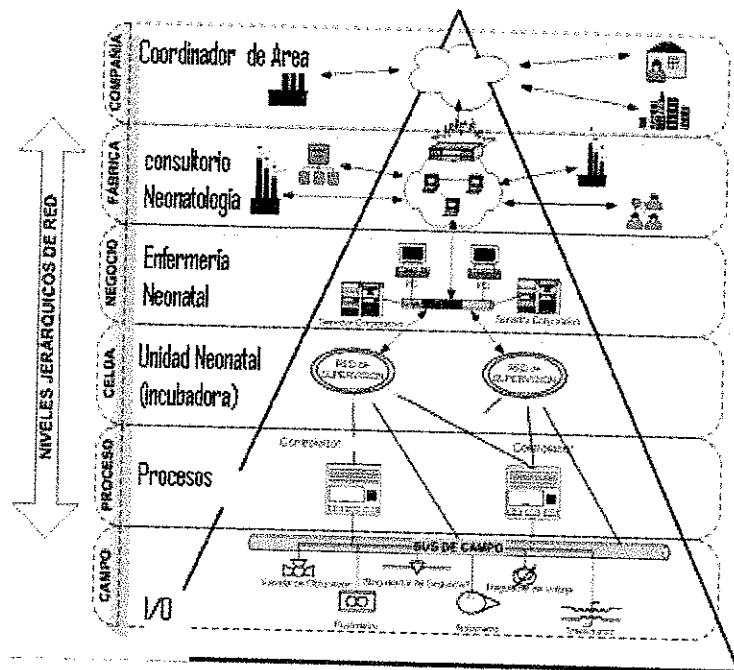
Como ya se menciono los componentes que integran estos sistemas son la Adquisición de Datos, el control, y la supervisión. Componentes que en la práctica fácilmente son implementados.

En la Figura 64 se muestra la modificación de los Niveles Jerarquía de redes vs. Organización IPS para aplicarse a un Bioproceso en neonatología (Incubación neonatal) mostrando de abajo a arriba la composición de la pirámide así: la entradas y salidas (I/O) nivel donde se encuentran los sensores y actuadores, Los procesos, que para nuestro caso, hace referencia a los módulos de control y/o monitoreo de las variables del bioproceso (temperatura ambiente, temperatura cutánea, humedad, peso, alarmas, etc), La unidad neonatal, donde se integran todos los procesos y se gestiona el flujo de información del nivel Central de monitoreo a los periféricos I/O, de igual forma. Siendo esta unidad un elemento autónomo de la central de monitoreo, la cual puede ser prescindible en caso de limitaciones exageradas en los recursos de las instituciones de salud, sin embargo se presenta ya que ella permite la centralización de la información y por ello facilita el monitoreo de varios equipos o unidades neonatales a la vez, además esta central es la encargada de almacenar la información general del proceso, como los históricos, e información del paciente, así como comunicarse con niveles superiores de la pirámide, mediante redes de informática. Los niveles de Consultorio de neonatología y de coordinador de área se dejan enunciados para ser implementados en futuros desarrollos y al interés del lector en proponer nuevas alternativas para completar el proceso de automatización de las IPS que así lo requieran, para mejorar sus procesos mediante la gestión de los recursos.

Con el fin de satisfacer las características que determinan los SCADA se ha desarrollado esta propuesta integralmente, desde el nivel de campo hasta el nivel de coordinación medica, aportando aplicaciones particulares que satisfacen este cometido como se menciona en los siguientes sub. Capítulos.

Una de las características más importantes de los sistemas SCADA es la modularidad y flexibilidad de los componentes, esta se muestra en el diagrama general de la configuración modular del sistema (figura 65), donde se identifica la independencia de cada nivel y su conectividad, la enfermería neonatal, conformada por un PC encargado de visualizar, registrar y modificar las referencias de la variables en el proceso, así como gestionar diferentes tipos de sesión de usuario para cada nivel, (sesión técnica, sesión médica y sesión administrativa).

Figura 64 SCADA aplicado en neonatología a procesos de incubación.



Basada en imagen tomada del curso comunicaciones industriales de Fabiana Ferrera, Universidad de Buenos aires.
www.fi.uba.ar/materias/6629/redes1c.pdf

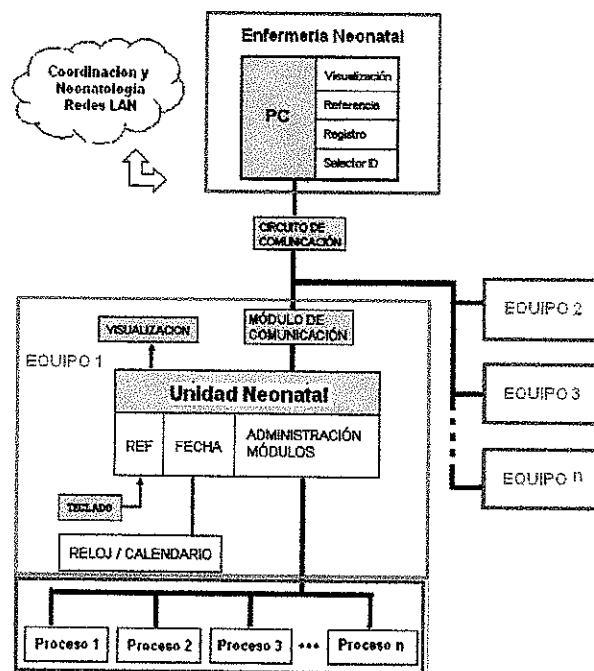
El circuito de comunicaciones encargado de enlazar el nivel de negocio (central de monitoreo) al nivel de celda (Unidad neonatal) corresponde a un transceiver (traductor) de RS-485 a RS232, ya que la comunicación entre estos niveles se realiza bajo el protocolo RS485, para disminuir el nivel de ruido y aumentar la distancia de transmisión, además, el puerto de entrada al PC es RS-232. Esta comunicación se logra ya que la unidad neonatal cuenta con un circuito dedicado a la gestión interna de la información, de tal forma que es posible compartir el medio (línea de transmisión) con hasta 255 equipos de incubación. Ya al encontrarse la información en un sistema de cómputo, el manejo de esta por medio de

paquetes mediante otros protocolos como TCP/IP o Ethernet, abre un mundo de posibilidades de comunicación con los niveles superiores de automatización.

Cada Equipo de incubación (unidad neonatal) cuenta con sistemas redundantes y microcontrolados, lo que garantiza su operatividad bajo condiciones de operación agrestes, en el se identifica un modulo de administración de los recursos del sistema (Modulo gestor) el cual según la información requerida u acción a realizar, activa las comunicaciones con los diferentes procesos, o con el modulo de comunicaciones, para un enlace con el centro de monitoreo; también se encarga de monitorear, visualizar, almacenar e interactuar entre el equipo y los operadores (personal medico especializado) quienes a través de un teclado, pueden variar los parámetros de funcionamiento reprogramando valores de referencia o fecha, pedir informes de estado del equipo, y hasta hacer mantenimiento y auto test.

El sistema cuenta con la posibilidad de realizar la conectividad en paralelo de hasta 255 procesos por cada equipo de incubación es decir se podría tener un sistema con 65025 variables para monitorear o controlar.

Figura 65 Diagrama General de la configuración modular del sistema



Por supuesto, los equipos no necesariamente tienen que ser todos unidades neonatales, pero para la aplicación de software que se ha desarrollado se tienen en cuenta solo variables correspondientes a este entorno, por lo tanto si se desea obtener la conectividad con otros equipos, debe desarrollarse el complemento o driver del equipo para que sea compatible con el sistema, en cuanto a entorno, pues al usar protocolos estándar, se puede realizar esta conectividad con cualquier equipo que tenga el mismo tipo de comunicación “que hable el mismo lenguaje”.

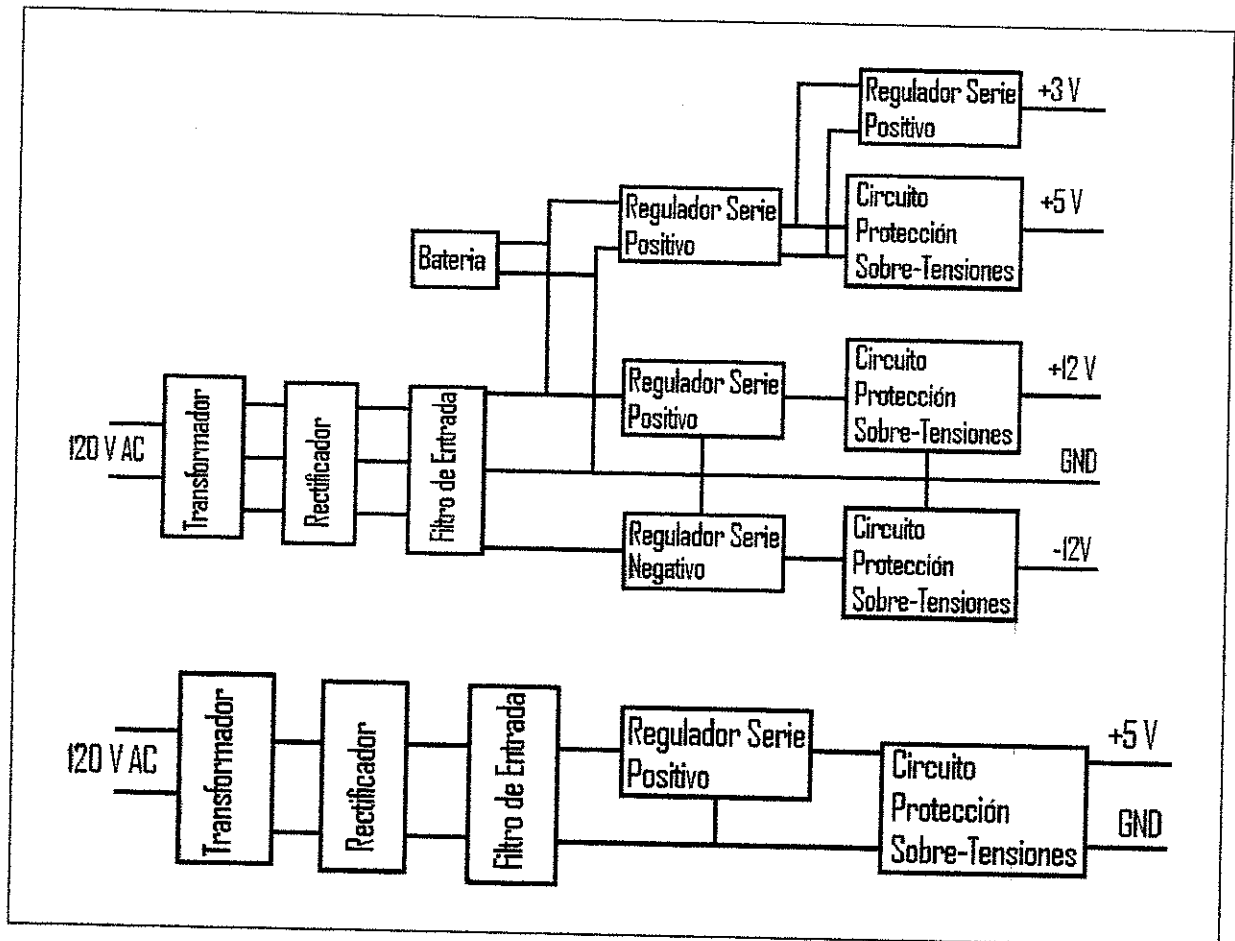
5.2.2 Nivel de Campo (I/O)

5.2.2.1 Fuentes de alimentación

Es bueno diseñar una fuente de poder que funcione perfectamente en el sistema a implementar. La fuente de poder, es como el núcleo del sistema además, es crítica ya que suministra corriente eléctrica a todos los componentes del sistema. Una fuente de poder que no funciona bien puede no solo causar que otros componentes del sistema fallen sino además dañarlos al hacerles llegar un voltaje inadecuado o errático.

En el sistema implementado se han utilizado diferentes dispositivos que necesitan para su correcto funcionamiento un voltaje estable, cada uno de ellos tiene características diferentes y por ende su voltaje de alimentación varía de uno a otro, siendo necesario suministrar los siguientes voltajes: +3V, +5V, +12V, -12V a 4 A y +5V aislados a 500 mA. En la figura se muestra el diagrama de bloques de la fuente de alimentación lineal del sistema.

Figura 66 Diagrama de Bloques de la fuente de Alimentación Lineal del Sistema.



Como puede verse en el diagrama de bloques de, cada una de las líneas de alimentación de C.C. necesarias para el sistema está constituida por cuatro módulos básicos: una sección de transformador que aísla la alimentación de la red suministradora de energía y entrega en su secundario una señal con una amplitud menor a la señal de entrada, valor acorde a la tensión (voltaje) final que se desea obtener; un rectificador que convierte la señal anterior en una onda de corriente continua pulsante; un filtro, formado por un condensador, que alisa o aplanla la onda anterior eliminando el componente de corriente alterna (c.a.) que entrega el rectificador; un regulador el cual recibe la señal proveniente del filtro y entrega una tensión constante sin importar las variaciones en la carga o del voltaje de alimentación; un circuito protección sobre-tensiones el cual controla la tensión y la desconecta si se hace superior a un nivel determinado.

⇒ Transformador

El transformador constituye la mayor parte del peso y el tamaño total de la fuente de alimentación. Es el encargado de reducir la tensión de alimentación, en nuestro caso y teniendo en cuenta los requerimientos del sistema, donde el voltaje más alto deseado es de 12 V y el más bajo es de -12V y la corriente solicitada por el sistema es de 3 A, se escogió un transformador con derivación central el cual tiene una conexión adicional en el bobinado secundario del transformador, que divide la tensión en este bobinado en dos voltajes iguales, esta conexión adicional se pone a tierra, cuya característica principal es entregar dos voltajes alternos de con magnitud 12 y corriente 5 A.

En la siguiente figura se muestra el transformador real y sus características, tanto teóricas, como prácticas.

Figura 67 Transformador de 60W.

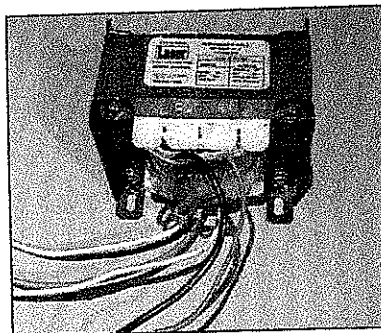
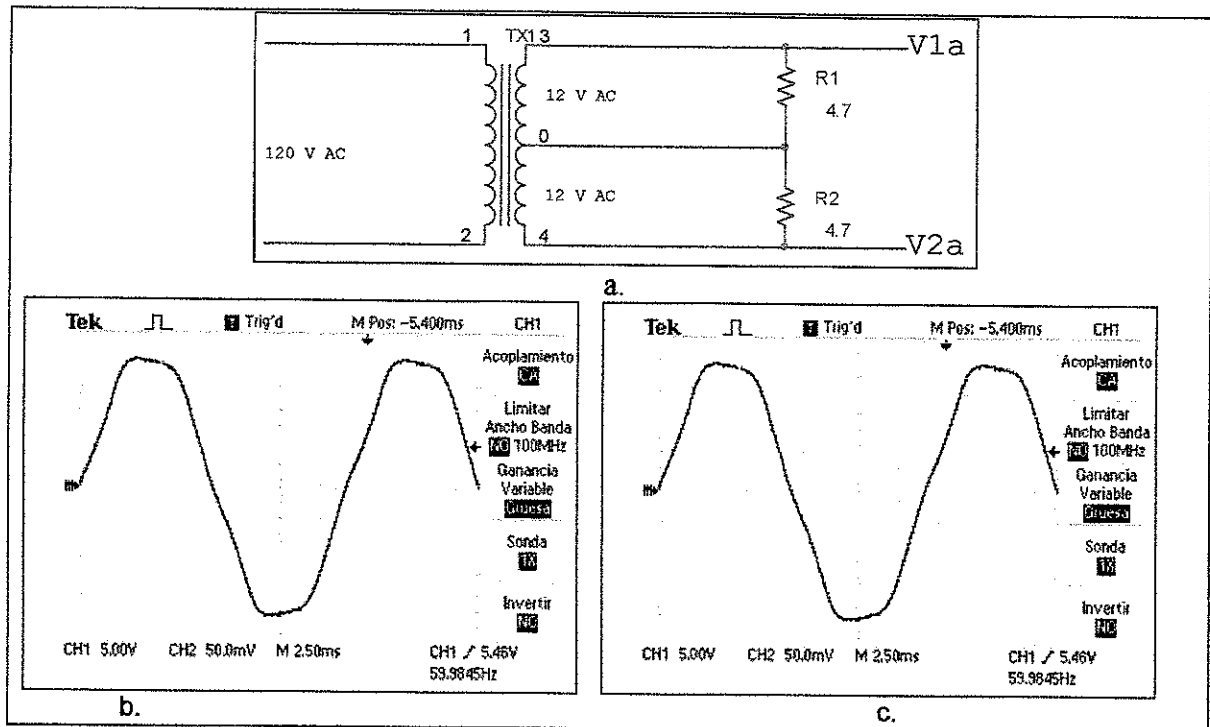


Tabla 12 Características del Transformador

Característica	Volar Teórico	Valor Práctico
V_{PRMS} (V primario)	120 V A.C.	120.6 V A.C.
V_{1aRMS} (V Secundario)	12 V A.C.	12.34 V A.C.
V_{2aRMS} (V Secundario)	12 V A.C.	12.27 V A.C.
I_{PRMS} (I Primario)	0.5 A.	0.49 A
I_{1aRMS} (I Secundario)	2.5 A	2.48 A
I_{2aRMS} (I Secundario)	2.5 A	2.46 A
V_{P1} (V Pico)	16.97 V A.C.	17.3 V. A.C.
V_{P2} (V Pico)	16.97 V A.C.	17.21 V. A.C.

En las siguientes figuras se pueden observar la respuesta real del transformador conectado a una carga resistiva, la señal de entrada, que va al primario del transformador, es una onda senoidal cuya amplitud es de 120.6 Voltios RMS A.C y su frecuencia 59.96Hz, esta señal es tomada de la red alimentadora de energía; en el secundario del transformador tenemos dos señales con características similares, cada una, la primera es una onda senoidal cuya amplitud es 12.34 Voltios RMS A.C y su frecuencia 59.96Hz, la segunda su amplitud es 12.27 Voltios RMS A.C y su frecuencia 59.98Hz.

Figura 68 Forma de Onda de los Voltajes de Salida en el Transformador a. Circuito Transformador con Carga Resistiva. B. Voltaje en el secundario (V1a) c. Voltaje del secundario (V2a)



Porcentaje de error de las medidas:

$$\% \text{ error} = \frac{(\text{Valor Verdadero} - \text{Valor Medido})}{\text{Valor Verdadero}} * 100\%$$

$$\% \text{ error}(V_{PRMS}) = \frac{(120 \text{ V} - 120.6 \text{ V})}{120 \text{ V}} * 100\% = 0.5\%$$

$$\% \text{ error}(V_{1aRMS}) = \frac{(12 \text{ V} - 12.34 \text{ V})}{12 \text{ V}} * 100\% = 2.83\%$$

$$\% \text{ error}(V_{2aRMS}) = \frac{(12 \text{ V} - 12.27 \text{ V})}{12 \text{ V}} * 100\% = 2.25\%$$

$$\% \text{ error}(V_{p1}) = \frac{(16.97 \text{ V} - 17.3 \text{ V})}{16.97 \text{ V}} * 100\% = 1.94\%$$

$$\% \text{ error}(V_{p2}) = \frac{(16.97 \text{ V} - 17.21 \text{ V})}{16.97 \text{ V}} * 100\% = 1.41\%$$

$$\% \text{ error}(I_{PRMS}) = \frac{(0.5 \text{ V} - 0.49)}{0.5 \text{ V}} * 100\% = 2\%$$

$$\% \text{ error}(I_{1aRMS}) = \frac{(2.5 \text{ V} - 2.48)}{2.5 \text{ V}} * 100\% = 0.8\%$$

$$\% \text{ error}(I_{2aRMS}) = \frac{(2.5 \text{ V} - 2.46)}{2.5 \text{ V}} * 100\% = 1.6\%$$

⇒ Rectificador

El nivel de dc que se obtiene a partir de una entrada senoidal puede mejorar al 100% si se utiliza la rectificación de onda completa. La rectificación se lleva a cabo por medio de diodos. Como es sabido, estos dispositivos idealmente permiten el paso de la corriente en un sentido y lo bloquean en el otro. Se ha utilizado un circuito rectificador de onda completa, es el encargado de obtener todo el voltaje del secundario del transformador (en el caso un transformador con derivación central).

En la siguiente figura se muestra el rectificador real y sus características.

Figura 69 Puente rectificador

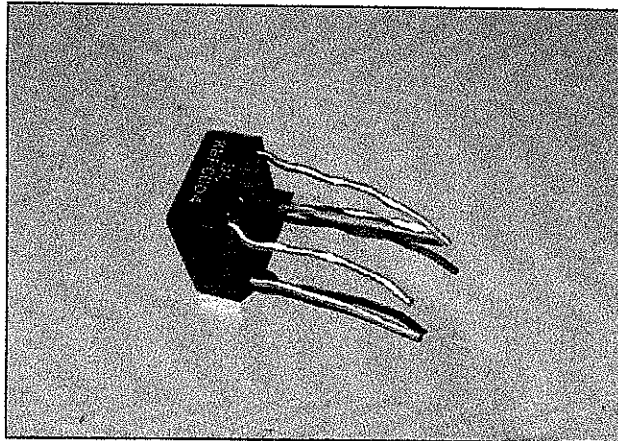
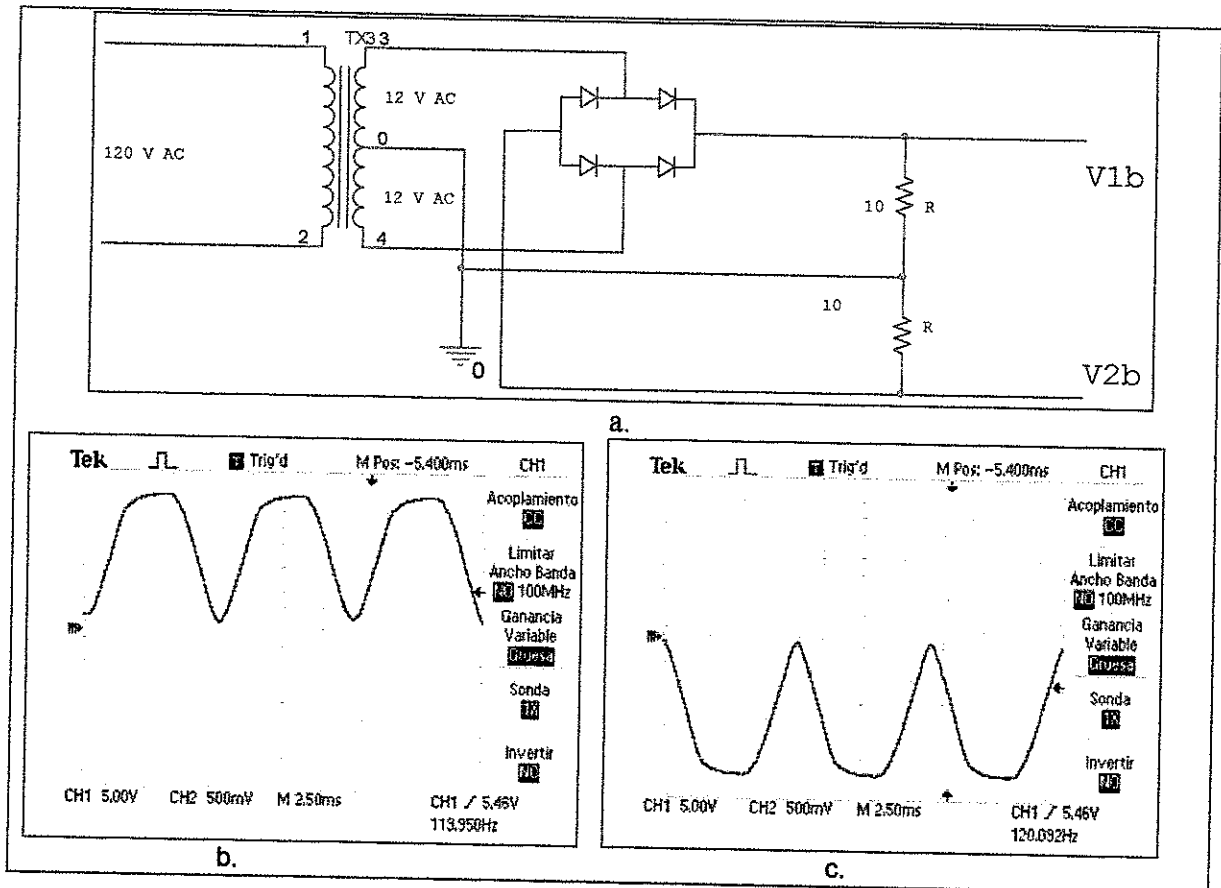


Tabla 13 Características del Puente Rectificador

Característica	Valor Teórico	Valor Práctico
$V_{INTa(+)}$	12 V A.C.	12.34 V A.C.
$V_{INTb(-)}$	12 V A.C.	12.27 V A.C.
$V_{1bA.C.(+)RMS}$	5.23 V A.C.	5.21 V A.C.
$V_{2bC(-)RMS}$	5.26 V A.C.	5.24 V A.C.
$V_{1bDC(+)}$	10.94	10.86 V D.C.
$V_{2bDC(-)}$	-10.94	-10.84 V D.C.
I_{Dmax}	8 A	5 A

En las siguientes figuras se pueden observar la respuesta real del puente rectificador conectado a una carga resistiva, la señal de entrada, es una onda senoidal cuya amplitud es de 12 Voltios RMS A.C y su frecuencia 60Hz, esta señal es tomada del secundario del transformador, en la salida del puente tenemos dos señales con características similares, cada una es una onda senoidal cuya amplitud es de 12 Voltios RMS A.C y su frecuencia es 120 Hz.

Figura 70 Forma de Onda de los Voltajes de Salida en el Rectificador. a. Circuito Puentes Rectificador con Carga Resistiva, b. Voltaje Rectificado V1, c. Voltaje Rectificado V2



En condiciones ideales el factor de rizo de una señal rectificada de onda completa es 48%. Donde el rizo de una señal esta dado por:

$$\%R = \frac{\text{Voltaje.del.rizo}(rms)}{\text{voltaje.dc}} * 100\%,$$

Teniéndole cuenta esta ecuación tenemos que el %R de la señal rectificada real es:

$$\%R = \frac{5.21}{10.86} * 100\% = 47.97\%.$$

Porcentaje de error de las medidas:

$$\% \text{ error}(V_{1bAC(+)\text{RMS}}) = \frac{(5.23 - 5.21\%)}{5.23} * 100\% = 0.38\%$$

$$\% \text{ error}(V_{2bAC(-)\text{RMS}}) = \frac{(5.26 - 5.24\%)}{5.26} * 100\% = 0.38\%$$

$$\% \text{ error}(V_{1bDC(-)\text{RMS}}) = \frac{(10.94 - 10.86\%)}{10.94} * 100\% = 0.73\%$$

$$\% \text{ error}(V_{2bDC(-)\text{RMS}}) = \frac{(10.94 - 10.84\%)}{10.94} * 100\% = 0.91\%$$

$$\% \text{ error}(\%R) = \frac{(48\% - 47.97\%)}{48\%} * 100\% = 0.6\%$$

⇒ Filtro

El %R de la señal rectificada puede disminuir notoriamente si se utiliza un filtro capacitivo en la salida rectificada para obtener un voltaje de dc a través del condensador.

En la siguiente figura se muestra el filtro capacitivo real y sus características.

Figura 71 Filtro Capacitivo

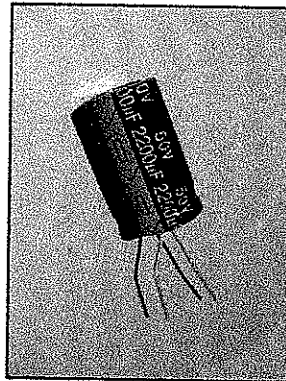
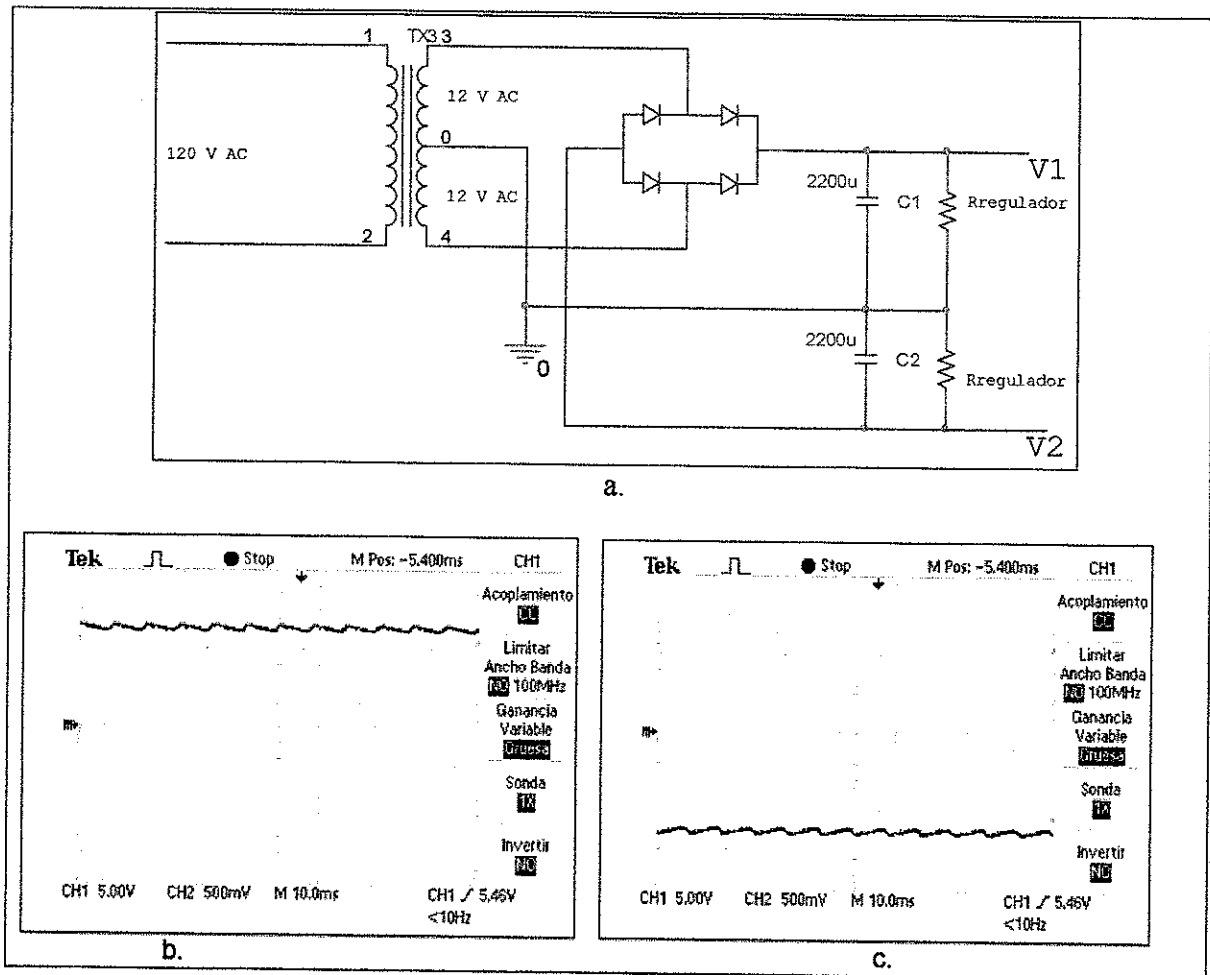


Tabla 14 Características del Filtro Capacitivo

Característica	Valor Práctico
C	2200 uf
V _{AC+}	830 mV A.C.
V _{AC-}	820 mV A.C.
V _{DC(+)}	15.63 V D.C.
V _{DC(-)}	-15.54 V D.C.

En las siguientes figuras se muestra el filtro capacitivo conectado a una carga R_L y la forma de onda de salida que se obtuvo en la práctica, se puede observar que el capacitor se carga hasta el voltaje pico de la señal AC, cuando la señal disminuye hacia cero, el condensador comienza a proporcionar corriente a la carga, generando una carga y descarga repetitivamente (rizo), se observa que el nivel de rizo disminuye notoriamente respecto a la salida del puente rectificador y el nivel dc aumenta.

Figura 72 Forma de Onda de los Voltajes de Salida en el Filtro Capacitivo a. Circuito Filtro Capacitivo con Carga Resistiva, b. Voltaje Filtrado V1, c. Voltaje Filtrado V2



El %R de la señal rectificada V1 es:

$$\%R = \frac{830mV}{13.63} * 100\% = 6.08\%.$$

El %R de la señal rectificada V2 es:

$$\%R = \frac{820mV}{13.54} * 100\% = 6.05\%.$$

⇒ Regulador

En la fuente de voltaje no regulada, el voltaje de salida cambia al variar la carga, el voltaje de alimentación y la temperatura, proporcionando un voltaje inestable para alimentar circuitos integrados, para corregir estos inconvenientes, es necesario regular nuestra tensión, para ello utilizamos un regulador de voltaje integrado lineal para cada etapa.

Los bloques de transformación, rectificación y filtrado son comunes para las líneas de alimentación del sistema, la etapa de regulación de acuerdo a los requerimientos de cada tensión de salida, tiene características que difieren.

Los reguladores de la serie 78xx de tres terminales, proporcionan regulación de voltaje positivo, para la tensión de +5V se utilizó el LM7805, para el voltaje de +12V se utilizó un LM7812, la serie 79xx de tres terminales proporciona regulación de voltaje negativos, para la tensión de -12V se utilizó el LM7912, estos reguladores tienen limitación de corriente interna, protección térmica y área segura compensada, puede proporcionar hasta 1 A de salida; para la línea de 3V se utilizó el regulador AD780 de analog device, tal circuito integrado se puede configurar con un voltaje de salida de 2.5V ó 3 V según sean las necesidades, en la siguiente figura se muestran los circuitos integrados y sus respectivas características.

Figura 73 Reguladores

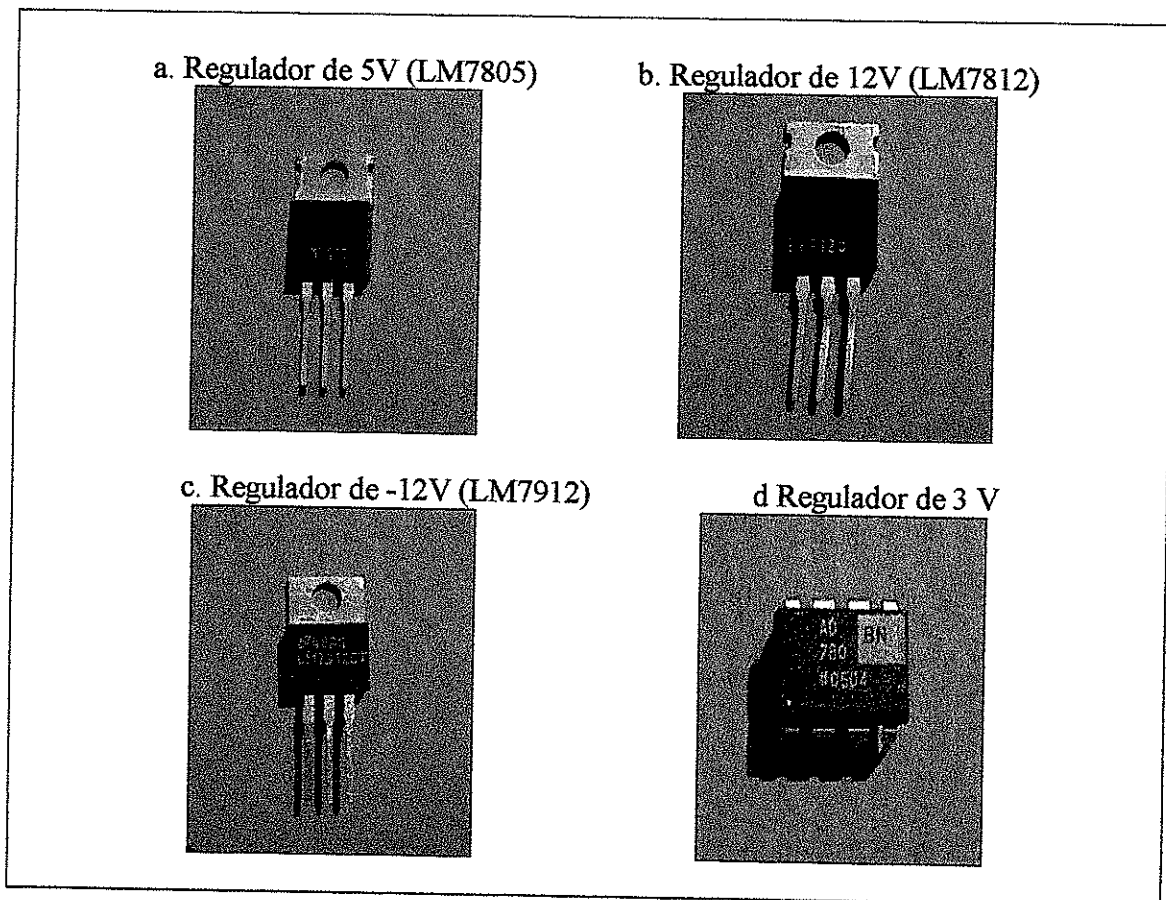


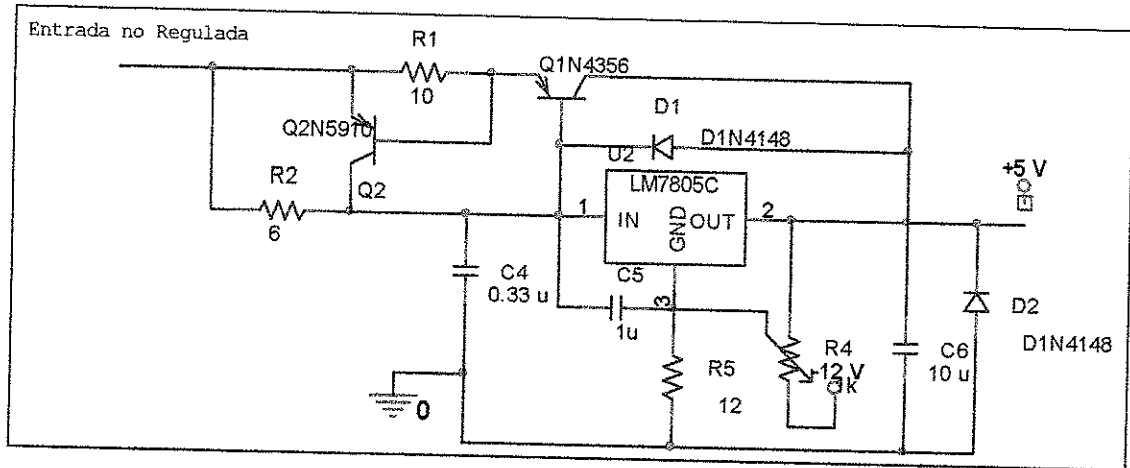
Tabla 15 Características de los Reguladores

Regulador	V_{INMIN}	V_{out}	Pines		
			1	2	3
LM7805	7.3 V	5 V	IN	GND	OUT
LM7812	14.6 V	12 V	IN	GND	OUT
LM7912	-14.6 V	-12 V	GND	IN	OUT
AD780	5V	3V			

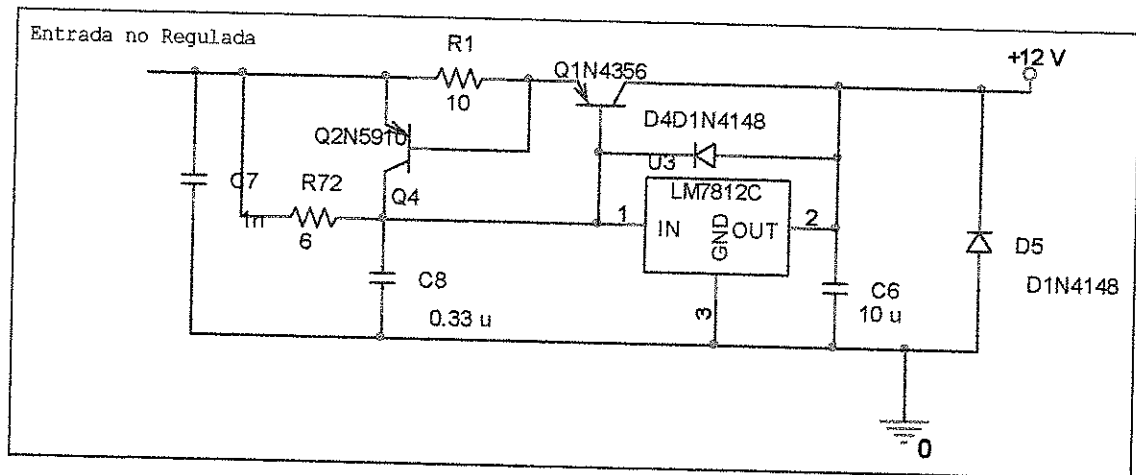
El sistema requiere una corriente mayor que la suministrada por los reguladores, es necesario adicionar un circuito para ampliar la corriente, de igual forma se configuró para que tenga un ajuste fino, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 74 Circuito de Regulación con ampliación de corriente y protección térmica.

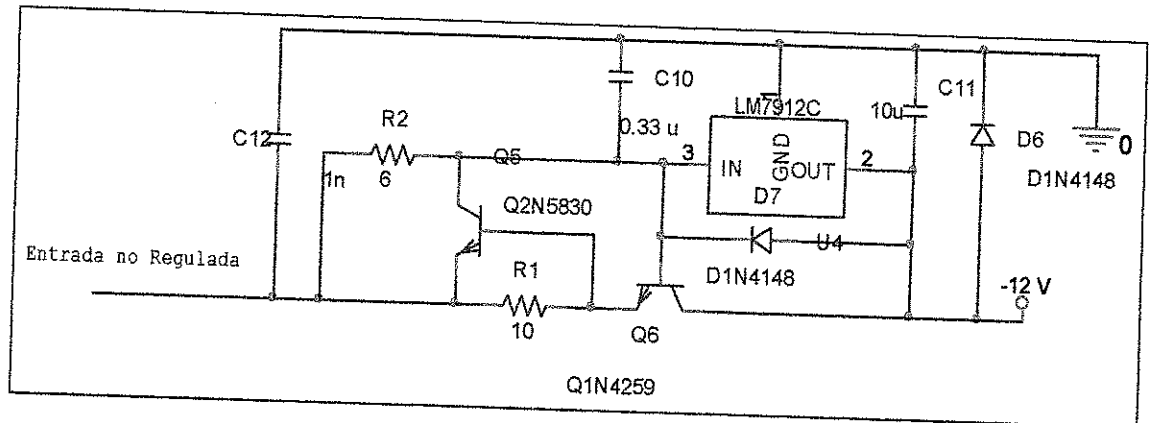
a. Regulación de 5 V



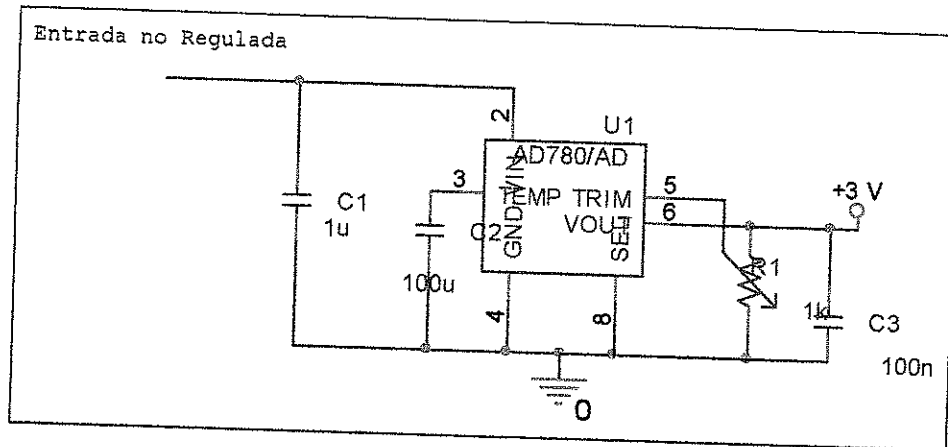
b. Regulación de 12 V



c. Regulación de -12 V



d. Regulación de 3 V



Cuando la corriente es menor de 1 A el voltaje en R2 y R1 es menor de 0.7V, el transistor Q1 y Q2 están apagados y el regulador de voltaje regula a su valor nominal y toda la corriente fluye a través de él, cuando la corriente aumenta más de 1 A, la caída de voltaje de R3 es mayor de 0.7 V y el transistor comienza a conducir conforme aumenta la demanda de corriente, a medida que aumenta la corriente el voltaje sobre R2 es mayor de 0.7 V comenzando a conducir el transistor Q2 restando corriente a Q1 para que el colector de Q1 aumente y pase por el regulador de voltaje produciéndose protección térmica.

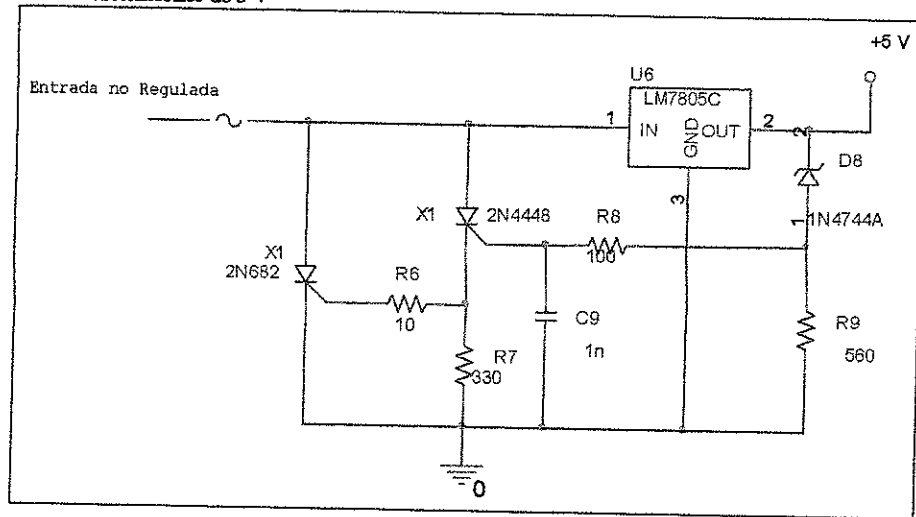
⇒ Protección contra sobretensiones

El modulo final a tratar en la fuente de alimentación es la protección contra sobretensiones, el cual se encarga de controlar la tensión de cada línea y la desconecta si se hace superior a un valor predeterminado.

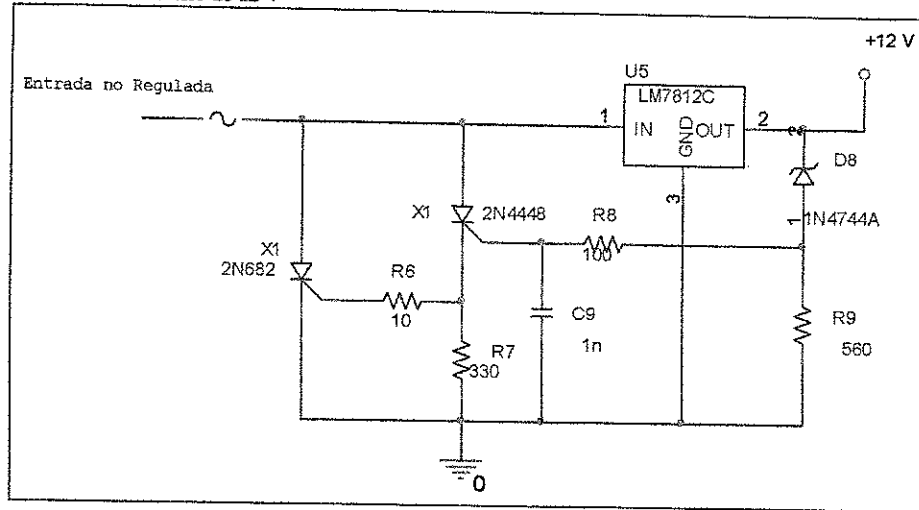
En la siguiente figura se muestra el circuito contra sobretensiones para las líneas de 5V, 12V y -12V.

Figura 75 Circuito de Protección contra Sobretensiones.

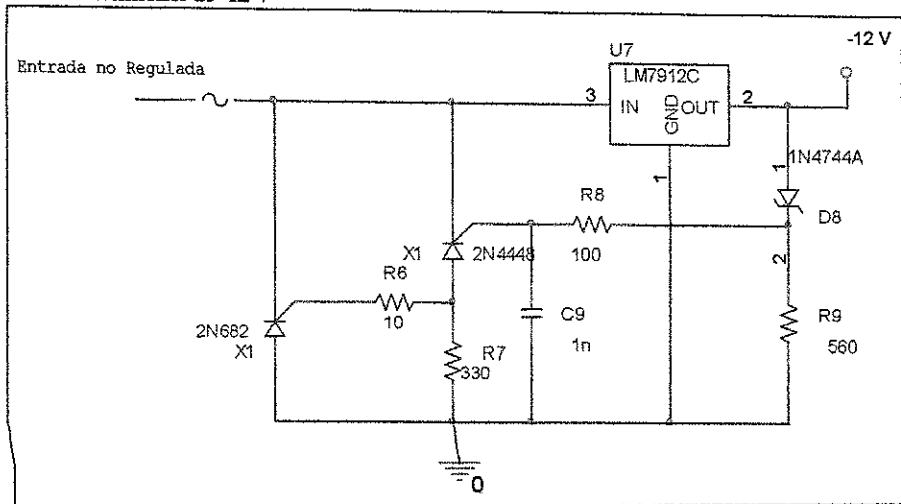
a. Protección contra sobretensiones de 5 V



b. Protección contra sobretensiones de 12 V



c. Protección contra sobretensiones de -12 V



Cuando la tensión se eleva por encima del valor del zener, se excita la puerta del SCR e inicia una conducción de corriente, cortocircuitando la línea de salida a tierra, la corriente excesiva destruye el fusible provocando que la línea no este en funcionamiento.

Ya se ha analizado cada uno de las etapas, a continuación se presenta el diagrama general de la fuente de alimentación y la señal de respuesta con una carga resistiva.

Figura 76 Fuente de Alimentación Lineal 5V, 12V -12V 3V

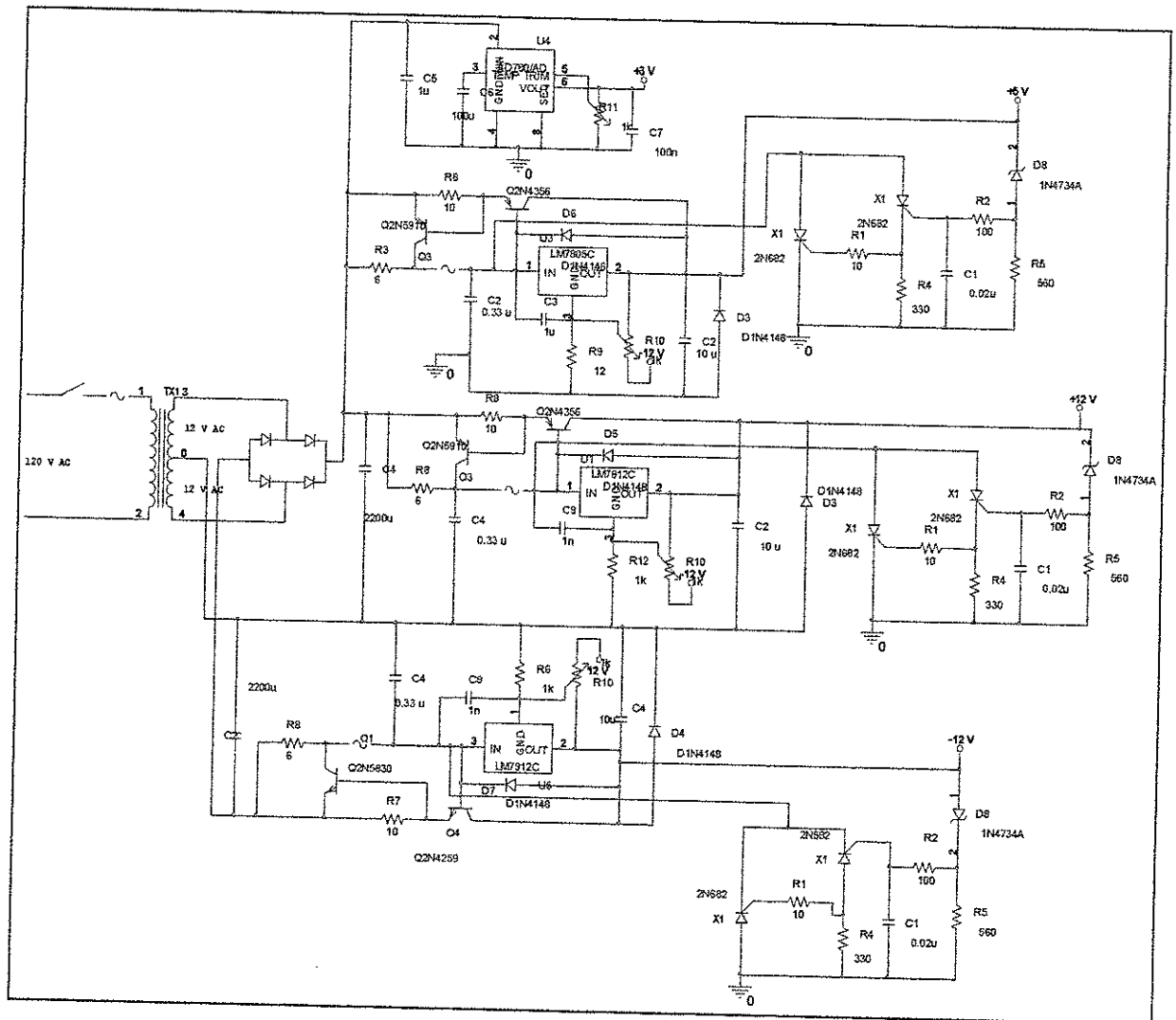
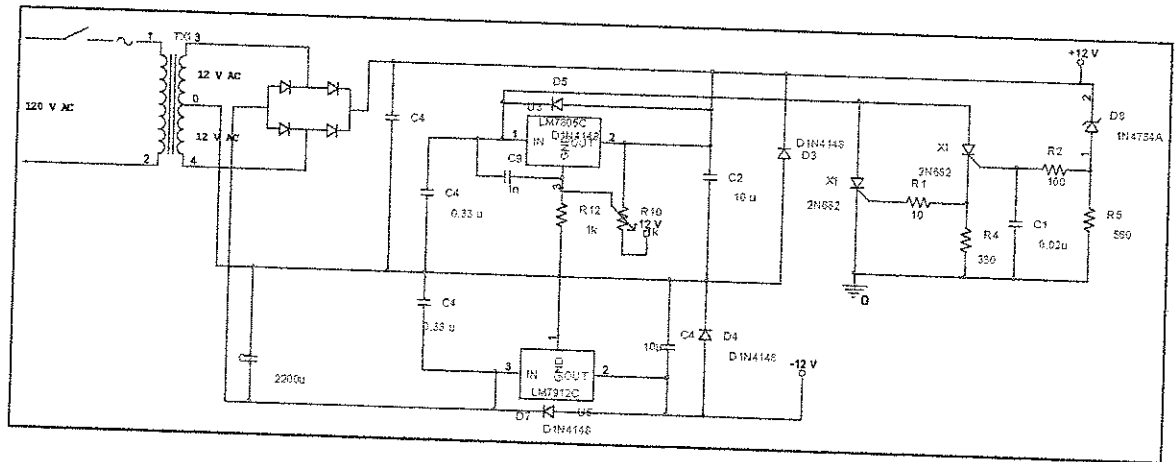
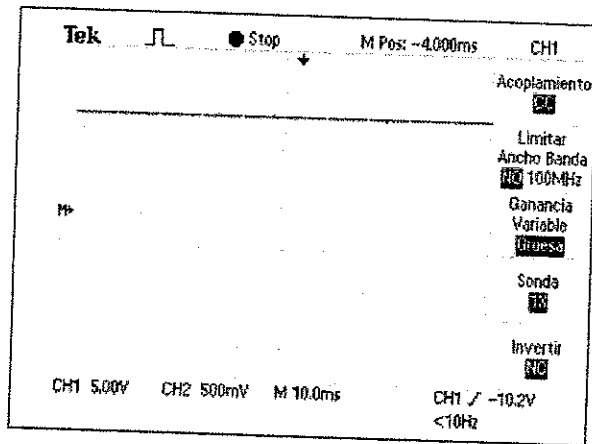


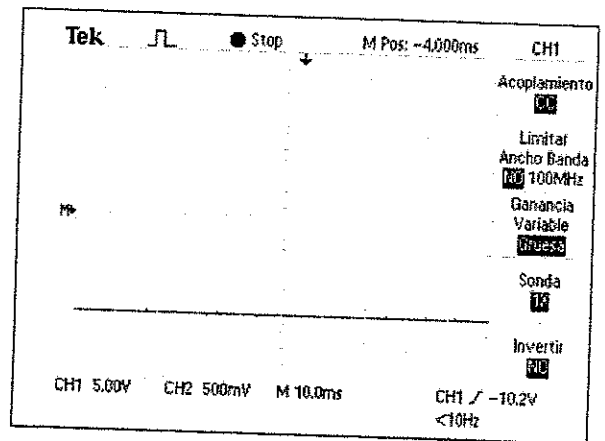
Figura 77 Fuente de Alimentación Lineal 5V



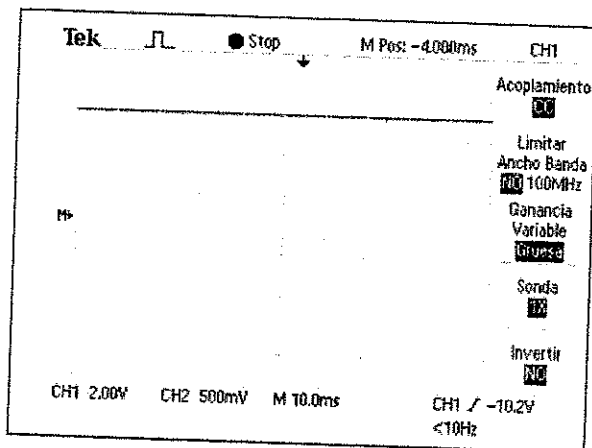
b. Voltaje de Salida 12V



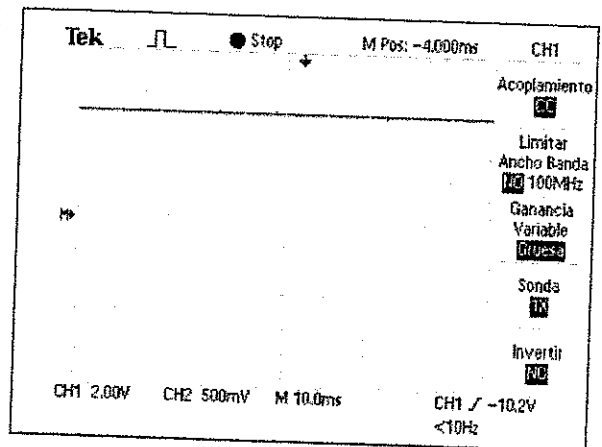
c. Voltaje de Salida -12V



d. Voltaje de Salida 5V



e. Voltaje de Salida 5V Aislados



Otro factor importante en una fuente es la cantidad en que cambia el voltaje de salida sobre un rango de operación del circuito. El voltaje proporcionado en la salida bajo condiciones sin carga (sin consumo de corriente de la fuente) se reduce cuando la carga consume corriente de la alimentación (bajo carga). La cantidad en que cambia el voltaje entre las condiciones de sin carga se describe por un factor llamado regulación de voltaje dado por:

$$\% \text{Regulación de Voltaje} = \frac{\text{Voltaje sin Carga} - \text{Voltaje a Plena Carga}}{\text{Voltaje a Plena Carga}} * 100\%$$

Si el valor a plena carga es el mismo que el del voltaje sin carga, la regulación de voltaje calculada es 0%, que se la mejor esperada. Esto significa que la fuente de alimentación de voltaje es perfecta, ya que el voltaje de salida es independiente del consumo de corriente extraída de la alimentación. Entre más pequeña sea la regulación, mejor es la operación de la fuente de alimentación de voltaje.

$$\% \text{Regulación de Voltaje} = \frac{12V - 11.9}{11.9} * 100\% = 0.84\%$$

La fuente diseñada cumple con las condiciones de diseño dado que el % de regulación es de 0.84%, valor que se deriva de la tolerancia de los elementos utilizados.

5.2.2.2 I/O

En el nivel de campo se encuentra la planta del sistema (Incubadora Neonatal), y sus dispositivos de entrada (sensores) y de salida (actuadores y alarmas) y su instrumentación (acondicionamiento), actúan directamente sobre la cámara de la incubadora.

⇒ Sensores de proceso

El sensor es el elemento primario que actúa directamente en la variable de entrada a medir, si la señal que entrega es errónea, el proceso se verá directamente afectado, son utilizados en diversos sistemas en los que se desee procesar una señal física o química.

➤ Factores a considerar en la elección de un sensor⁵⁸

○ Magnitud a medir.

- ✓ Margen de medida.
- ✓ Resolución.
- ✓ Exactitud deseada.
- ✓ Estabilidad.
- ✓ Ancho de banda.
- ✓ Tiempo de respuesta.
- ✓ Límites absolutos posibles de la magnitud a medir.
- ✓ Magnitudes interferentes.

⁵⁸ Pallás Areny Ramón, Sensores y Acondicionadores de señal, 2002, Alfa Omega Grupo Editores, 3ª edición corregida.

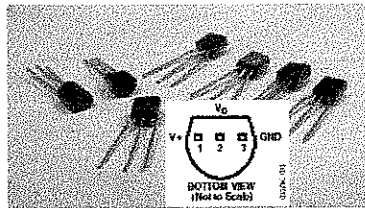
- Características de salida
 - ✓ Sensibilidad.
 - ✓ Tipo: tensión, corriente, frecuencia.
 - ✓ Forma señal: unipolar, flotante, diferencial.
 - ✓ Impedancia.
 - ✓ Destino: presentación analógica, conversión digital, telemedida: ¿tipo?
- Características de alimentación
 - ✓ Tensión.
 - ✓ Corriente.
 - ✓ Potencia disponible.
 - ✓ Frecuencia (si alterna).
 - ✓ Estabilidad.
- Características ambientales
 - ✓ Margen de temperaturas.
 - ✓ Humedad.
 - ✓ Vibraciones.
 - ✓ Agentes químicos.
 - ✓ ¿Atmósfera explosiva?
 - ✓ Entorno electromagnético.
- Otros factores
 - ✓ Peso.
 - ✓ Dimensiones.
 - ✓ Vida media.
 - ✓ Costo de adquisición.
 - ✓ Disponibilidad.
 - ✓ Tiempo de instalación.
 - ✓ Longitud de cable necesario.
 - ✓ Tipo de conector.
 - ✓ Situación en caso de fallo.
 - ✓ Costo de verificación.
 - ✓ Costo de mantenimiento.
 - ✓ Costo de sustitución.
 - ✓ Entre otros.

En el sistema presentado, esencialmente intervienen tres variables físicas, temperatura, humedad y peso, las cuales son adquiridas del medio para luego acondicionarlas y procesarlas, de acuerdo a los requerimientos del sistema los criterios de selección de los sensores son los siguientes.

➤ Temperatura

○ Temperatura ambiente de incubación: cuando el neonato nace, lo más conveniente es mantenerlo en un ambiente térmico neutro, es decir, a una temperatura de la incubadora a la que el infante consume la menor cantidad de oxígeno posible de acuerdo a su peso y edad. Para saber la ventana de operación de nuestro sensor tenemos en cuenta que, si un prematuro tiene entre 0 y 92 Horas de edad y pesa menos de 1200 gr la cámara debe estar en un rango de temperatura de 34 a 35.4 °C, si el neonato tiene mas de 8 días de edad y pesa mas de 2500 gr la cámara debe estar en un rango de temperatura de 29 a 31.4°C. En consecuencia y sobredimensionando la ventana de operación del sensor de temperatura ambiente esta definida de 0°C a 50°C, esta señal es tomada mediante 3 sensores AD22100, mostrados en Figura 78, colocados estratégicamente dentro de la estructura de la incubadora.

Figura 78 Sensor de Temperatura AD22100



El AD22100 es un sensor de temperatura monolítico con respuesta lineal. Con las siguientes características estáticas:

Tabla 16 Características estáticas del sensor AD22100

Rango de Operación	-50°C a +150°C
Coeficiente de Temperatura	$(V_+/5V) * 22.5mV/^{\circ}C$
Voltaje de Salida	0.25V a 50°C hasta 4.75V a 150°C
Polarización	5V
Alcance (Span)	200°C
Exactitud	+/- 2% a total escala.
Linealidad	+/- 1% a total escala.
Función de Transferencia	$(V_+/5V) * [1.375V + (22.5mV/^{\circ}C * T_A)]$

En la siguiente tabla se presenta la relación de temperatura voltaje de salida.

Tabla 17 Relación Temperatura / Voltaje

Temperatura (°C)	Voltaje (V)
0	1,375
5	1,4875
10	1,6
15	1,7125
20	1,825
25	1,9375
30	2,05
35	2,1625
40	2,275
45	2,3875
50	2,5

En la siguiente figura se puede observar la linealidad del sensor de temperatura AD22100, de igual forma para la ventana de 0°C a 50°C, corresponde una salida de 1.375V a 2.5 V respectivamente, rango de operación del sistema.

○ Temperatura cutánea: dentro de las condiciones clínicas de un neonato, tal vez la más importante es la temperatura corporal, el recién nacido tiene una temperatura similar a la del adulto, que oscila alrededor de los 36.5°C y dependerá del sitio donde se mida la temperatura y el método que se esté usando. Sin embargo algunos autores consideran que el pequeño deberá mantenerse dentro de un ambiente donde su temperatura central esté entre los 36.7°C y los 37.3°C. Teniendo en cuenta estas consideraciones sobredimensionando la ventana de operación del sensor de temperatura cutánea esta definida de 0°C a 50°C, esta señal es tomada mediante un termistor de precisión Omega 44031, el cual se muestra en la siguiente figura, la ubicación del termistor en el cuerpo del neonato depende del criterio médico.

Figura 79 Curva de respuesta del sensor AD22100

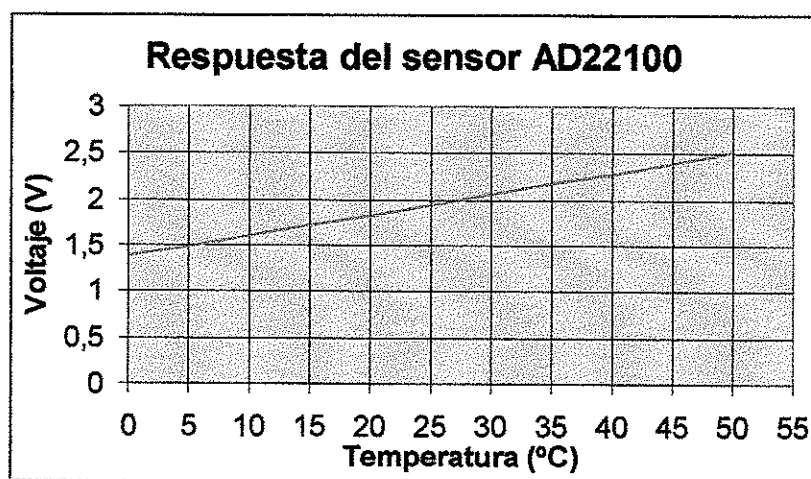
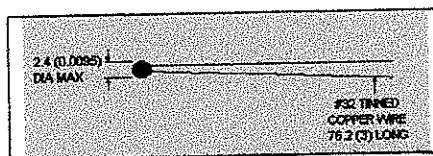


Figura 80 Thermistor de precisión 44031



Este thermistor de precisión su coeficiente de temperatura es negativo, es decir su resistencia disminuye con el incremento de la temperatura, tiene las siguientes características estáticas.

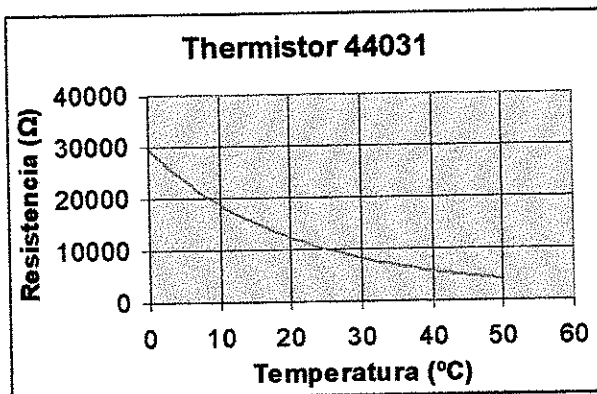
Tabla 18 Características estáticas del thermistor 44031

Rango de Operación	0°C a +75°C
Exactitud	+/- 0.1 °C
Resistencia de Salida	29.49KΩ a 0°C a 1990Ω a 70°C
Temperatura Max de Operación	100°C
Alcance (Span)	70°C
Función de Transferencia	$\frac{1}{T} = A + B(\text{LOG}_e R) + C(\text{LOG}_e R)^3$

Tabla 19 Relación de temperatura resistencia de salida.

Temperatura (°C)	Resistencia (Ω)
0	29490
5	23460
10	18790
15	15130
20	12260
25	10000
30	8194
35	6752
40	5592
45	4655
50	3893

Figura 81 Thermistor 44031

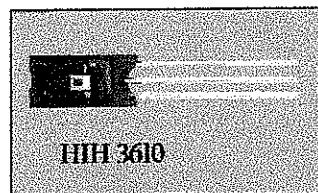


En la anterior figura se puede observar la no linealidad del termistor de temperatura 44031, de igual forma para la ventana de 0°C a 50°C, corresponde una salida de 29490Ω a 3893Ω respectivamente, rango de operación del sistema.

➤ Humedad

○ Humedad Relativa del Ambiente: A mayor temperatura menor porcentaje de humedad relativa del aire, el recién nacido necesita un nivel de humedad de 50 al 60% de lo contrario se secan las mucosas nasales y ello ocasiona trastornos en las vías respiratorias. La ventana de operación está definida de 0% a 100% de humedad relativa, esta señal es tomada mediante el sensor de humedad HIH3610 (ver Figura 82), colocado estratégicamente dentro de la cámara de incubación.

Figura 82 Sensor de Humedad Relativa HIH 3610



Este sensor tiene una respuesta lineal, posee las siguientes características estáticas.

Tabla 20 Características estáticas del sensor HIH3610

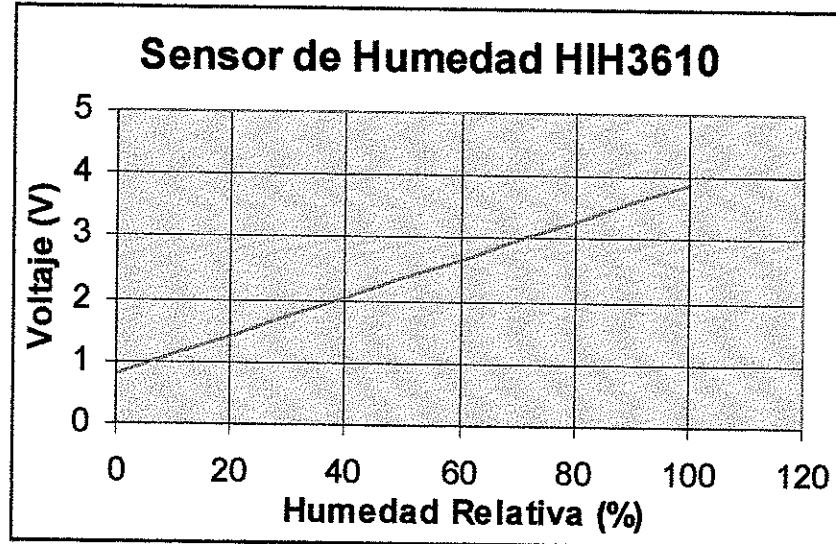
Rango de Operación	0% a 100%
Voltaje de Salida	0.8V a 0% hasta 3.9V a 100%
Polarización	5V
Alcance (Span)	100%
Exactitud	+/- 2% RH.
Linealidad	+/- 0.5% RH Típico.
Histéresis	+/- 1.2 % Span max.
Repetitividad	+/- 0.5% RH
Función de Transferencia	$V_{OUT} = V_{CC} * (0.0062 * \%RH + 0.16)$

Tabla 21 Relación de % Humedad Relativa voltaje de salida

%RH	Voltaje (V)
0	0,8
10	1,11
20	1,42
30	1,73
40	2,04
50	2,35
60	2,66
70	2,97
80	3,28
90	3,59
100	3,9

En la siguiente figura se puede observar la linealidad del sensor de Humedad Relativa HIH3610, de igual forma para la ventana de 0% a 100%, corresponde una salida de 0.8V a 3.9 V respectivamente, rango de operación del sistema.

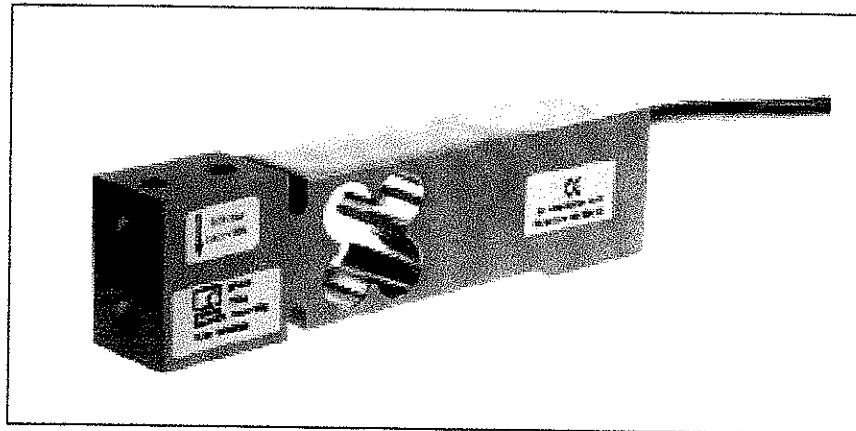
Figura 83 Linealidad del sensor de humedad HIH3610



➤ **Peso**

○ **Peso Neonatal:** Un factor importante en la salud de un neonato es el peso, ya que influye directamente las decisiones médicas. La ventana de operación de esta variable es de 0 gr a 12000 gr, se escogió la celda de carga SP4 (Ver Figura 84) con las siguientes características:

Figura 84 Celda de Carga SP4



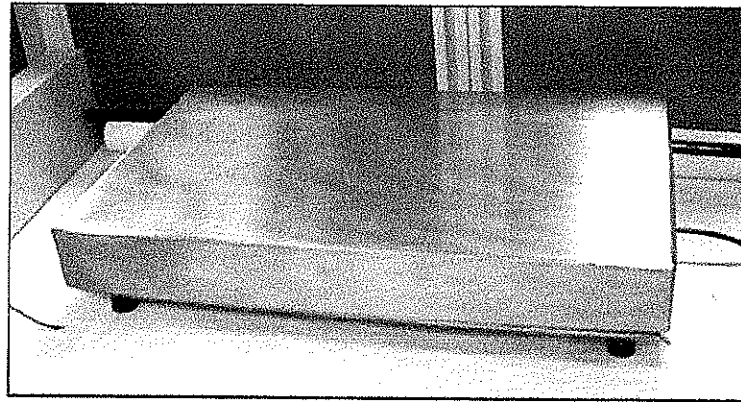
La celda de Carga SP4 es un sensor de peso con capacidad para 30 Kg. con las siguientes características estáticas:

Tabla 22 Características estáticas de la celda de carga SP4

Capacidad máxima	30 Kg.
Divisiones	5000
Tamaño de la plataforma	50 cm. * 40 cm.
Polarización	5V
Alcance (Span)	30 Kg.

A continuación se muestra el sensor y la plataforma, esta plataforma esta hecha en acero inoxidable.

Figura 85 Plataforma en acero inoxidable



Se escogió un sensor de peso con capacidad de 30Kg ya que este debe soportar el peso de la plataforma, el peso de la bandeja de la incubadora y el peso del colchón.

➤ Sistema base

Dentro del sistema existen sensores que determinan el buen funcionamiento de determinada etapa, donde cada uno aporta información visible de fácil entendimiento para el usuario, a continuación se dan a conocer los diferentes procesos que se sensan.

○ Utilización de potencia relativa de los actuadores térmicos.

En el sistema existen tres actuadotes términos, dos para temperatura y uno para humedad, su porcentaje de disipación de potencia no es constante en el tiempo, varía directamente según los requerimientos y las necesidades del entorno.

La utilización de potencia relativa para cada actuador se sensar mediante un transformador de corriente y se visualiza mediante un arreglo de 20 leds SSA-LXB20-43910, a mayor potencia, mayor número de leds encendidos, con las siguientes características.

Figura 86 Arreglo de 20 Leds SSA-LXB20-43910

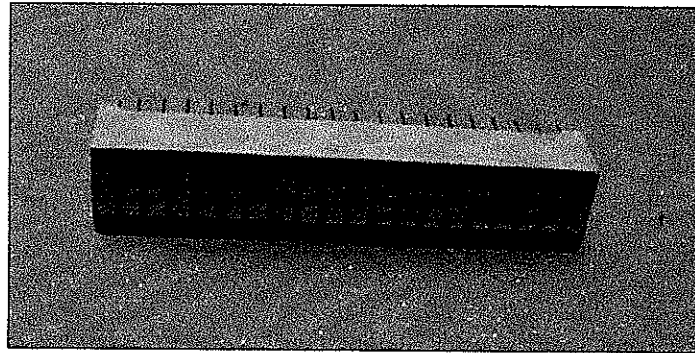


Tabla 23 Características del sensor Arreglo de 20 Leds SSA-LXB20-43910

Corriente max.	25 mA
Potencia Disipada	105 mW
Temperatura de Operación	-40 a +85 °C

○ Velocidad del motor ventilador

La velocidad del motor ventilador debe ser constante, ya que sobre él no se ejerce ningún control, esta alimentado directamente de la red eléctrica, la velocidad se sensa mediante un encoder fotomicrosensor EE-SX1115, el cual genera pulsos a una determinada frecuencia, con las siguientes características.

Figura 87 Encoder EE-SX1115

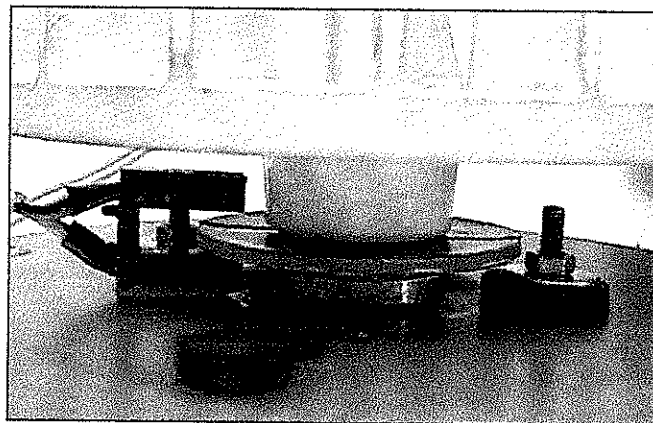


Tabla 24 Características Encoder EE-SX1115

Emisor	Corriente	50 mA
	Voltaje Inverso	4 V
Receptor	Voltaje Colector-Emisor	30 V
	Corriente Colector	20 mA
Temperatura de Operación		-25 a 80 °C

⇒ Actuadores

El actuador es un dispositivo que recibe una orden de un controlador y provoca una acción en el elemento final de control, en el sistema se tienen tres actuadores térmicos relacionados directamente con la temperatura y humedad de la cámara y un motor ventilador encargado de mantener un flujo continuo de aire en la cámara.

➤ Factores a considerar en la elección de un actuador.

- ✓ Tensión.
- ✓ Corriente.
- ✓ Potencia disponible.
- ✓ Velocidad.
- ✓ Estabilidad.
- ✓ Controlabilidad.
- ✓ Peso y volumen.
- ✓ Precisión.
- ✓ Vida media.
- ✓ Costo de adquisición.
- ✓ Disponibilidad.
- ✓ Tiempo de instalación.
- ✓ Costo de mantenimiento.
- ✓ Margen de temperaturas.
- ✓ Humedad.
- ✓ Vibraciones.
- ✓ Agentes químicos.
- ✓ ¿Atmósfera explosiva?
- ✓ Entorno electromagnético.
- ✓ Entre otros.

➤ Resistencia de Calentamiento Rápido

Esta resistencia es la encargada de realizar el precalentamiento de la incubadora., el sistema de control le envía una señal de activación (ON-OFF) en el rango de temperatura de 0°C a 28°C, con el fin de disminuir el tiempo de calentamiento de la incubadora, a continuación se muestra la resistencia y sus características:

Figura 88 Resistencia de Calentamiento Rápido

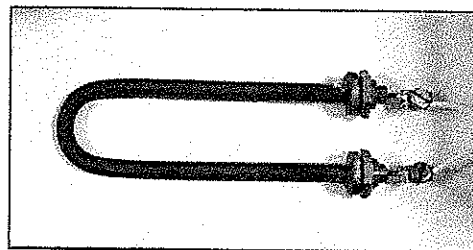


Tabla 25 Características Resistencia de Alta Potencia

Resistencia	24.6 Ω
Voltaje de Alimentación	120 V A.C.
Corriente	4.7 A
Potencia	564 W

➤ Resistencia de Baja potencia

El sistema de control le envía una señal PWM de activación en el rango de temperatura de 28°C a 38°C, esta resistencia es de calentamiento lento ya que no se permiten un cambio brusco de temperatura cuando el neonato este dentro de la cámara, a continuación se muestra la resistencia y sus características:

Figura 89 Resistencia de Baja Potencia

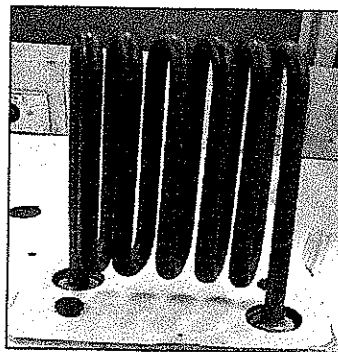


Tabla 26 Características Resistencia de Baja Potencia

Resistencia	48.4 Ω
Voltaje de Alimentación	120 V A.C.
Corriente	2.42 A
Potencia	290 W

➤ Humidificador

El humidificador utilizado en el sistema convierte el agua en vapor por medio de calor, a través de una resistencia térmica que calienta el agua del recipiente, el control en la resistencia se hace mediante una señal PWM, esta resistencia es de calentamiento lento ya que la humedad se debe introducir lentamente a la cámara de incubación para no incomodar al paciente, a continuación se muestra el humidificador y sus características:

➤ Motor ventilador

Es el encargado de homogenizar constantemente el ambiente de la cámara de incubación, esta encendido todo el tiempo, nos se ejerce ningún control sobre él. A continuación se muestra la resistencia y sus características:

Figura 90 Humidificador

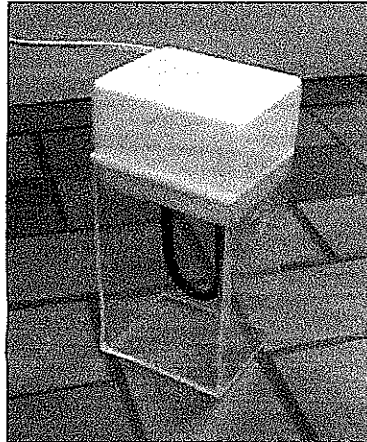


Tabla 27 Características del Humidificador

Resistencia	60.5 Ω
Voltaje de Alimentación	120 V A.C.
Corriente	1.97 A
Potencia	236.4 W

Figura 91 Motor ventilador

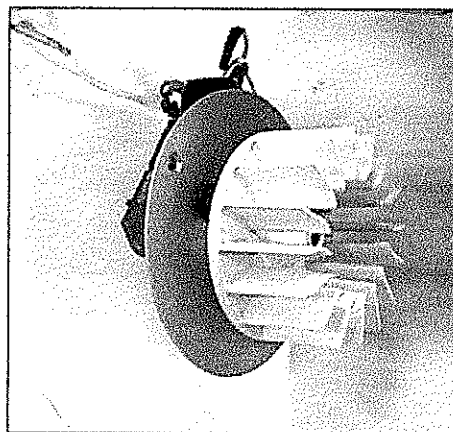


Tabla 28 Características Motor Ventilador

Resistencia	36.4 Ω
Voltaje de Alimentación	120 V A.C.
Corriente	240 mA
Potencia	28.8 W

5.2.2.3 Acondicionamiento

Las señales que nos entregan los sensores no son adecuadas para introducirlas al conversor análogo digital, estas señales se deben adecuar para procesarlas, para ello se utilizan filtros, amplificadores operacionales, puente de Wheatstone, entre otros.

⇒ Temperatura ambiente

El sensor AD22100 nos entrega una salida de 1.375V a 2.5V en el rango de 0°C a 50°C, se necesita apropiar esta señal en una ventana de 0V a 4.57V, se debe hallar el valor de cero y span para la señal.

En la siguiente figura se puede observar que a la entrada del amplificador de instrumentación se encuentra un filtro RFI pasa banda para eliminar ruido en el sensor.

Figura 92 Circuito Acondicionamiento sensor de Temperatura

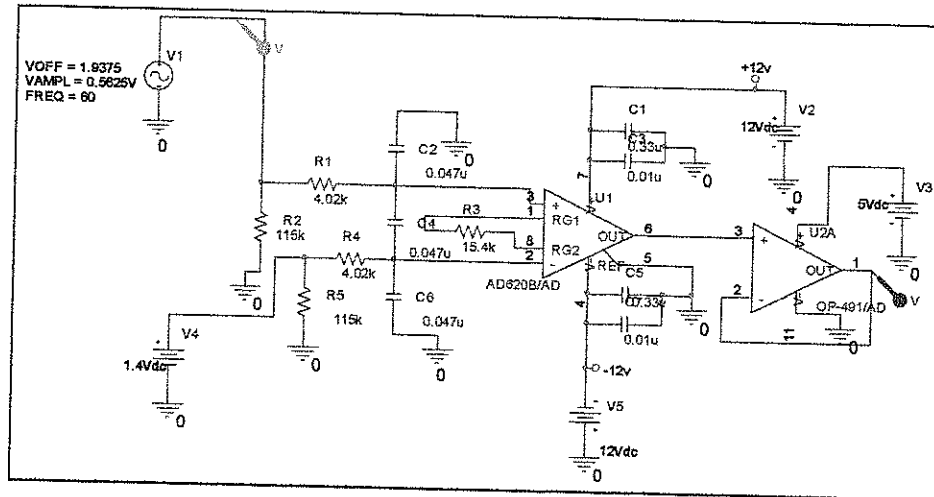
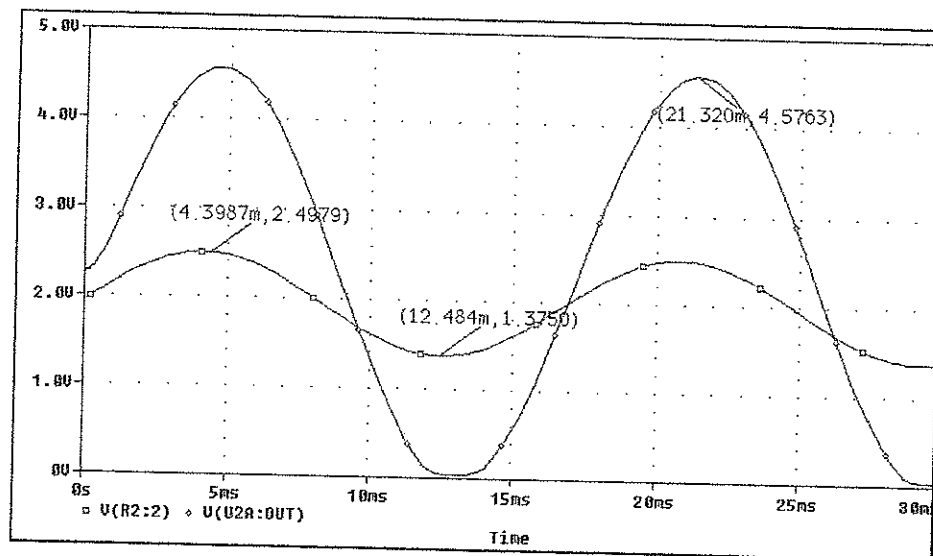


Figura 93 Señal de entrada y salida del acondicionamiento



⇒ Peso

El sensor SP4 nos entrega una salida de 2.5v a 2.51V en el rango de 0 gr a 12 Kg., se necesita apropiiar esta señal en una ventana de 0V a 4.57V, se debe hallar el valor de cero y span para la señal.

En la siguiente figura se puede observa que a la entrada del amplificador de instrumentación se encuentra un filtro RFI pasa banda para eliminar ruido en el sensor.

Figura 94 Circuito Acondicionamiento sensor de Peso

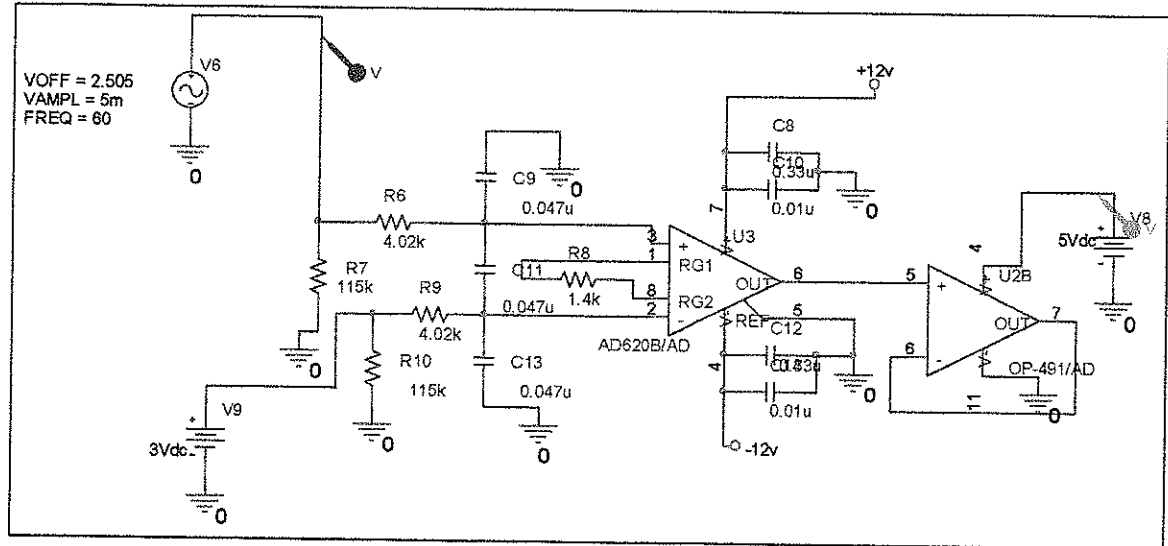
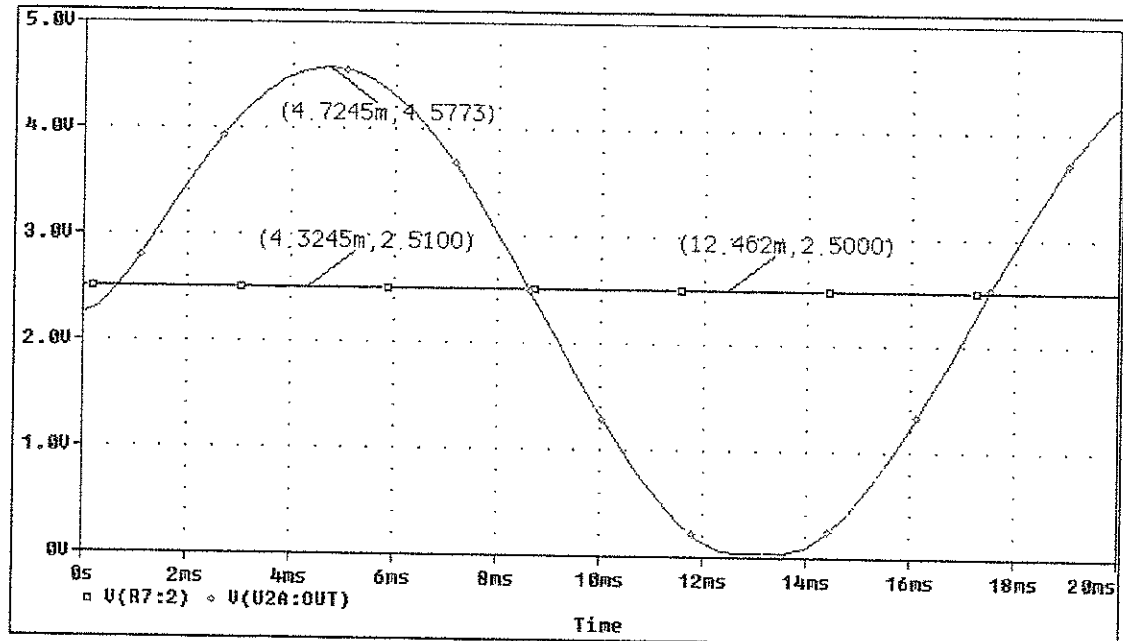


Figura 95 Señal de entrada y salida del acondicionamiento



⇒ Humedad

El sensor HIH3610 nos entrega una salida de 0.8V a 3.9V en el rango de 0%RH a 100%RH0, se necesita apropiar esta señal en una ventana de 0V a 3.92V, se debe hallar el valor de cero y span para la señal.

En la siguiente figura se puede observa que a la entrada del amplificador de instrumentación se encuentra un filtro RFI pasa banda para eliminar ruido en el sensor.

Figura 96 Circuito Acondicionamiento sensor de Humedad

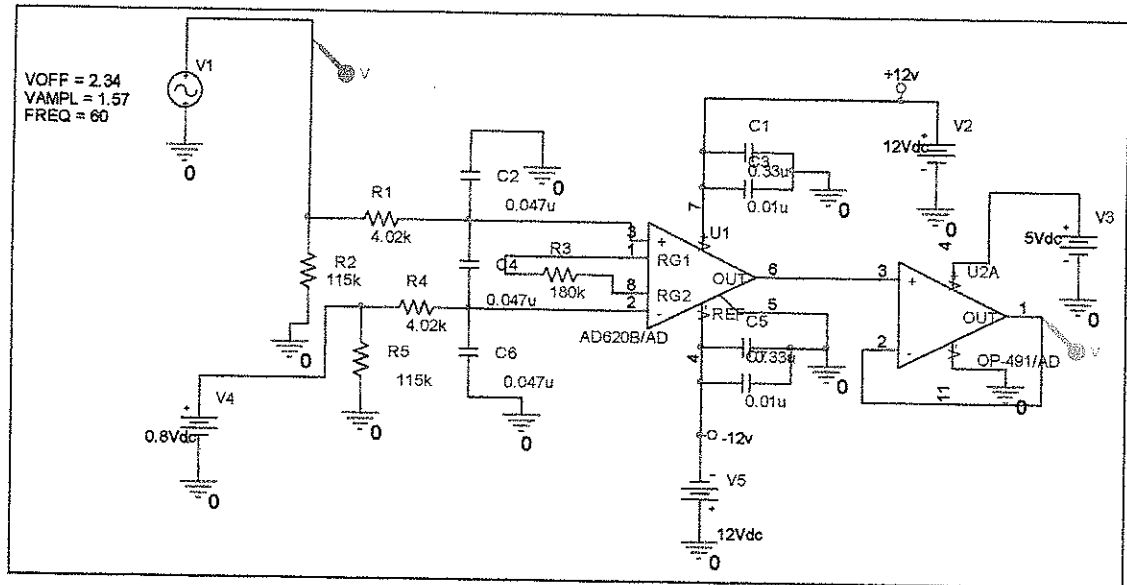
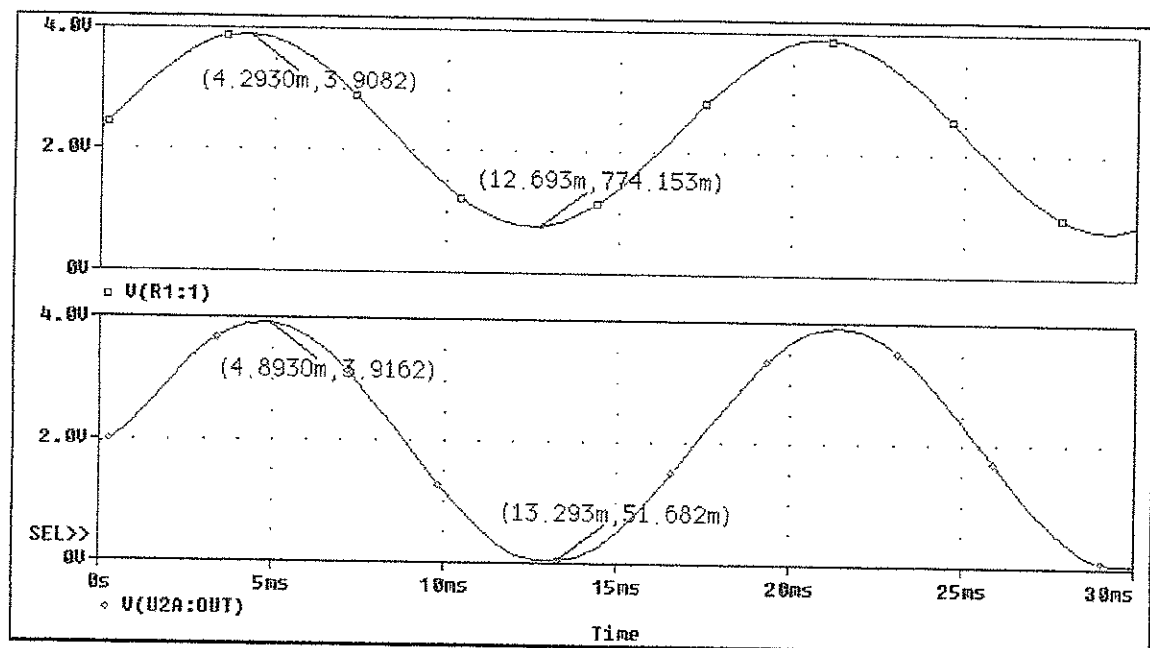


Figura 97 Señal de entrada y salida del acondicionamiento



⇒ Sensores de Sistema Base

- Utilización de potencia relativa de los actuadores térmicos.

El transformador de corriente entrega un voltaje no adecuado para visualizarlo, se necesita un voltaje de 0V a 4.8V, para ello se utilizó un amplificador de instrumentación AD620BN con un filtro FIR a la entrada, y un amplificador operacional OP491 configurado como seguidor, luego de tener la ventana de voltaje adecuada, utilizamos el circuito integrado LM 3914, el cual es un display driver, que va conectado al arreglo de leds, a continuación se observa el diagrama del circuito.

Figura 98 Circuito Acondicionamiento sensor de corriente.

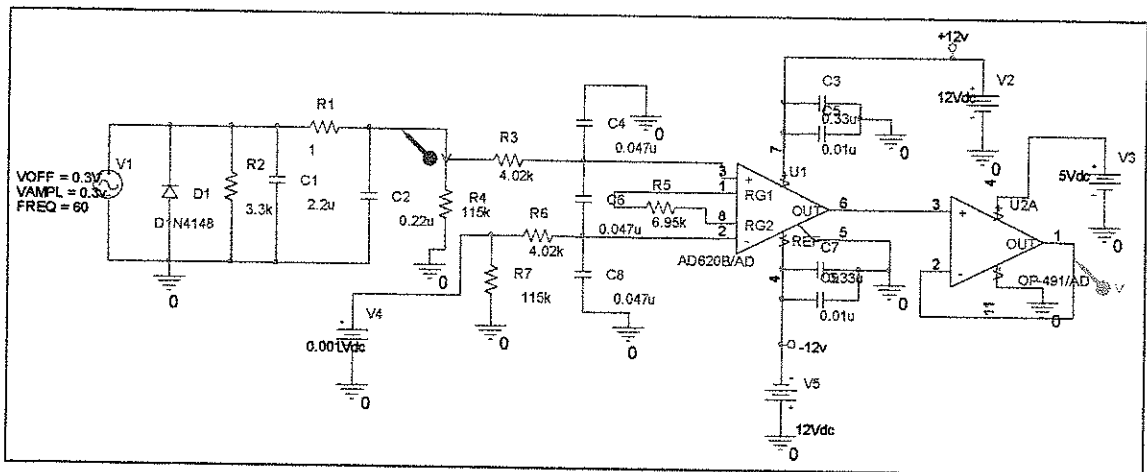
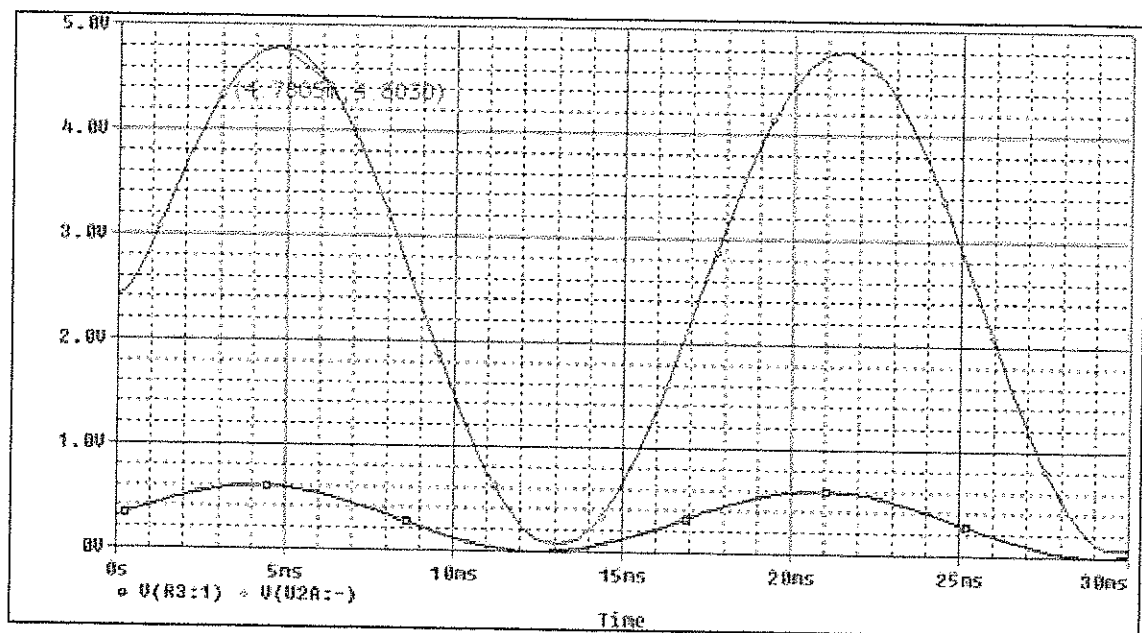


Figura 99 Señal de entrada y salida del acondicionamiento



- o Velocidad del motor ventilador

El encoder entrega pulsos a una frecuencia determinada, cuando el motor funciona en régimen permanente, para convertir la señal a voltaje se ha utilizado el circuito integrado LM2907 y un amplificador operacional OP491 configurado como seguidor.

En la siguiente figura se puede observa el circuito utilizado.

Figura 100 Circuito Acondicionamiento Encoder.

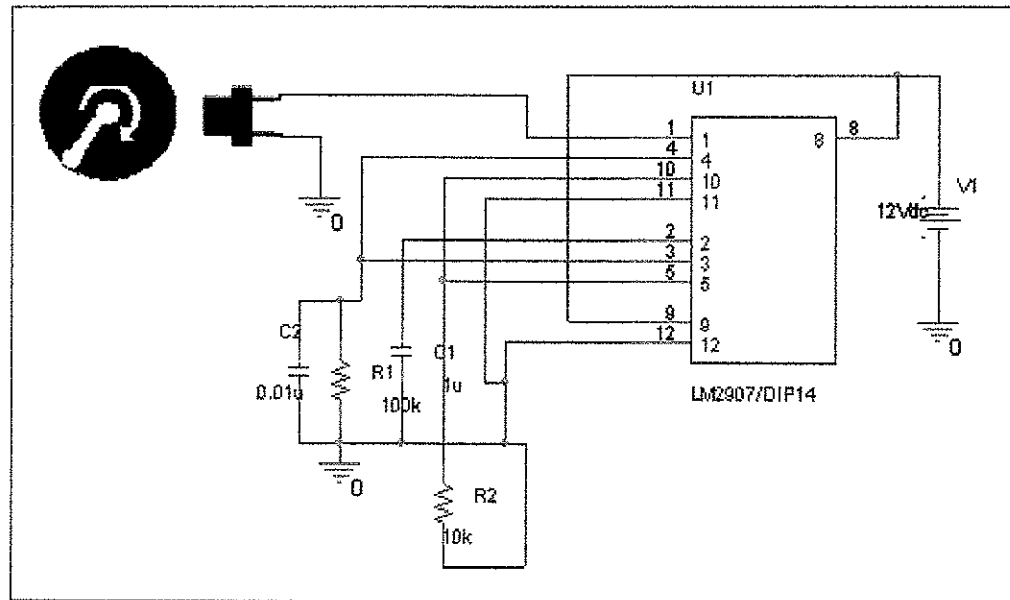
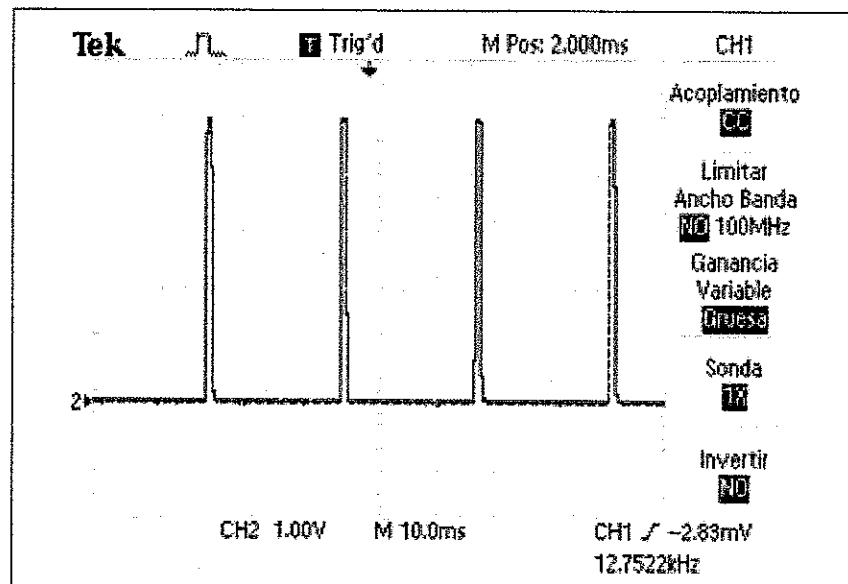


Figura 101 Señal de salida del encoder.

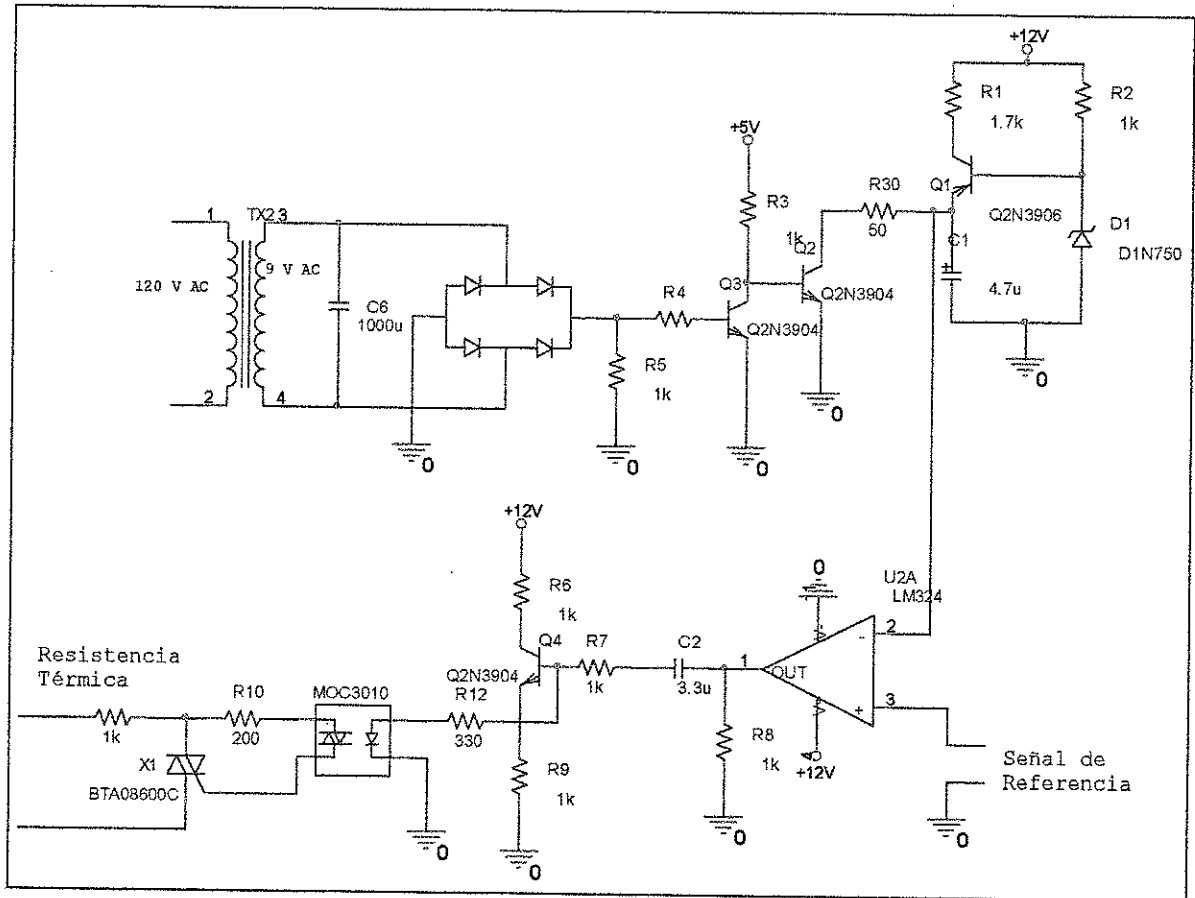


⇒ Actuadores

Resistencia de calentamiento Rápido, Resistencia de Baja potencia y Humidificador

Cada resistencia térmica tiene una función y por ende tiene características específicas, su acondicionamiento es el mismo para cada una, a continuación se muestra el circuito acondicionamiento de la señal.

Figura 102 Circuito Acondicionamiento Resistencia de calentamiento Rápido, Resistencia de Baja potencia y Humidificador.



5.2.2.4 Aislamiento

Cuando se adquieren señales biomédicas el aislamiento del paciente es fundamental y aun más cuando se trata de un ser indefenso como es el neonato, para aislar la señal de temperatura cutáneo se utilizo el amplificador de aislamiento AD202, a continuación se observa las señales de entrada y de salida del amplificador.

El aislamiento de las señales de Temperatura Ambiente, Peso y Humedad se realizo mediante el opto acoplador analógico lineal HCNR200, a continuación se observa las señales de entrada y de salida del opto acoplador analógico lineal HCNR200.

Figura 103 Señal de entrada y salida del amplificador de instrumentación AD202.

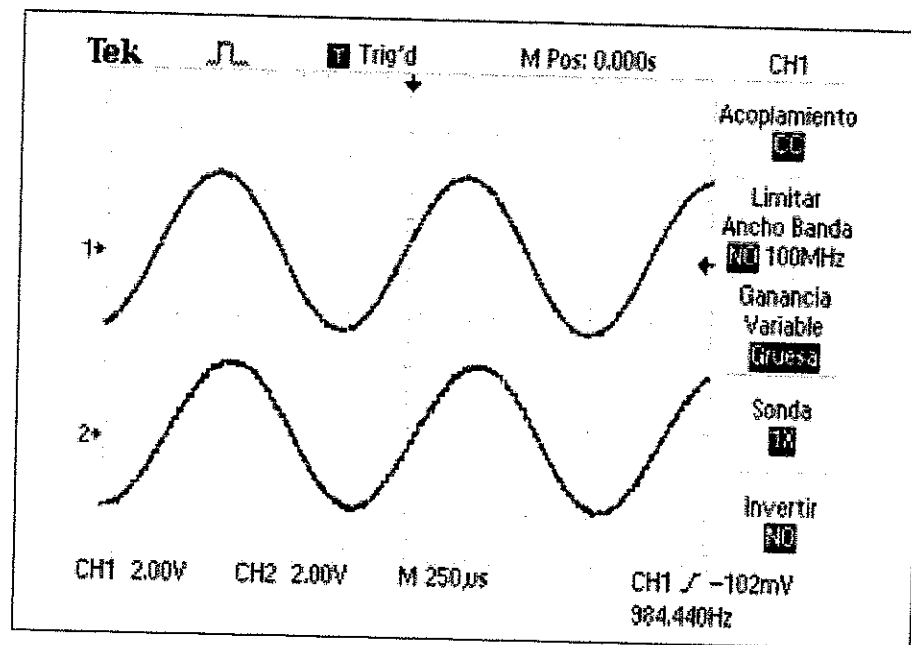
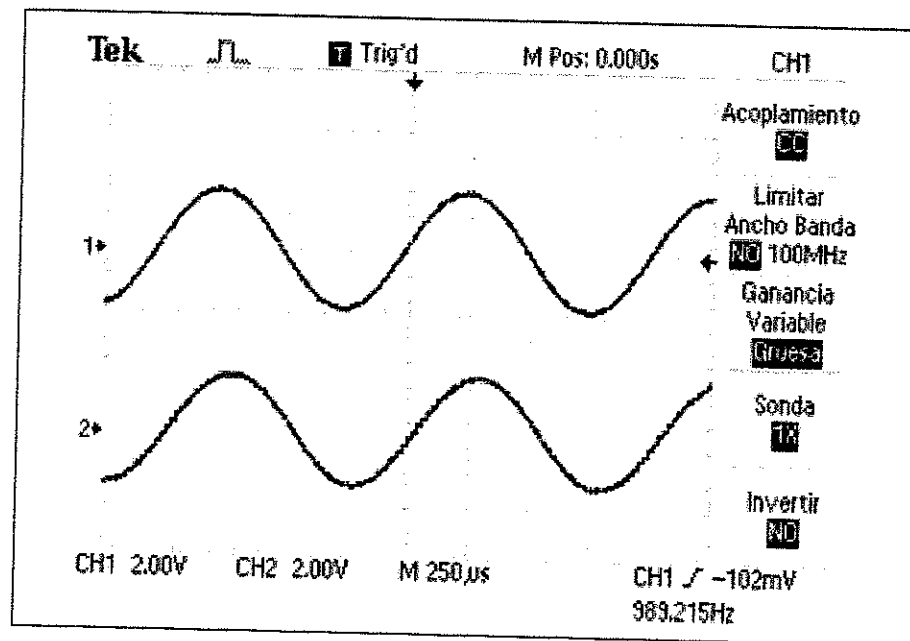


Figura 104 Señal de entrada y salida del opto acoplador analógico lineal HCNR200.



5.2.2.5 Conversores

Dentro del acondicionamiento de señales, se deben considerar los procesos de conversión analógica-digital y digital-analógica; ya que a través de estos sistemas, se intercambian señales entre las etapas de instrumentación y procesamiento; permitiendo realizar procesos de muestreo, adquisición y tratamiento de las señales consideradas.

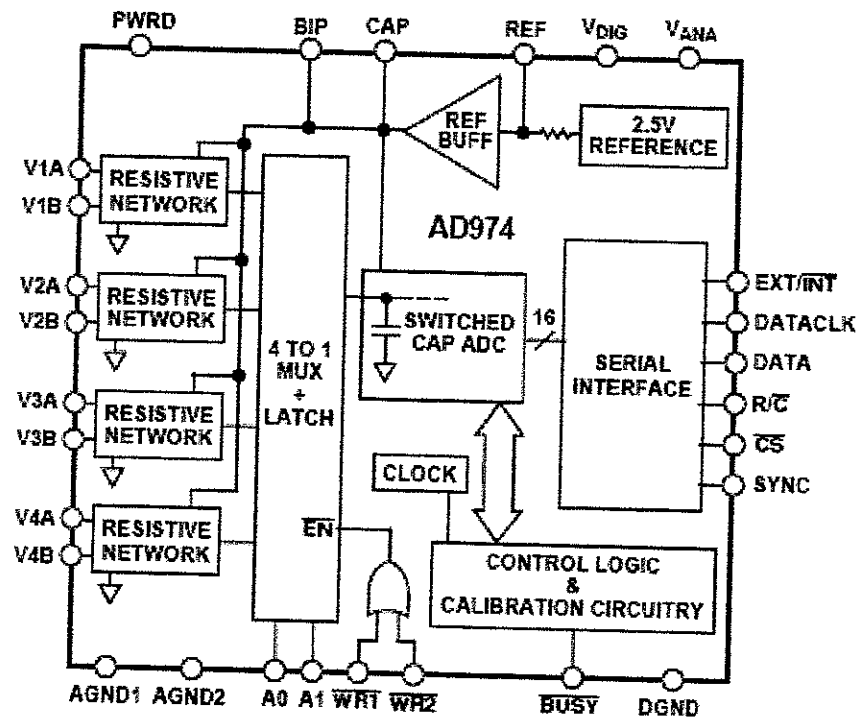
⇒ Conversión analógica-digital

Se seleccionaron dos conversores analógicos-digitales, de acuerdo a las necesidades de los procesos a los que se encontraban asociados; a continuación se realiza una breve descripción de las etapas de conversión analógica-digital, dependiendo de la resolución requerida por los sistemas.

➤ Sistemas de alta resolución

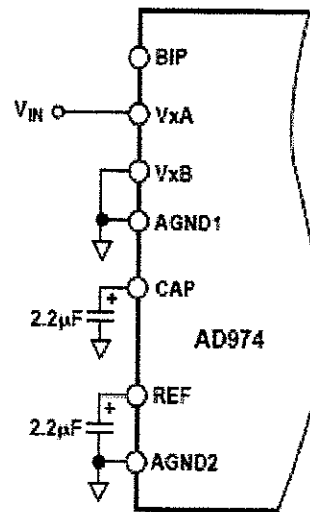
Para los sistemas de adquisición de señales de peso y temperatura, ya sea ambiental o cutánea, se seleccionó el conversor analógico-digital AD974 de la compañía ANALOG DEVICES; este conversor de cuatro canales de entrada, ofrece una resolución de 16 Bits, con alrededor de 200 Kilo muestras por segundo; además, permite realizar múltiples configuraciones para seleccionar diversos rangos de entrada de voltaje (0 V a +4 V, 0 V a +5 V y -10 V a +10 V). En el caso particular de los sistemas de temperatura y peso, se seleccionó la configuración indicada según el fabricante para el rango de 0 V a +5 V. Las siguientes figuras, muestran el diagrama de bloques funcionales del conversor, en donde se observa el sistema multiplexor de los cuatro canales de entrada; y la configuración del rango seleccionado, respectivamente.

Figura 105. Diagrama de Bloques Funcionales del AD974



Tomada de: <http://www.analog.com>. Obtenido de Internet el 18 de Enero de 2006. 2:10 p.m.

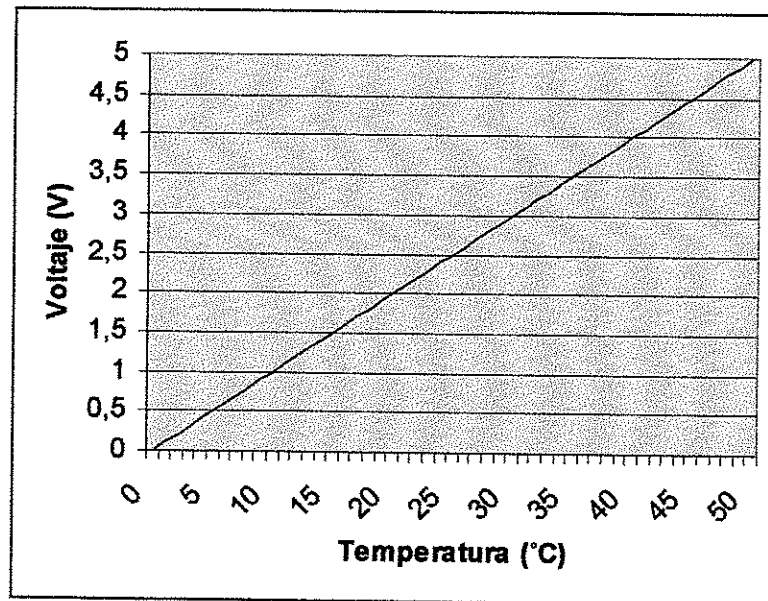
Figura 106. Conexiones Básicas para la configuración 0 V a +5 V del AD974



Tomada de: <http://www.analog.com>. Obtenido de Internet el 18 de Enero de 2006. 2:10 p.m.

Para el proceso de temperatura, ya sea cutánea o ambiental, es necesario considerar un rango de 0 °C a 50 °C, con variaciones de 0.1 °C; la siguiente figura, presenta una señal de temperatura que varía en este rango y se adapta a un sistema de acondicionamiento, que genera una salida de 0 V a 5 V.

Figura 107. Acondicionamiento Inicial para el Sistema Conversor asociado a Temperatura

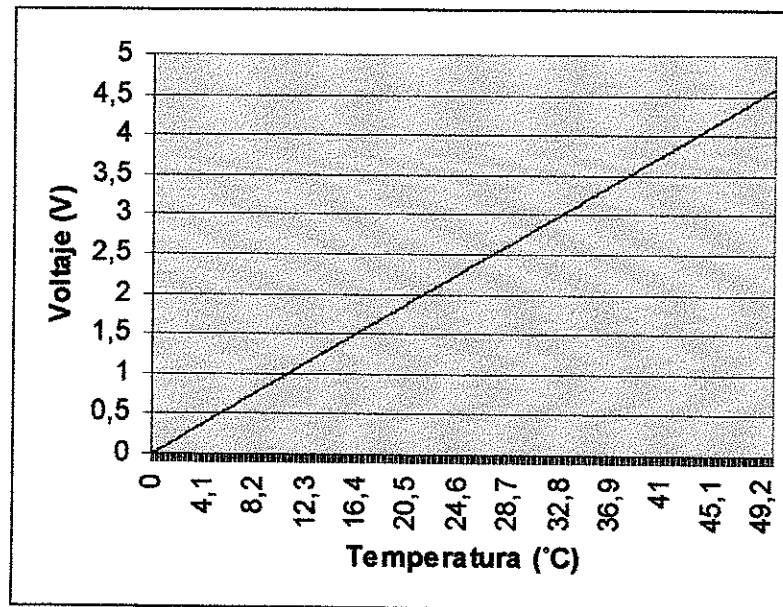


De lo anterior se puede deducir que se deben considerar 500 ventanas de datos dentro del rango, cada una de 0.1 °C. La resolución del conversor teniendo en cuenta el número de bits, estará dada entonces por:

$$Resolucion = \frac{V_{ref}}{2^n} = \frac{5V}{2^{16}} = 76,29 \frac{\mu V}{Bit}$$

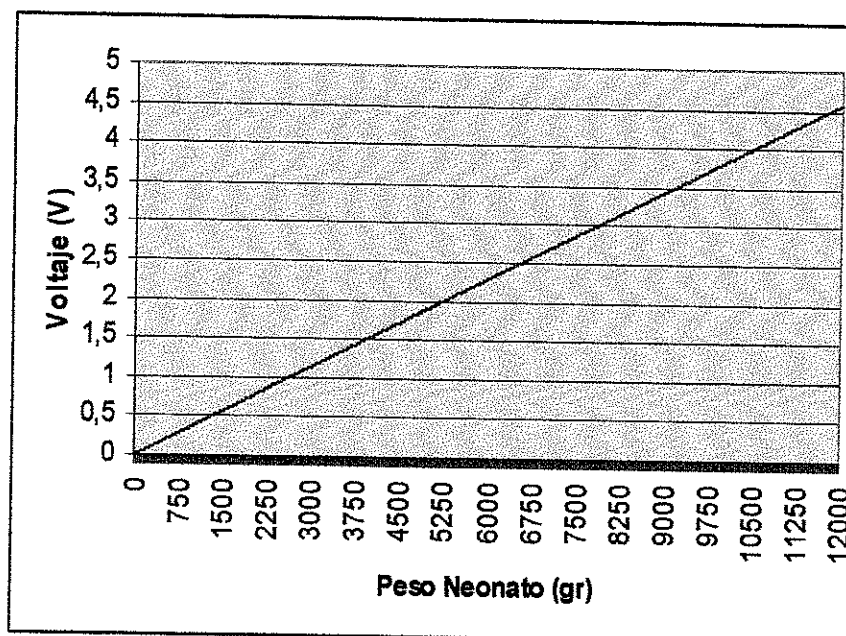
Se sabe que el dato máximo considerado con un conversor análogo-digital de 16 Bits, es 65535 en decimal; si se considera un dato de 60000, como valor equivalente a 50 °C y a su vez equivalente a 4,57 V; se puede deducir que cada 0.1 °C equivalen a un dato de 120 decimal, correspondiente a 9,154 mV. Lo anterior nos permite obtener una relación grafica de los datos de temperatura, con relación al voltaje de entrada del conversor análogo-digital; quedando una ventana de 0,43 V para indicar saturaciones en el sistema, y para facilitar el procesamiento de los datos.

Figura 108. Acondicionamiento Final para el Sistema Conversor asociado a Temperatura



Para el proceso de medición de peso del neonato, se realiza un procedimiento similar; considerando un rango de 0 gr a 12000 gr, con variaciones de 5 gr; si se considera un dato de 60000, como valor equivalente a 12000 gr, y a su vez equivalente a 4,57 V; se puede deducir que cada 5 gr equivalen a un dato de 25 decimal, correspondiente a 1,907 mV. Lo anterior nos permite obtener una relación grafica de los datos del peso del neonato, con relación al voltaje de entrada del conversor análogo-digital; quedando nuevamente una ventana de 0,43 V para indicar saturaciones en el sistema, y para facilitar el procesamiento de los datos. La siguiente figura, presenta una señal de peso que varía en el rango indicado y se adapta a un sistema de acondicionamiento que genera una salida equivalente de 0 V a 4,57 V.

Figura 109. Acondicionamiento Final para el Sistema Conversor asociado al Peso Neonatal



➤ Sistema de resolución media

Para el sistema de humedad relativa, se seleccionó el conversor análogo-digital que viene integrado en el microcontrolador MC68HC08GP32 de Motorola; este dispositivo, posee 8 canales de conversión análogo-digital, cada uno de ellos de 8 bits de resolución y un tiempo de conversión de aproximadamente 20µseg. Para el uso de esta herramienta, es necesario configurar tres registros propios del módulo de conversión análogo-digital (ADSCR, ADCLK y ADR). El registro ADSCR, determina el canal de conversión a utilizar e indica cuando se ha realizado una conversión completa; adicionalmente, permite realizar la configuración de los sistemas de interrupción y operación en modo continuo del conversor. El registro ADCLK, sirve para seleccionar y escalar el reloj utilizado en la conversión, con esta opción se puede seleccionar entre un reloj externo (en donde la frecuencia de operación esta dada por el cristal asociado al sistema), y uno interno (configurado a través de un algoritmo, programado previamente en el microcontrolador); para la aplicación enfocada a la medición de humedad relativa, se seleccionó un reloj interno, con operación del conversor en modo simple y desactivación del sistema de interrupción. Por ultimo, se tiene el registro ADR, en el que se almacenan los datos entregados después de una conversión completa; es necesario realizar una revisión del dato presente en este registro después de cada conversión, para conocer el dato digital de la señal captada. A continuación, se muestra un esquema de los tres registros mencionados, en donde se aprecian cada uno de los bits que permiten realizar los procedimientos nombrados anteriormente.

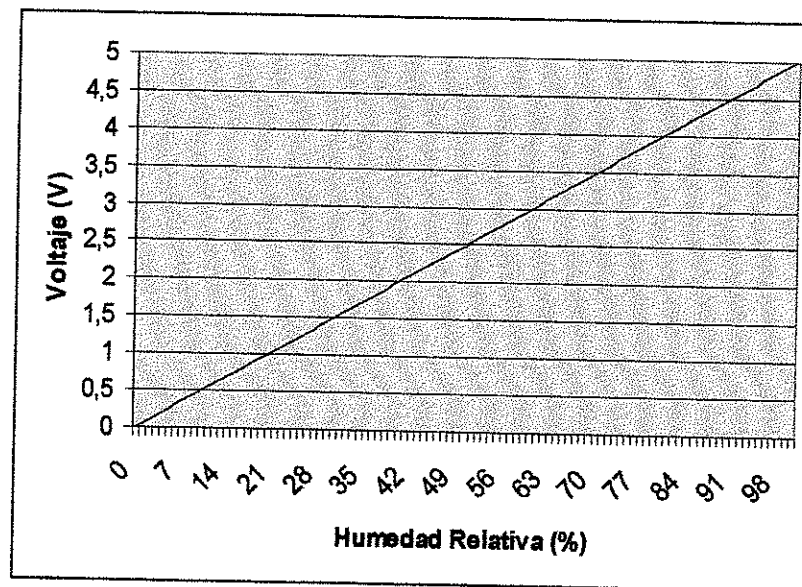
Figura 110. Registros asociados al módulo de conversión analoga-digital de los microcontroladores Motorola CPU-08

	Bit 7	6	5	4	3	2	1	Bit 0
ADSCR	Read:	ADIV2	ADIV1	ADIV0	ADICLK	0	0	0
	Write:							
	Reset:	0	0	0	0	0	0	0
		= Unimplemented						
	Bit 7	6	5	4	3	2	1	Bit 0
ADR	Read:	AD7	AD6	AD5	AD4	AD3	AD2	AD1
	Write:							
	Reset:	0	0	0	0	0	0	0
		= Unimplemented						
	Bit 7	6	5	4	3	2	1	Bit 0
ADCLK	Read:	COCO	AIEN	ADCO	ADCH4	ADCH3	ADCH2	ADCH1
	Write:							
	Reset:	0	0	0	1	1	1	1

Fuente. Tomado de la hoja de especificaciones técnicas del microcontrolador MC68HC08GP32

Para el proceso de humedad relativa, se consideró un rango de 0 % al 100 %, con variaciones de 1 %; la siguiente figura, muestra una señal de humedad, que varía en este rango y se adapta a un sistema de acondicionamiento que genera una salida entre 0 V y 5 V.

Figura 111. Acondicionamiento Inicial para el Sistema Conversor asociado a Humedad Relativa

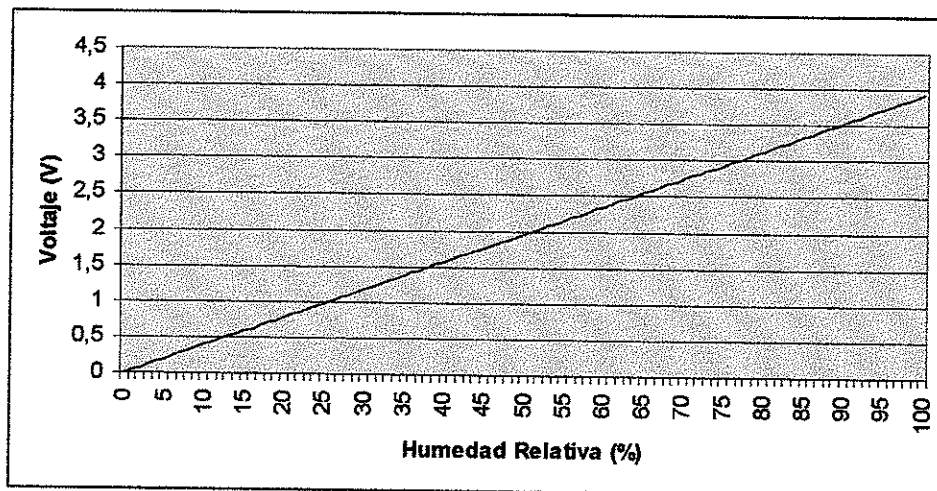


Se puede deducir entonces, que se deben considerar 100 ventanas de datos dentro del rango, cada una de 1 %. La resolución del conversor teniendo en cuenta el número de bits, estará dada por:

$$Resolucion = \frac{V_{ref}}{2^n} = \frac{5V}{2^8} \cong 19,6 \frac{mV}{Bit}$$

Si se consideran, el dato máximo proporcionado por el conversor de 8 bits (255 en decimal), y el dato máximo del rango de humedad relativa (100%), se obtendría una variación de 2,55 bits por cada 1 % de humedad. Para ajustar este parámetro a cifras enteras, se consideró una salida de 3,92 V para el 100 % de humedad; por tanto, se obtiene un valor de 39,2 mV por cada 1 %, equivalente a dos bits del dato digital. Estos datos, nos permiten obtener una relación grafica de los valores de humedad, con relación al voltaje de entrada del conversor análogo-digital; quedando una ventana de 1,08 V para indicar saturaciones en el sistema, y para facilitar el procesamiento de los datos.

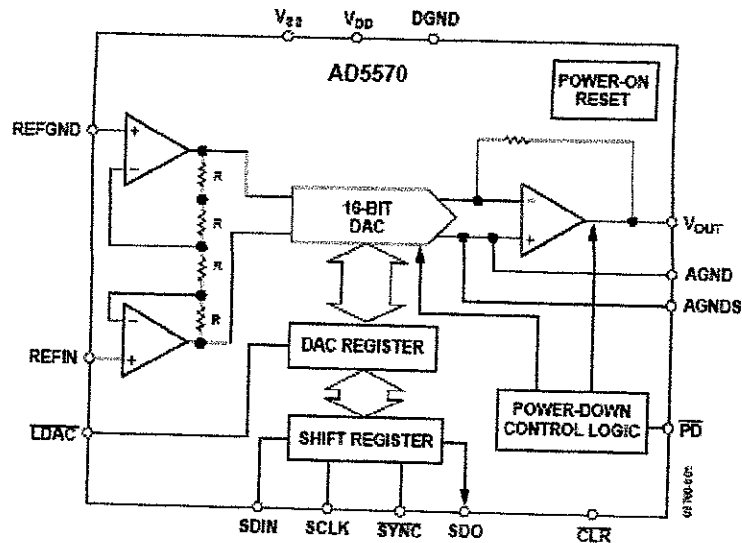
Figura 112. Acondicionamiento Final para el Sistema Conversor asociado a Humedad Relativa



⇒ Conversión Digital-análoga

Los sistemas control de temperatura y humedad, requieren de un dispositivo que enlace la etapa de procesamiento con la instrumentación del proceso para poder actuar sobre las variables del sistema; cumpliendo con este requerimiento, se seleccionó el conversor digital-análogo AD5570 de la compañía ANALOG DEVICES; este conversor, ofrece una resolución de 16 bits, alcanzando rangos de hasta ± 14 V de salida; además, es ampliamente utilizado en procesos de control, automatización y sistemas de adquisición de datos. A continuación se presenta el diagrama de bloques funcionales del conversor mencionado.

Figura 113. Diagrama de Bloques Funcionales del AD5570



Fuente: <http://www.analog.com>. Obtenido de Internet el 18 de Enero de 2006. 2:10 p.m.

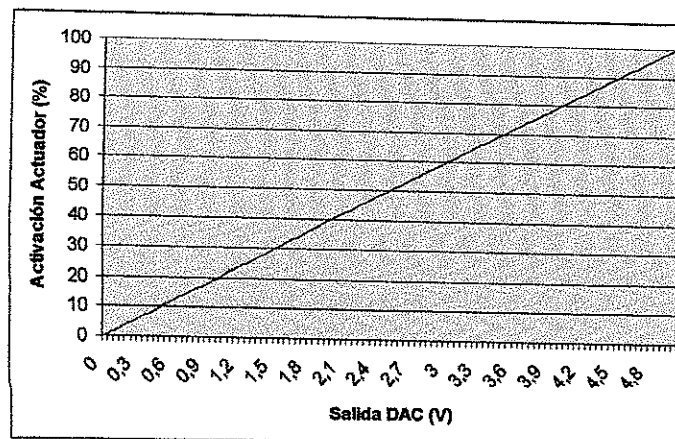
El AD5570 opera con una referencia externa que puede ser de hasta 7 V; según el fabricante del dispositivo, la función que representa el voltaje de salida se define como:

$$V_{OUT} = -2V_{REFIN} + 4xV_{REFIN} [D/65536]$$

En donde D es el dato equivalente al código cargado en el DAC.

Para los procesos de temperatura y humedad, se seleccionó una ventana de operación del DAC, que va desde 0V hasta 5V, equivalentes a una respuesta del actuador del 0% al 100%. La siguiente figura, representa la equivalencia entre el dato entregado por el DAC, y el porcentaje de activación del actuador de la variable a considerar.

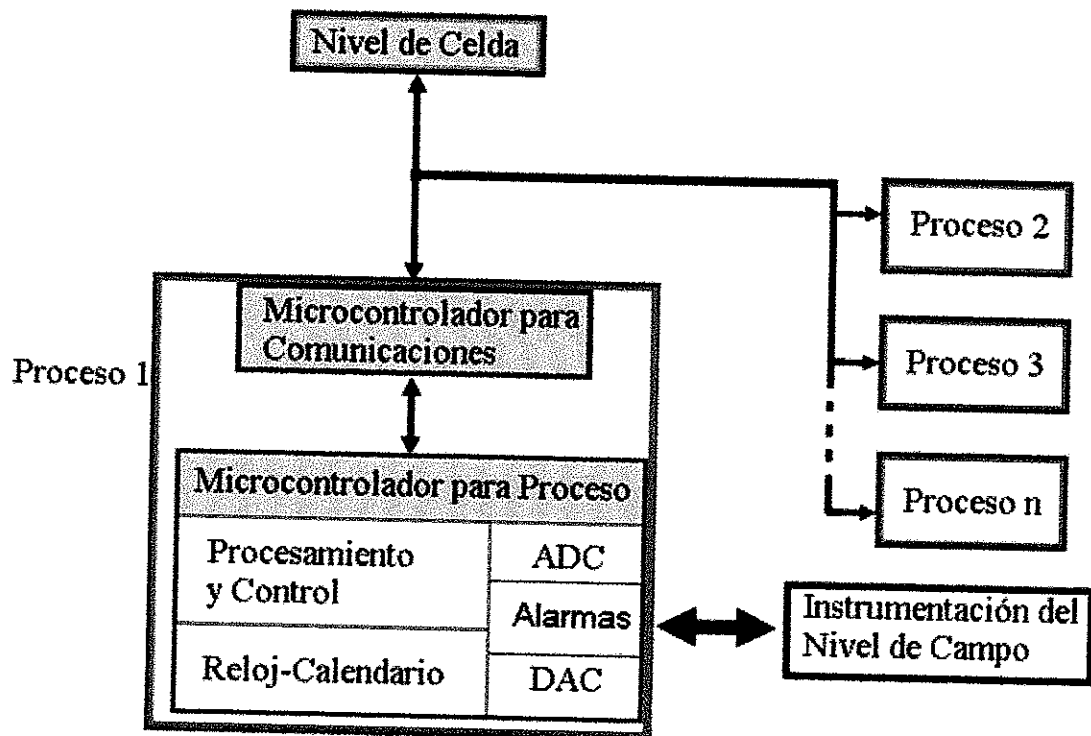
Figura 114. Relación de la salida del AD5570, con el porcentaje de utilización de los sistemas actuadores.



5.2.3 Módulos de proceso (Nivel de proceso)

En este nivel de la pirámide de automatización CIM, se encuentran los sistemas que gobiernan los diferentes procesos de adquisición y control, vinculados a variables físicas. Cada uno de los procesos (Temperatura, Humedad, Peso, etc), está atendido por una tarjeta genérica que recibe el nombre de **módulo de proceso genérico "VSC Process ref. P001"**. El diagrama de este módulo, se presenta en la siguiente figura; consta principalmente de dos microcontroladores, uno orientado a las comunicaciones con los niveles superiores de la pirámide de automatización (Nivel de celda); y un segundo microcontrolador, que realiza los procedimientos de adquisición, reconocimiento de alarmas y control, asociados al nivel de campo de la pirámide CIM. Adicionalmente, los microcontroladores se comunican entre sí, y gobiernan el funcionamiento de múltiples dispositivos asociados al sistema.

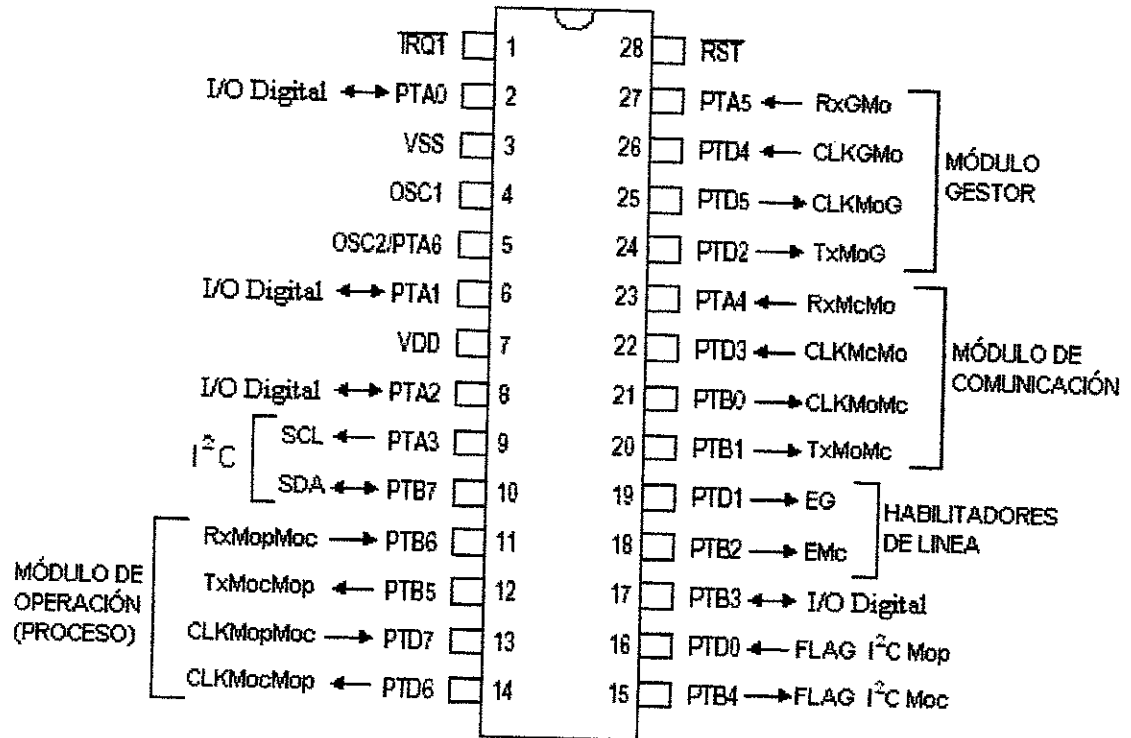
Figura 115. Diagrama del modulo de proceso genérico "VSC Process ref. P001"



5.2.3.1 Microcontrolador Orientado a las Comunicaciones

En el siguiente diagrama, se muestra la distribución de pines del microcontrolador MC68HC908JL3, encargado de comunicar los datos entre el proceso y el nivel de celda de la pirámide CIM.

Figura 116. Distribución y asignación de pines del microcontrolador orientado a las comunicaciones en el nivel de proceso



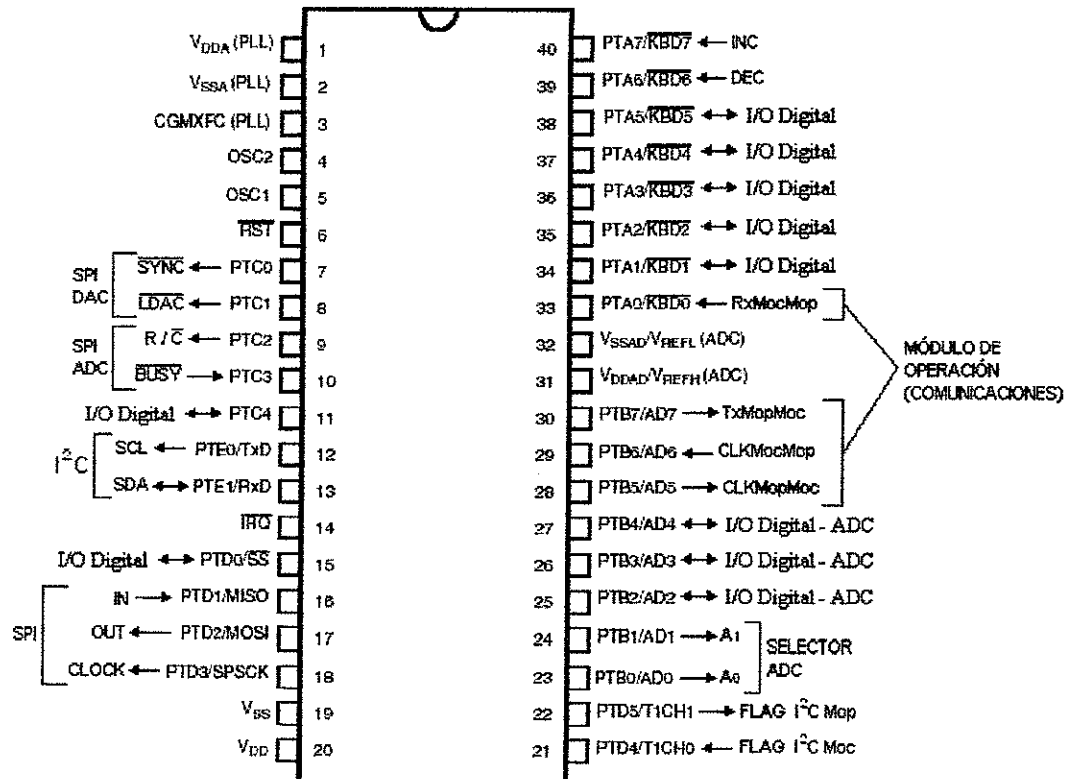
Se observan cinco grupos asociados de pines, que realizan diferentes tareas de comunicación. El primero de estos grupos se etiqueta con el nombre “Módulo Gestor”, compuesto por los pines PTA5, PTD2, PTD4 y PTD5, y que está encargado de comunicar el estado del proceso con el nivel de celda; se observa un segundo grupo, etiquetado como “Módulo de operación (Proceso)”, compuesto por los pines PTB5, PTB6, PTD6 y PTD7, el cual, intercambia datos con el microcontrolador de proceso. Adicionalmente se muestra el grupo denominado “Módulo de Comunicación”, (pines PTB0, PTB1, PTA4 y PTB3), que presenta un canal auxiliar de descarga de información hacia el nivel de celda. Como cuarto grupo, tenemos la etiqueta I²C (PTA3, PTB7), que asociada a los pines PTD0 y PTB4, realiza un proceso de descarga de información con un sistema de memoria-calendario, permitiendo almacenar el estado del equipo y sus variables en una memoria con comunicación I²C, compartida con el microcontrolador de proceso, considerando la fecha y hora de ocurrencia de los diferentes eventos sucedidos en el módulo, con posibilidad de expansión de hasta 2Mbits.

Los diferentes procesos que están involucrados en el sistema (Temperatura, Humedad, Peso, etc.), comparten el mismo medio de comunicación; por tanto, cada uno de los módulos de proceso, contiene compuertas de tercer estado para permitir el acceso de un módulo, sin generar conflicto con otro, permitiendo la posibilidad de expansión de múltiples módulos, orientados a diversas tareas.

5.2.3.2 Microcontrolador Orientado al Proceso

El dispositivo mostrado en la siguiente figura, corresponde a un microcontrolador MC68HC908GP32, que se encarga de interactuar con el nivel de campo y de realizar la comunicación de los datos con el microcontrolador orientado a las comunicaciones del nivel de proceso.

Figura 117. Distribución y asignación de pines del microcontrolador orientado al proceso



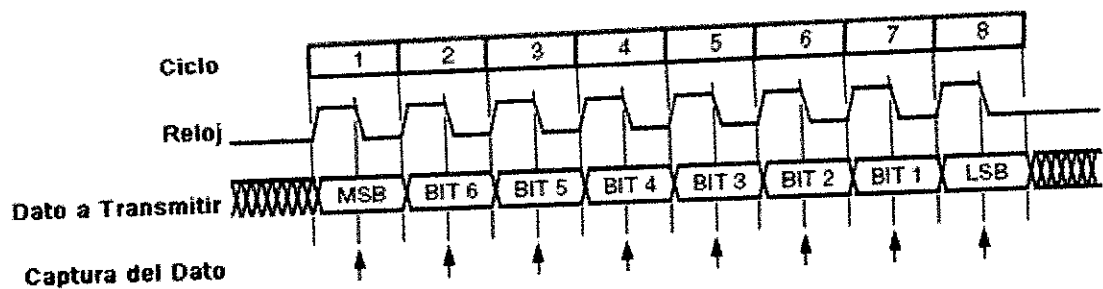
Este microcontrolador efectúa diversas tareas, descritas a continuación:

⇒ Comunicaciones

En la etapa de proceso, se encuentran diversos dispositivos, que utilizan protocolos de comunicación predefinidos para realizar las tareas que tienen propuestas; este es el caso de los conversores análogo-digital y digital-análogo de 16 bits, que utilizan comunicación SPI (Serial Peripheral Interface), para intercambiar datos con el microcontrolador; de igual forma, dentro de esta etapa, se encuentra un canal reservado para dispositivos que manejen protocolo I²C. Además, entre los microcontroladores del sistema se realiza una comunicación de tipo sincrónico, que cumple con el formato presentado a continuación. En esta comunicación, cada microcontrolador maneja una línea de reloj, que sincroniza los datos a transmitir.

Las comunicaciones SPI, son de tipo síncrono; esto quiere decir, que poseen una línea de reloj que coordina la transferencia de los datos. En este tipo de comunicación, se cuenta con un dispositivo maestro y uno o varios esclavos; adicionalmente, se necesitan líneas de habilitación para cada uno de los dispositivos controlados por el maestro, ya que se comparten las líneas de transmisión, recepción y reloj.

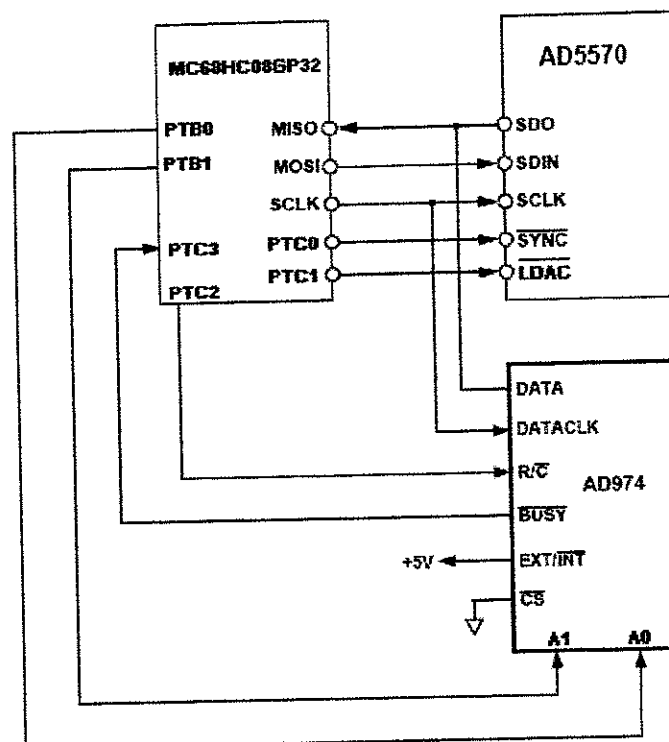
Figura 118. Formato de los datos a transmitir en la comunicación entre microcontroladores



Fuente. Adaptada de la hoja de especificaciones técnicas del microcontrolador MC68HC08GP32

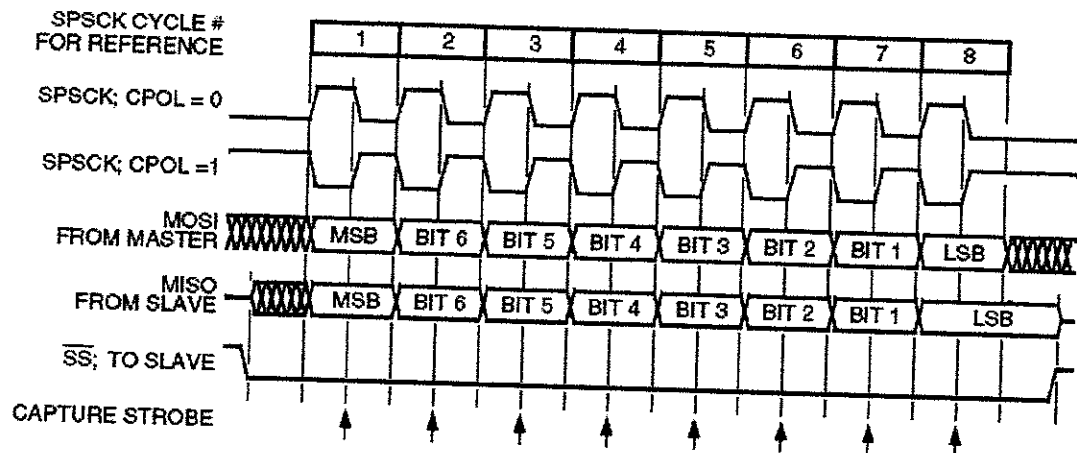
Para la comunicación entre los conversores digital-análogo, análogo-digital y el microcontrolador, fue necesario realizar las siguientes conexiones, considerando las líneas de habilitación y selección de cada uno de los dispositivos.

Figura 119 Conexiones realizadas entre los conversores AD5570, AD974 y el microcontrolador MC68HC908GP32



El diagrama de tiempos utilizado en la comunicación entre los dispositivos SPI, cumple con el formato presentado a continuación. En donde, la línea SPSCCK actúa como reloj, controlando la transferencia de los bits, desde el más significativo, hasta el menos significativo.

Figura 120 Formato de los datos a transmitir en la comunicación SPI

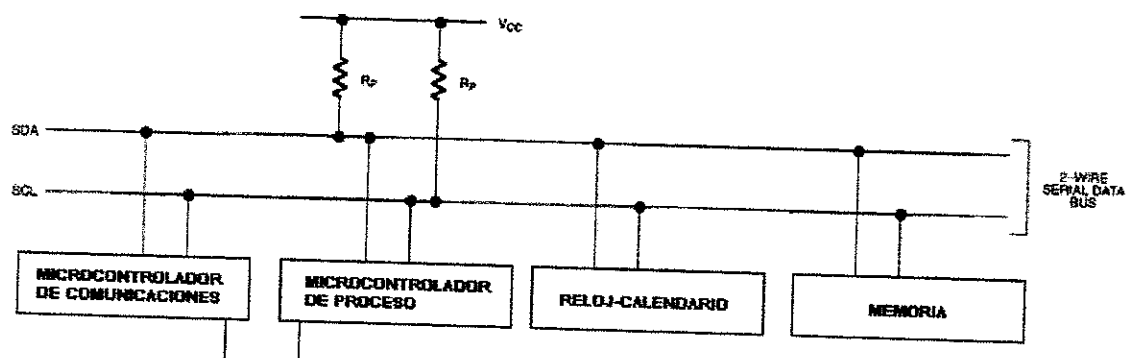


Fuente. Tomado de la hoja de especificaciones técnicas del microcontrolador MC68HC08GP32

Dentro del módulo de proceso, se contempló el protocolo de comunicación I²C, para conectar dispositivos que permitan almacenar los sucesos ocurridos en el módulo y las variables del sistema. Este protocolo, desarrollado por Philips, plantea una comunicación de tipo síncrono, en donde los dispositivos conectados a la línea de comunicación, utilicen únicamente dos líneas para la transferencia de la información.

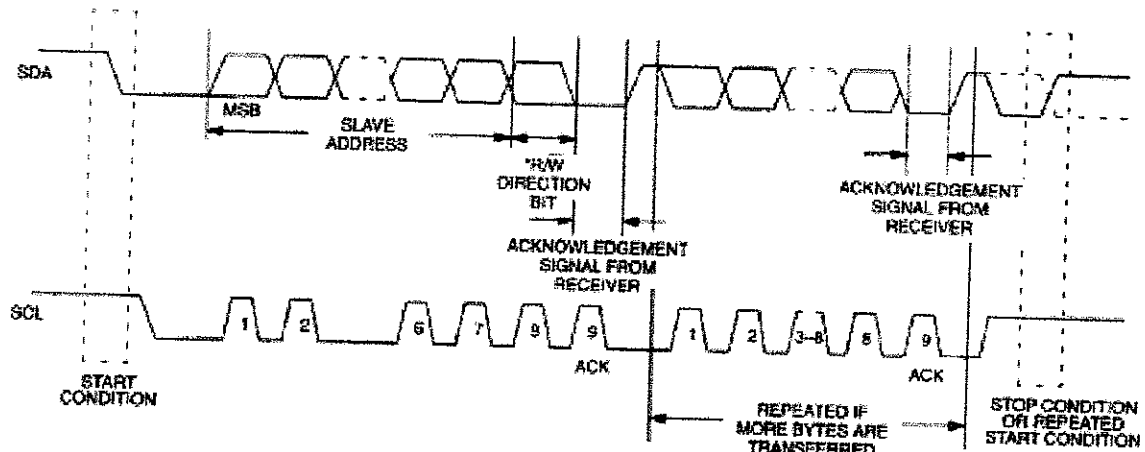
Para esto, se ubicó un reloj-calendario DS1307 (que proporciona los datos de fecha y hora), asociado a una memoria EEPROM 24LC256 de 256kbits; este sistema de almacenamiento de memoria, puede expandirse hasta 2Mbits, conectando 8 memorias al bus. A continuación, se muestra el esquema de comunicación I²C utilizado para el nivel de proceso.

Figura 121 Sistema de comunicación I2C, asociado al nivel de proceso



Entre los microcontroladores de comunicaciones y proceso, una bandera de comunicación, indica si alguno de los dos está accediendo al bus I²C; de esta forma, el sistema no guardará los datos históricos en la memoria, si el otro microcontrolador esta realizando el proceso de lectura. En la siguiente figura, se muestra el sistema de transferencia de datos utilizado para los dispositivos I²C; en este esquema, se aprecian dos líneas de comunicación; la línea SDA, que transporta los datos de forma bidireccional, y la línea SCL, que controla el reloj del sistema.

Figura 122. Transferencia de datos para dispositivos I2C



Tomada de la hoja de especificaciones técnicas del reloj de tiempo real DS1307 de DALLAS Semiconductor

⇒ Procesamiento

En esta etapa del proceso, se realiza una verificación del estado de algunos de los dispositivos involucrados en la instrumentación del sistema (sensores y actuadores). En el proceso de temperatura, se adquieren las señales provenientes de los sensores de ambiente, que son comparadas y promediadas para advertir una posible falla en alguno de los dispositivos. Así mismo, se adquieren las señales que informan al sistema del consumo de potencia por parte de los actuadores. Todos estos datos, son almacenados en posiciones de memoria del microcontrolador, para luego ser transmitidos a los niveles superiores, según lo soliciten los sistemas de monitoreo en el nivel de negocio.

⇒ Control

Para comprender el comportamiento de un sistema, es necesario obtener un modelamiento matemático del mismo. La función de transferencia de la planta se halló por curva de reacción, que consiste en determinar un valor de la variable manipulada, igual o mayor al 63% de su valor final, para encontrar la constante de tiempo del proceso, el tiempo de respuesta y la dinámica del sistema.

Teniendo en cuenta el rango de operación deseado con condiciones iniciales $t=0$ y un $T=26^{\circ}\text{C}$, hasta un máximo de $T=50^{\circ}\text{C}$, se observó que se trata de un sistema de primer orden como se ilustra en el diagrama.

Figura 123 Función de transferencia

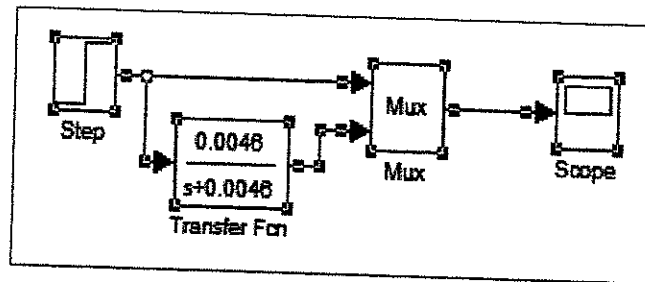
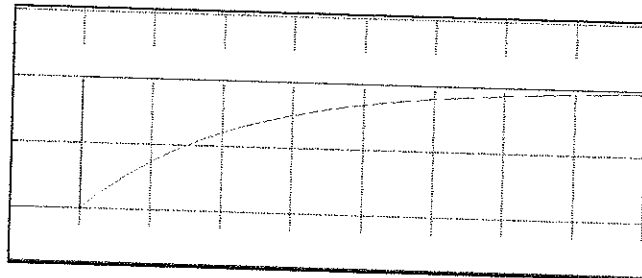


Figura 124 Respuesta del sistema

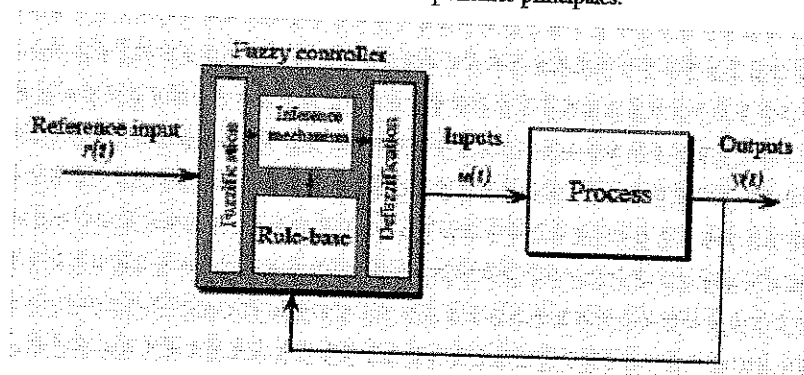


En el sistema se requiere mantener un valor estable de temperatura, dado por la referencia, que se puede modificar en un rango de oscilación entre [0-50] grados Celsius. Una de las partes más importantes de un sistema de control es su controlador; el sistema controlador opera sobre los actuadores, modificando la temperatura y regulándola según la referencia indicada; generando una respuesta adecuada frente a las perturbaciones (en condiciones normales de trabajo) que se puedan presentar.

➤ Controlador Difuso

Una estrategia muy utilizada en los sistemas modernos, es el control difuso; los controladores difusos heredan de la teoría de control convencional, la idea de incluir elementos proporcionales, integrales y derivativos, que optimizan el desempeño del sistema a controlar.

Figura 125 Estructura de un controlador difuso con sus cuatro componentes principales.

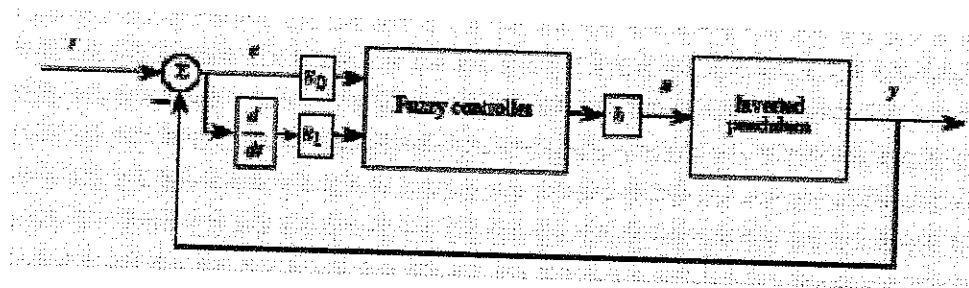


El primer bloque de este controlador es la fuzzificación, que transforma las variables de entrada en valores difusos. El siguiente bloque esta compuesto por las reglas base, donde se calcula la influencia de cada una de ellas en las decisiones finales. Por ultimo, el bloque de defuzzyficación, halla una salida de tipo único o numérico, con relación a una entrada proveniente del mecanismo de inferencia, que está indeterminada o imprecisa.

El control de las variables temperatura y humedad de la cámara de incubación aplica un controlador difuso, para el cual se tienen en cuenta dos elementos: el proporcional y el derivativo; donde los antecedentes de las reglas combinan los valores del error y la variación del error respectivamente:

$$u(nT) = F(e(nT), \Sigma e(nT))$$

Figura 126 Esquema del sistema de control difuso.



Como herramienta de diseño del controlador difuso se ha utilizado el software Matlab 6.5 y su toolbox de fuzzy logic.

En el diseño de un controlador difuso primero se definen las entradas y salidas al controlador difuso. En nuestro caso las entradas son el error en la referencia de temperatura y la derivada el error con respecto al tiempo. El error esta dado por $e(t) = r(t) - s(t)$, donde r es la temperatura deseada del sistema o temperatura de referencia y s es la temperatura del sensor. La derivada del error o variación del error es, $\frac{de(t)}{dt} = \frac{d(r(t) - s(t))}{dt}$, note que el error y su derivada son funciones del tiempo. En resumen, el controlador difuso recibe el error $e(t)$ y su variación $\frac{de(t)}{dt}$ y produce como salida la señal que se le aplica al actuador térmico $y(t)$,

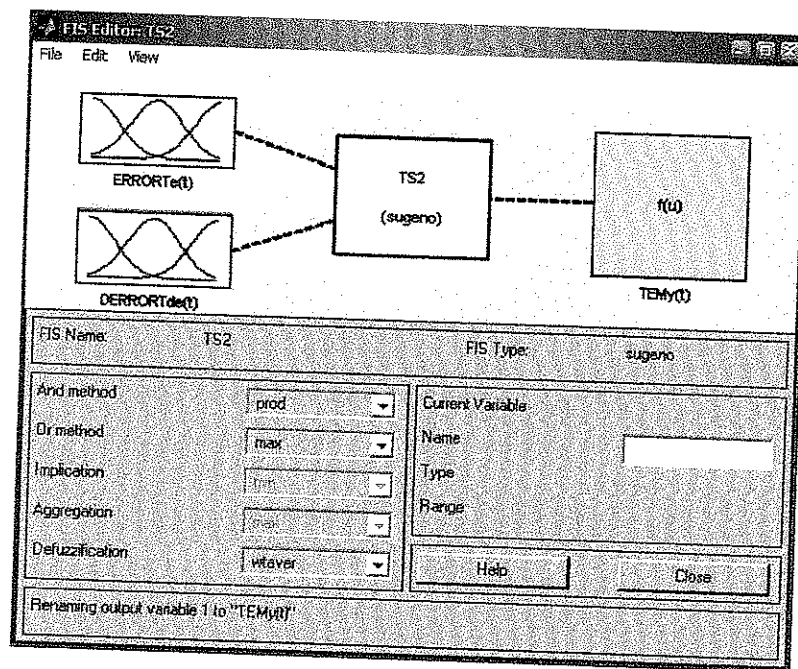
Se definen las variables lingüísticas y sus correspondientes valores lingüísticos. Las variables lingüísticas que manejan el controlador difuso son:

- Entrada
- Error: Describe $e(t)$.
- Variación en el error: Describe $\frac{de(t)}{dt}$.

- Salida
- Temperatura: Describe $y(t)$.

El editor FIS de la siguiente Figura, muestra de manera general la información acerca del sistema difuso. En la parte superior izquierda se indican las variables difusas de entrada (iconos amarillos), y en la parte derecha se muestran las variables de salida (icono azul). Las funciones de membresía mostradas en las cajas o iconos no muestran la función de membresía como tal, sino únicamente son una representación de estas para indicar su existencia. Debajo de esto, en el icono color blanco se indica el nombre del sistema y el método de inferencia (Sugeno). En la parte inferior izquierda se muestra un menú de opciones que ayuda a ajustar la función de inferencia, dichos campos son modificados por el usuario. En la parte inferior derecha se indica el nombre de la variable de entrada o salida, esto con relación a la función de membresía.

Figura 127 Variables lingüísticas de entrada y salida



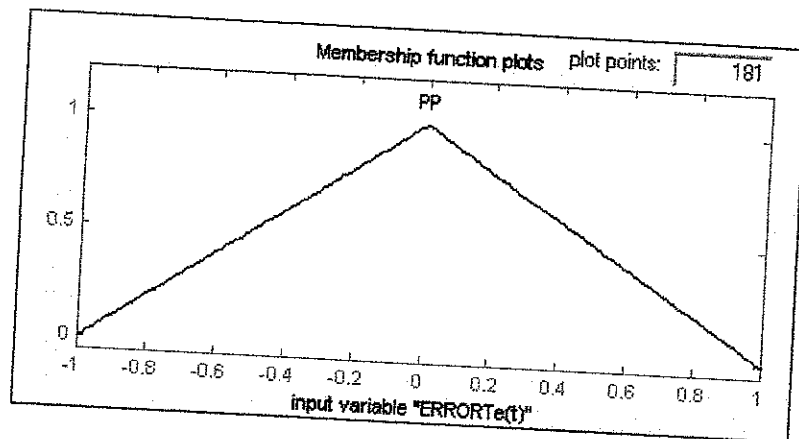
Cada una de estas variables toma los valores lingüísticos, en este caso se han definido siete valores lingüísticos teniendo en cuenta las características del sistema y la eficiencia del mismo.

NG: Negativo Grande
 NM: Negativo Mediano
 NP: Negativo Pequeño
 C: Cero
 PP: Positivo Pequeño
 PM: Positivo Mediano
 PG: Positivo Grande

$$e(t) = \begin{Bmatrix} NG \\ NM \\ NP \\ C \\ PP \\ PM \\ PG \end{Bmatrix} \quad \frac{de(t)}{dt} = \begin{Bmatrix} NG \\ NM \\ NP \\ C \\ PP \\ PM \\ PG \end{Bmatrix} \quad y(t) = \begin{Bmatrix} NG \\ NM \\ NP \\ C \\ PP \\ PM \\ PG \end{Bmatrix}$$

Luego se aplica la lógica difusa para cuantificar las descripciones lingüísticas. Para cada valor lingüístico correspondiente a una variable lingüística se define una función de pertenencia, esto cuantifica el valor lingüístico. Las funciones de pertenencia cuantifican el significado de proposiciones lingüísticas que describen señales variables en el tiempo. Considere la función de pertenencia de la siguiente figura para el valor lingüístico PP. La función de pertenencia cuantifica la certeza que el error $e(t)$ se pueda clasificar lingüísticamente como Positivo Pequeño.

Figura 128 Función de Pertenencia de PP



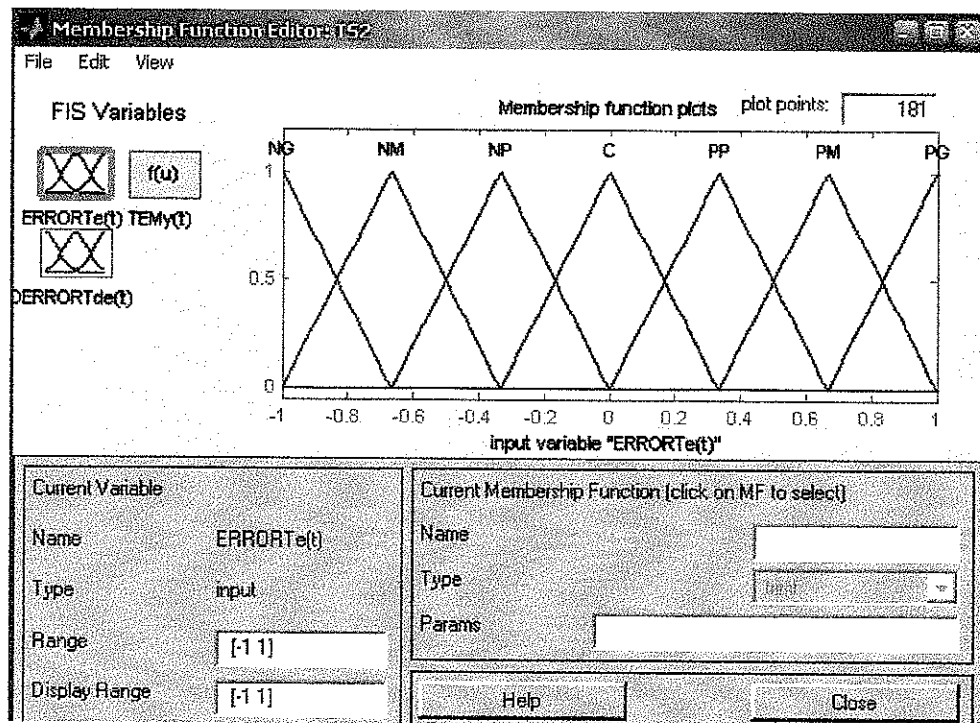
La función de pertenencia determina (y cuantifica) de manera continua si los valores de $e(t)$ pertenecen al conjunto PP y además cuantifica la proposición lingüística “el error es PP”. Note que la función de pertenencia mostrada es solo una definición posible del significado de “el error es PP”, es posible utilizar otros tipos de funciones como campana o trapezoide. Ahora tenemos que definir las funciones de pertenencia, una por valor lingüístico $e(t)$, $de(t)/dt$, y una salida $y(t)$.

El editor de las funciones de membresía despliega y permite editar las funciones de membresía asociadas con las variables de entrada y salida. En la siguiente figura se muestra la interfase del editor de funciones de membresía para las siete funciones de pertenencia tanto para la variable lingüística del error como para la variable lingüística de la derivada del error.

En la parte superior izquierda se muestran las variables del FIS, las cuales son conjuntos de funciones de membresía. Cada conjunto se conforma por el tipo de función de membresía y el número de funciones de membresía de cada variable. En la parte inferior izquierda se muestran los controles que permiten modificar el nombre, tipo y la forma de cada función de membresía. Una vez seleccionadas las funciones de membresía para cada variable, estas son desplegadas en la gráfica. En la parte inferior izquierda se cuenta con la información acerca de la variable que se este editando. En los campos de texto se indica el rango del universo en discurso y posteriormente se mostrará en la gráfica de la variable.

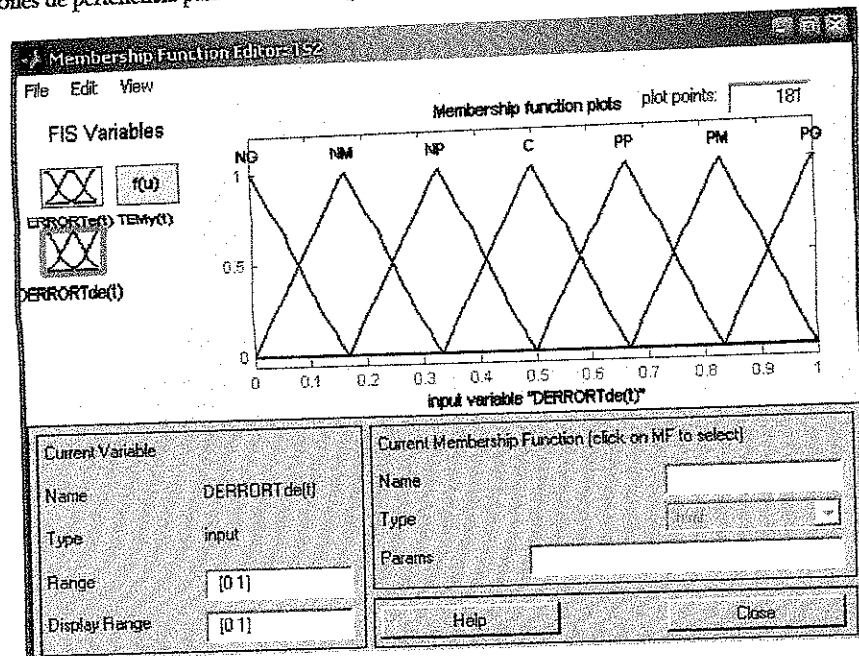
En la figura 129, en la parte superior izquierda se muestran las variables del FIS y en la parte superior derecha la función de membresía correspondiente al *ciclo de trabajo*. Obsérvese que se compone de siete clusters las cuales son funciones de tipo triangular.

Figura 129 Funciones de pertenencia para la variable lingüística del error



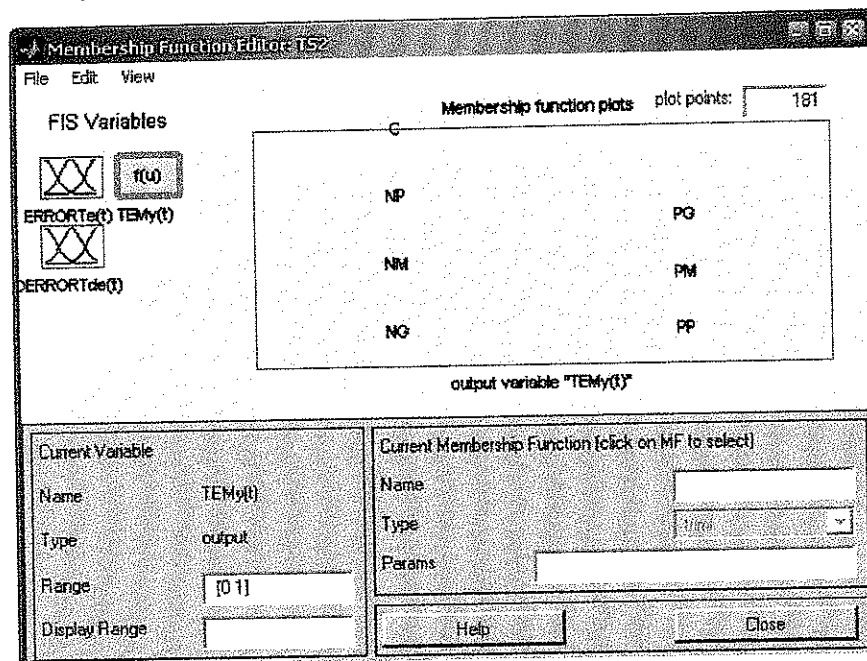
Cuando el error $e(t)$ cambia su valor en el tiempo, varias funciones de pertenencia toman valores indicando el grado en el cual el valor lingüístico describe apropiadamente el valor de $e(t)$. Por ejemplo, cuando $e(t) = -1$ estamos seguros que es NG y al moverse hacia -0.8 pasa a ser NM.

Figura 130 Funciones de pertenencia para la variable lingüística de derror



A continuación se muestran las funciones de pertenencia de la variable de salida $y(t)$, el sistema de inferencia elegido es el SUGENO, el cual se caracteriza por definir a la salida funciones de pertenencia singleton como se observa en la siguiente figura.

Figura 131 Funciones de pertenencia de la variable de salida



Luego se formula la estrategia de control del sistema por medio de un grupo de reglas.

Las reglas lingüísticas dependen de variables lingüísticas y valores lingüísticos. Como los valores lingüísticos no son representaciones exactas de las cantidades que describen, las reglas lingüísticas tampoco son precisas, son ideas, son abstracciones con las cuales se formula el control de la planta en cuestión, la formula general de las reglas lingüísticas es,

IF *premisa* **THEN** *consecuencias*.

Las premisas o antecedentes están asociados con las entradas al controlador difuso y se localizan en la parte izquierda de las reglas. Las consecuencias o acciones están asociadas con las salidas del controlador difuso y se localizan en la parte derecha de las reglas. Note que las premisas y las acciones pueden tener varios términos. En nuestro problema, hay dos entradas y siete valores lingüísticos para cada una, por lo tanto podemos definir 49 reglas, que se muestran a continuación:

1. Si $e(t)$ es NG y $\frac{de(t)}{dt}$ es NG entonces $y(t)$ es NG.
2. Si $e(t)$ es NG y $\frac{de(t)}{dt}$ es NM entonces $y(t)$ es NG.
3. Si $e(t)$ es NG y $\frac{de(t)}{dt}$ es NP entonces $y(t)$ es NG.
4. Si $e(t)$ es NG y $\frac{de(t)}{dt}$ es C entonces $y(t)$ es NM.
5. Si $e(t)$ es NG y $\frac{de(t)}{dt}$ es PP entonces $y(t)$ es NM.
6. Si $e(t)$ es NG y $\frac{de(t)}{dt}$ es PM entonces $y(t)$ es NP.
7. Si $e(t)$ es NG y $\frac{de(t)}{dt}$ es PG entonces $y(t)$ es C.
8. Si $e(t)$ es NM y $\frac{de(t)}{dt}$ es NG entonces $y(t)$ es NG.
9. Si $e(t)$ es NM y $\frac{de(t)}{dt}$ es NM entonces $y(t)$ es NM.
10. Si $e(t)$ es NM y $\frac{de(t)}{dt}$ es NP entonces $y(t)$ es NM.
11. Si $e(t)$ es NM y $\frac{de(t)}{dt}$ es C entonces $y(t)$ es NP.

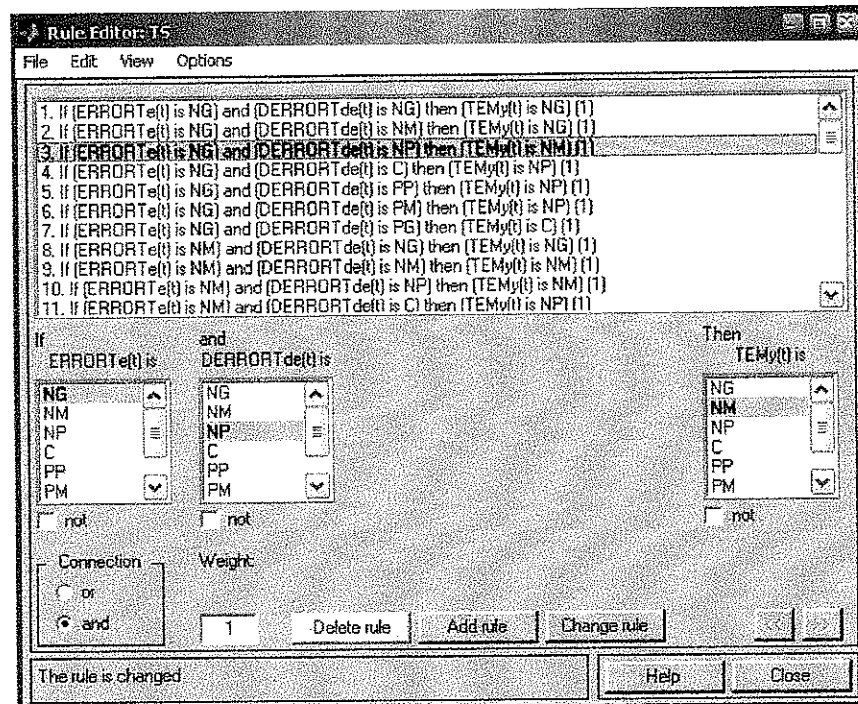
12. Si $e(t)$ es NM y $\frac{de(t)}{dt}$ es PP entonces $y(t)$ es NP.
13. Si $e(t)$ es NM y $\frac{de(t)}{dt}$ es PM entonces $y(t)$ es C.
14. Si $e(t)$ es NM y $\frac{de(t)}{dt}$ es PG entonces $y(t)$ es C.
15. Si $e(t)$ es NP y $\frac{de(t)}{dt}$ es NG entonces $y(t)$ es NG.
16. Si $e(t)$ es NP y $\frac{de(t)}{dt}$ es NM entonces $y(t)$ es NM.
17. Si $e(t)$ es NP y $\frac{de(t)}{dt}$ es NP entonces $y(t)$ es NP.
18. Si $e(t)$ es NP y $\frac{de(t)}{dt}$ es C entonces $y(t)$ es NP.
19. Si $e(t)$ es NP y $\frac{de(t)}{dt}$ es PP entonces $y(t)$ es C.
20. Si $e(t)$ es NP y $\frac{de(t)}{dt}$ es PM entonces $y(t)$ es C.
21. Si $e(t)$ es NP y $\frac{de(t)}{dt}$ es PG entonces $y(t)$ es PM.
22. Si $e(t)$ es C y $\frac{de(t)}{dt}$ es NG entonces $y(t)$ es NG.
23. Si $e(t)$ es C y $\frac{de(t)}{dt}$ es NM entonces $y(t)$ es NM.
24. Si $e(t)$ es C y $\frac{de(t)}{dt}$ es NP entonces $y(t)$ es NP.
25. Si $e(t)$ es C y $\frac{de(t)}{dt}$ es C entonces $y(t)$ es C.
26. Si $e(t)$ es C y $\frac{de(t)}{dt}$ es PP entonces $y(t)$ es PP.
27. Si $e(t)$ es C y $\frac{de(t)}{dt}$ es PM entonces $y(t)$ es PM.

28. Si $e(t)$ es C y $\frac{de(t)}{dt}$ es PG entonces $y(t)$ es PG.
29. Si $e(t)$ es PP y $\frac{de(t)}{dt}$ es NG entonces $y(t)$ es NP.
30. Si $e(t)$ es PP y $\frac{de(t)}{dt}$ es NM entonces $y(t)$ es C.
31. Si $e(t)$ es PP y $\frac{de(t)}{dt}$ es NP entonces $y(t)$ es PP.
32. Si $e(t)$ es PP y $\frac{de(t)}{dt}$ es C entonces $y(t)$ es PM.
33. Si $e(t)$ es PP y $\frac{de(t)}{dt}$ es PP entonces $y(t)$ es PM.
34. Si $e(t)$ es PP y $\frac{de(t)}{dt}$ es PM entonces $y(t)$ es PG.
35. Si $e(t)$ es PP y $\frac{de(t)}{dt}$ es PG entonces $y(t)$ es PG.
36. Si $e(t)$ es PM y $\frac{de(t)}{dt}$ es NG entonces $y(t)$ es NM.
37. Si $e(t)$ es PM y $\frac{de(t)}{dt}$ es NM entonces $y(t)$ es NM.
38. Si $e(t)$ es PM y $\frac{de(t)}{dt}$ es NP entonces $y(t)$ es NP.
39. Si $e(t)$ es PM y $\frac{de(t)}{dt}$ es C entonces $y(t)$ es NP.
40. Si $e(t)$ es PM y $\frac{de(t)}{dt}$ es PP entonces $y(t)$ es C.
41. Si $e(t)$ es PM y $\frac{de(t)}{dt}$ es PM entonces $y(t)$ es PP.
42. Si $e(t)$ es PM y $\frac{de(t)}{dt}$ es PG entonces $y(t)$ es PP.
43. Si $e(t)$ es PG y $\frac{de(t)}{dt}$ es NG entonces $y(t)$ es PM.

44. Si $e(t)$ es PG y $\frac{de(t)}{dt}$ es NM entonces $y(t)$ es PM.
45. Si $e(t)$ es PG y $\frac{de(t)}{dt}$ es NP entonces $y(t)$ es PM.
46. Si $e(t)$ es PG y $\frac{de(t)}{dt}$ es C entonces $y(t)$ es PM.
47. Si $e(t)$ es PG y $\frac{de(t)}{dt}$ es PP entonces $y(t)$ es PG.
48. Si $e(t)$ es PG y $\frac{de(t)}{dt}$ es PM entonces $y(t)$ es PG.
49. Si $e(t)$ es PG y $\frac{de(t)}{dt}$ es PG entonces $y(t)$ es PG.

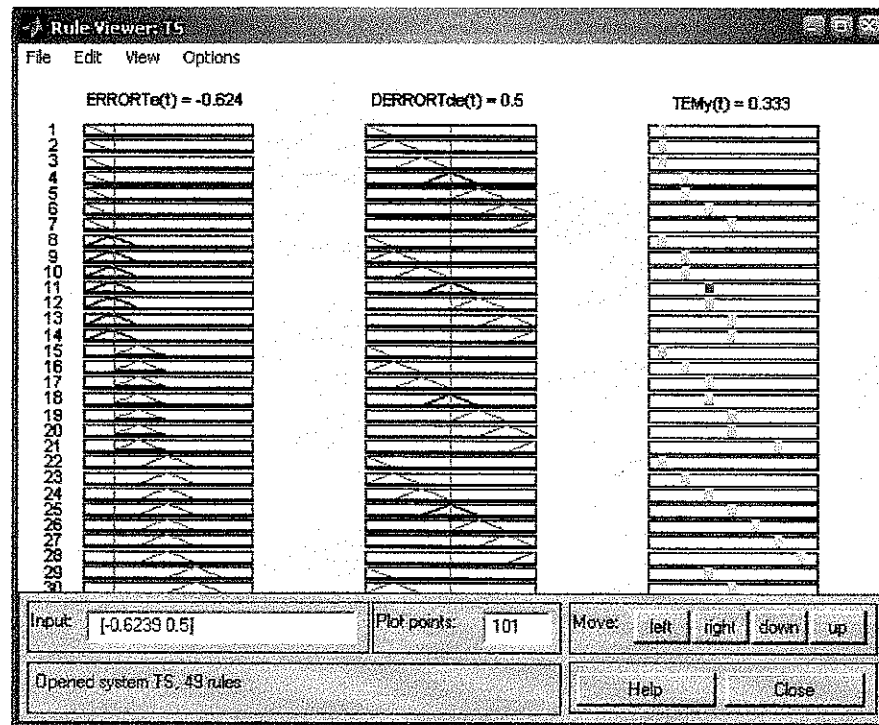
En la siguiente figura se observan las reglas difusas editadas en el programa MatLab 6.5

Figura 132 Reglas Difusas en MatLab



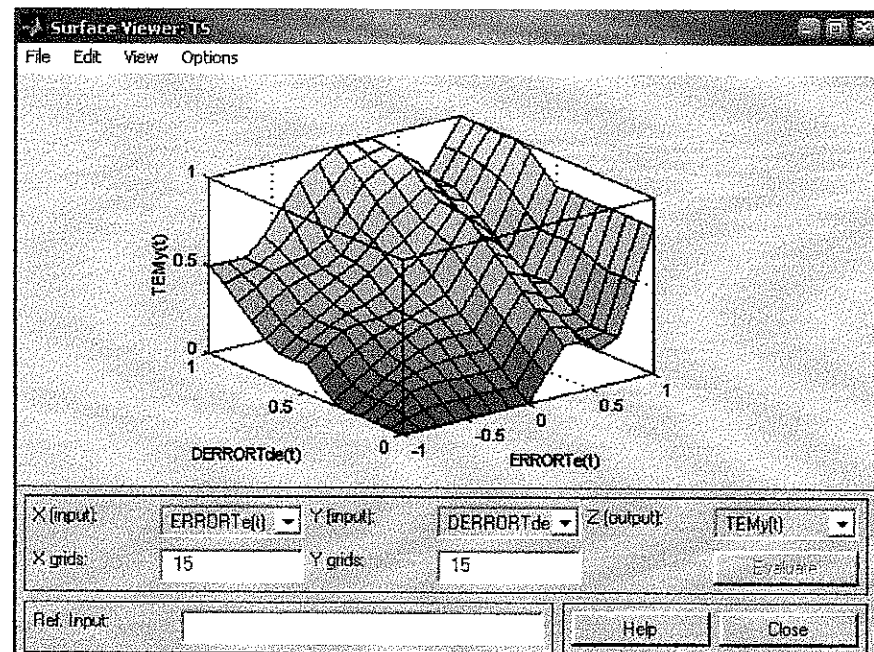
Una vez que el algoritmo de fusificación ha sido desarrollado, el visualizador de reglas que se observa en la siguiente figura es básicamente una visión simplificada del sistema de inferencia difusa, en donde cada operación de cada regla es explicada de forma detallada.

Figura 133 Visor de Reglas



De acuerdo las variables de entrada, las variables de salida y los conjuntos difusos del sistema se puede observar el diagrama de la superficie en 3D que forman dichos elementos.

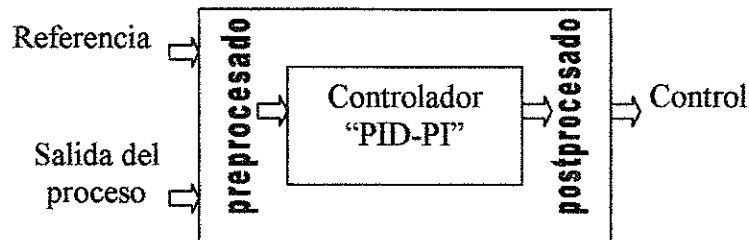
Figura 134 Superficie en 3D del sistema



➤ Controlador PID

(Proporcional mas integral mas derivativo digital), como se observa en la siguiente figura, donde un primer bloque realiza el preprocesado de las variables de entrada para proporcionar las entradas al controlador PID. El tipo de preprocesado depende de las características que las señales deben tener, para poder ingresar al bloque de procesamiento, esto es todo lo relacionado con el acondicionamiento de señal, escalización y ajuste.

Figura 135 Bloque de control PID



El proceso de control se desarrolla bajo la siguiente secuencia; se analiza la curva de reacción para determinar la función de transferencia en lazo abierto, que corresponde a un sistema de primer orden; al adicionarle el controlador análogo, el comportamiento del sistema pasa a ser de segundo orden, ecuación (1) ahora se escoge la respuesta deseada del sistema según un modelo determinado, descrito por la ecuación (2).

$$\frac{H(s)}{U(s)} = \frac{(aK_p S + K_i + K_D S^2)a}{S^2(1 + K_D K \cdot a) + S(b + K_p K \cdot a) + K_i K \cdot a} \quad (1)$$

$$P_0(s) = S^2 + 2\rho W_0 S + W_0^2 \quad (2)$$

Partiendo de la condición que el sistema requiere un control de seguimiento, se seleccionó un valor apropiado para el coeficiente de amortiguamiento (ρ), representado por la ecuación (3). De la cual se obtiene la frecuencia natural del sistema (W_0).

$$\rho = \frac{4.6}{\text{Ess } W_0} \quad (3)$$

En donde Ess es el error en estado estacionario, correspondiente al 1%.

Conociendo $P_0(s)$, se igualo con el polinomio característico del sistema para obtener las constantes PID; para luego determinar las constantes α_0 , α_1 y α_2 como se muestra en las ecuaciones (4) a (6).

$$\alpha_0 = K_p + \frac{K_D}{T_m} + \frac{K_i T_m}{2} \quad (4)$$

$$\alpha_1 = -K_p + \frac{K_i T_m}{2} - \frac{2K_D}{T_m} \quad (5)$$

$$\alpha_2 = \frac{K_D}{T_m} \quad (6)$$

En donde T_m es el tiempo de muestreo del sistema.

Teniendo en cuenta estas constantes se planteó una ecuación recursiva que describe la respuesta del controlador PID. La cual se encuentra a continuación.

$$U_{(KT_m)} = \alpha_0 e_{(KT_m)} + \alpha_1 e_{(K-1)T_m} + \alpha_2 e_{(K-2)T_m} + U_{(K-1)T_m} \quad (7)$$

➤ Simulaciones del Sistema

Con la ayuda del Simulink se probó el Sistema de Inferencia Difuso y el controlador PID. Las siguientes figuras muestran los diagramas de bloques del sistema realimentado, y la respuesta del controlador difuso y el controlador PID. La señal fucsia es la función de transferencia del sistema, la señal amarilla es la respuesta al controlador.

Figura 136 Diagrama en Simulink Sistema Difuso

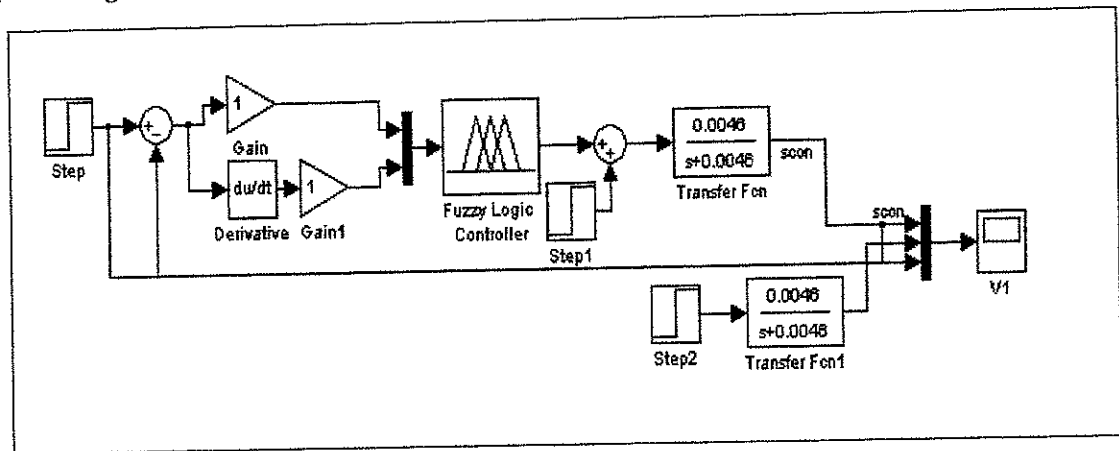


Figura 137 Señal de salida Controlador Difuso

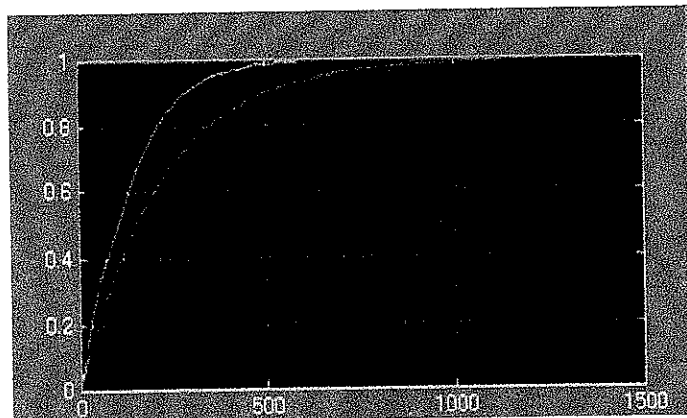


Figura 138 Diagrama en Simulink Sistema PID

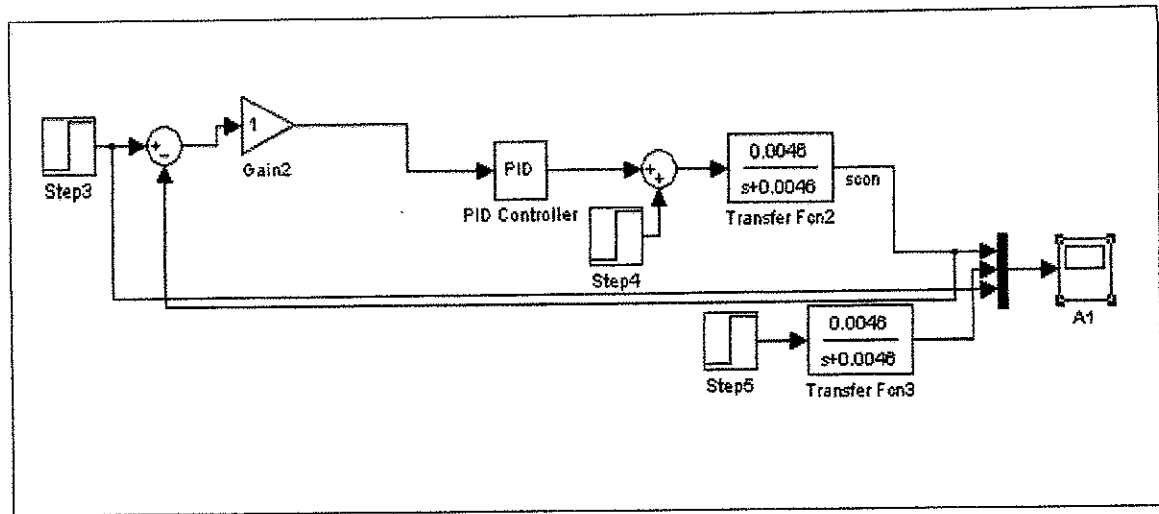
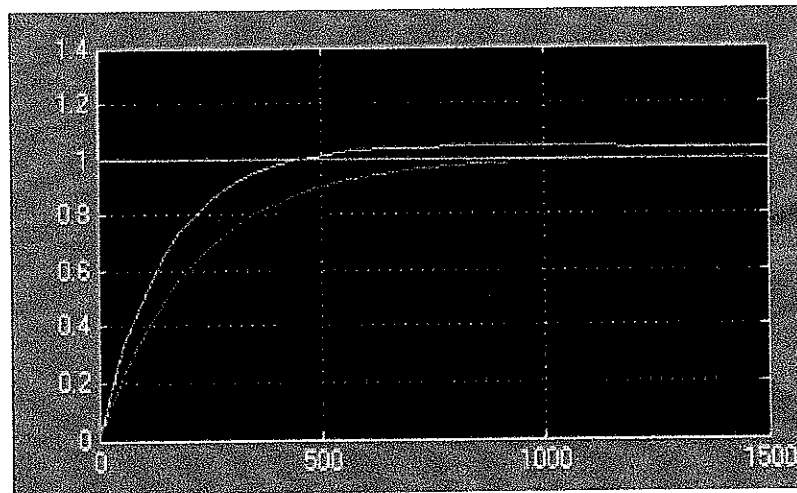


Figura 139 Señal de salida Controlador PID



Como se puede observar, el controlador difuso presenta mejor respuesta para el sistema de incubación realizado.

5.2.3.3 Prototipo del Módulo de Proceso Genérico "VSC Process ref. P001"

Considerando las exigencias de los diferentes procesos trabajados (Temperatura, Humedad y Peso), se optó por diseñar un módulo de proceso que presentara adaptabilidad a múltiples sistemas. De esta forma, se generó el prototipo "VSC Process ref. P001". A continuación, se presentan algunos de los pasos que se siguieron en el diseño y elaboración de dicho módulo.

⇒ Diagrama Esquemático

El diagrama esquemático general del Módulo de proceso "VSC Process ref. P001", se realizó en el software de simulación Orcad Release 9.1; y se muestra a continuación:

En este esquema, se muestran los diferentes componentes que conforman el módulo de proceso genérico; entre los que se destacan los microcontroladores MC68HC908GP32 y MC68HC908JL3, también se encuentran los sistemas de conversión analógica-digital, y digital-análoga; así como el sistema reloj-calendario y los buffers de tercer estado.

⇒ Diseño del Layout

Para el diseño de las tarjetas impresas, se recurrió a la herramienta layout del software Orcad Release 9.1; en este ambiente, se optó por generar una estructura de tarjetas modulares, que presentaran facilidad para su reemplazo en caso de avería. Así mismo, se recurrió a las herramientas de autorroteo, y generación de capas de cobre aplicadas a las conexiones de tierra y 5 V, con el fin de proteger las tarjetas de los problemas de sobrecalentamiento producidos por excesos de corriente en las pistas. Se observa además, que a los lados de las tarjetas, existen dos orificios, que sirven como punto de fijación, si se quiere involucrar a las tarjetas en algún compartimiento. A continuación se aprecia la tarjeta destinada al Módulo de proceso genérico "VSC Process ref. P001".

Figura 140 Diagrama Esquemático del Módulo de Proceso "VSC Process ref. P001"

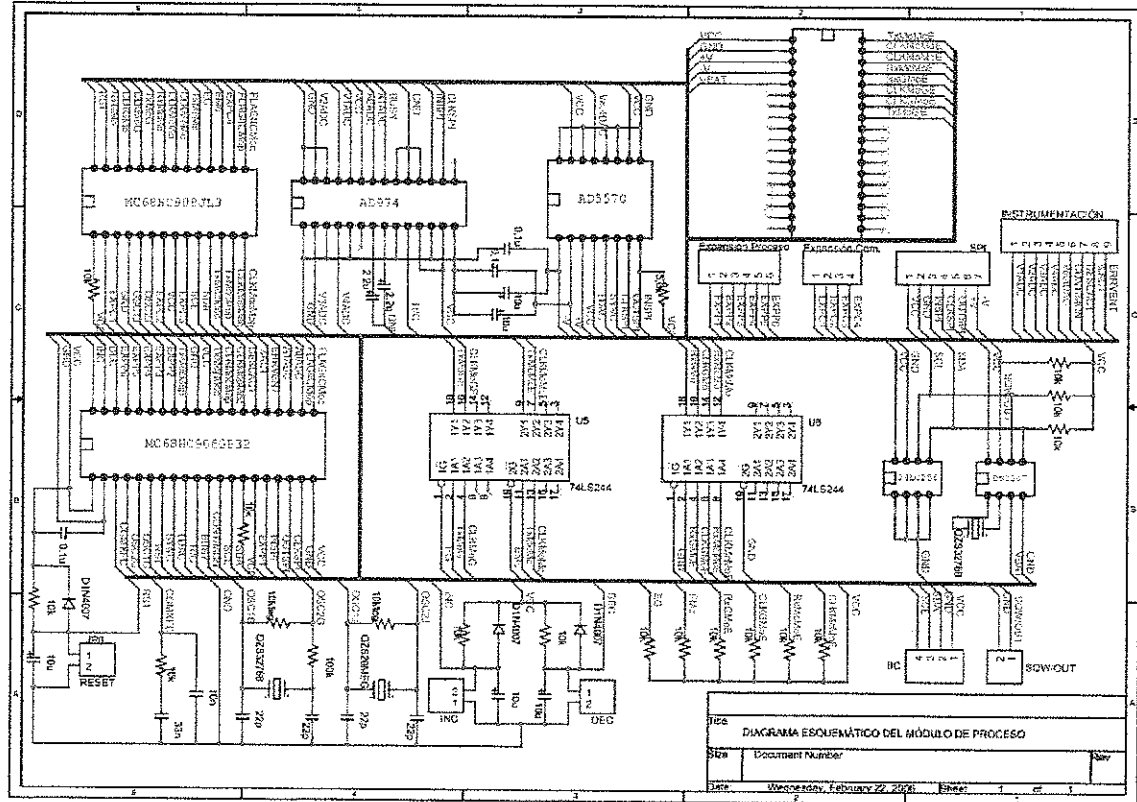
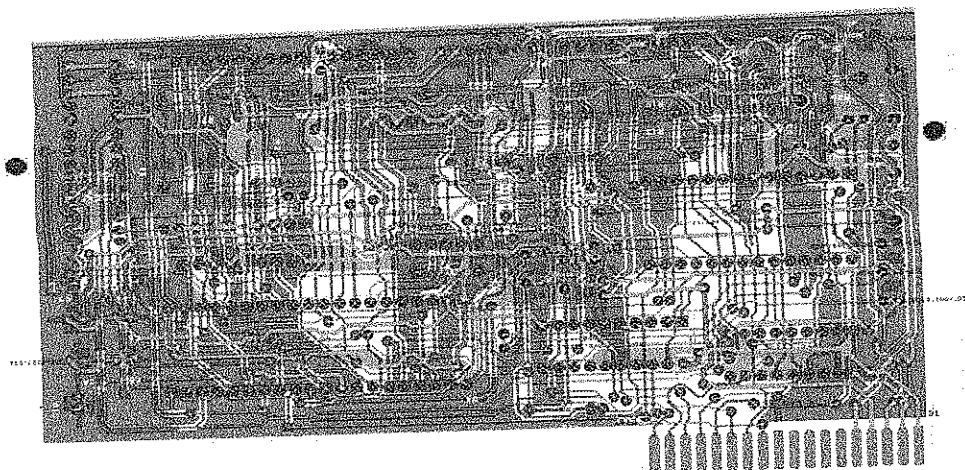
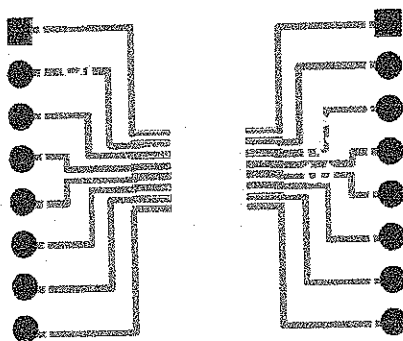


Figura 141 Diseño de la tarjeta destinada al Módulo de proceso genérico "VSC Process ref. P001"



Adicionalmente, fue necesario diseñar una tarjeta para montar el convertor digital-análogo AD5570, para facilitar su manipulación; ya que el encapsulado de este dispositivo es tipo SSOP. Tal y como se muestra a continuación:

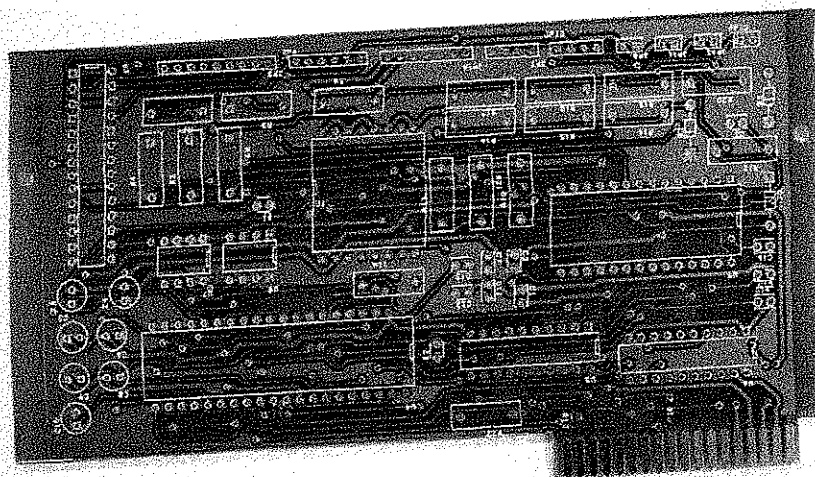
Figura 142. Tarjeta para el AD5570



⇒ Circuitos Impresos

Una vez desarrollado el diseño de las tarjetas, se procedió a la elaboración y compra de las mismas; mostrando los siguientes resultados:

Figura 143 Fotografía de la tarjeta destinada al Módulo de proceso genérico "VSC Process ref. P001"

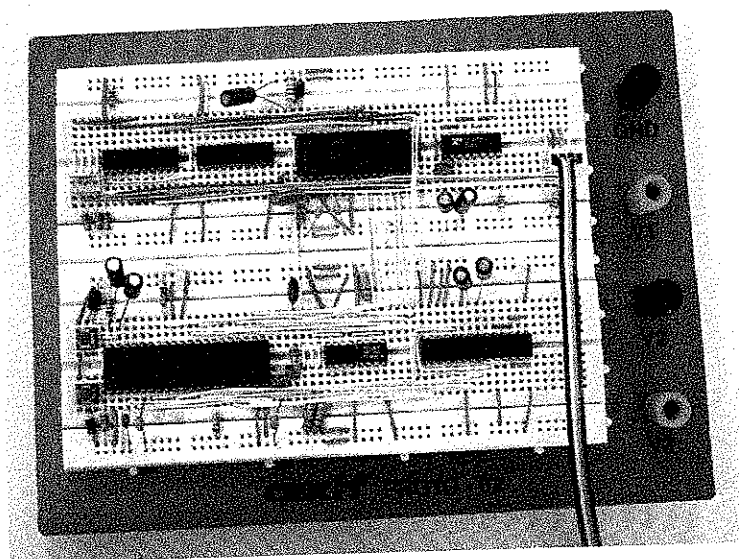


En esta fotografía se observa la tarjeta para el módulo "VSC Process ref. P001", y la distribución que tendrán los componentes.

⇒ Montaje:

El proceso de montaje, se desarrollo en dos etapas, la primera, presenta el montaje en protoboard, orientado a las pruebas iniciales, como lo muestra la siguiente fotografía:

Figura 144 Fotografía del módulo "VSC Process ref. P001" en sus pruebas preliminares.



En la segunda etapa, se presenta la tarjeta "VSC Process ref. P001" como producto terminado, acompañada de la tarjeta diseñada para el conversor análogo-digital AD5570. Tal como se muestra a continuación:

Figura 145 Fotografía de las tarjetas diseñadas para el convertor digital-análogo AD5570 encapsulado SSOP

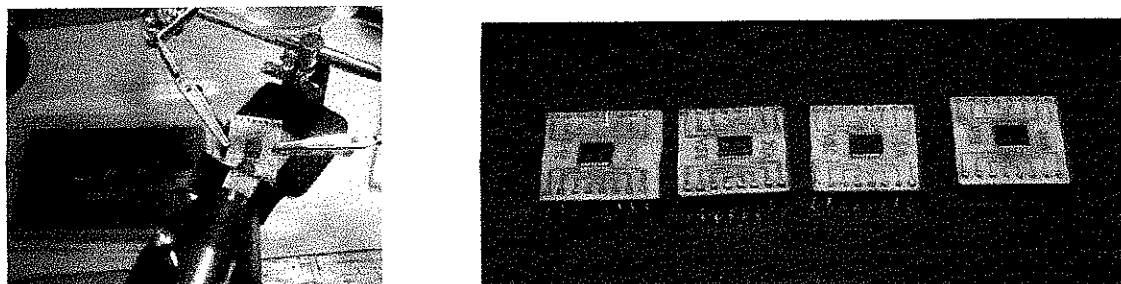
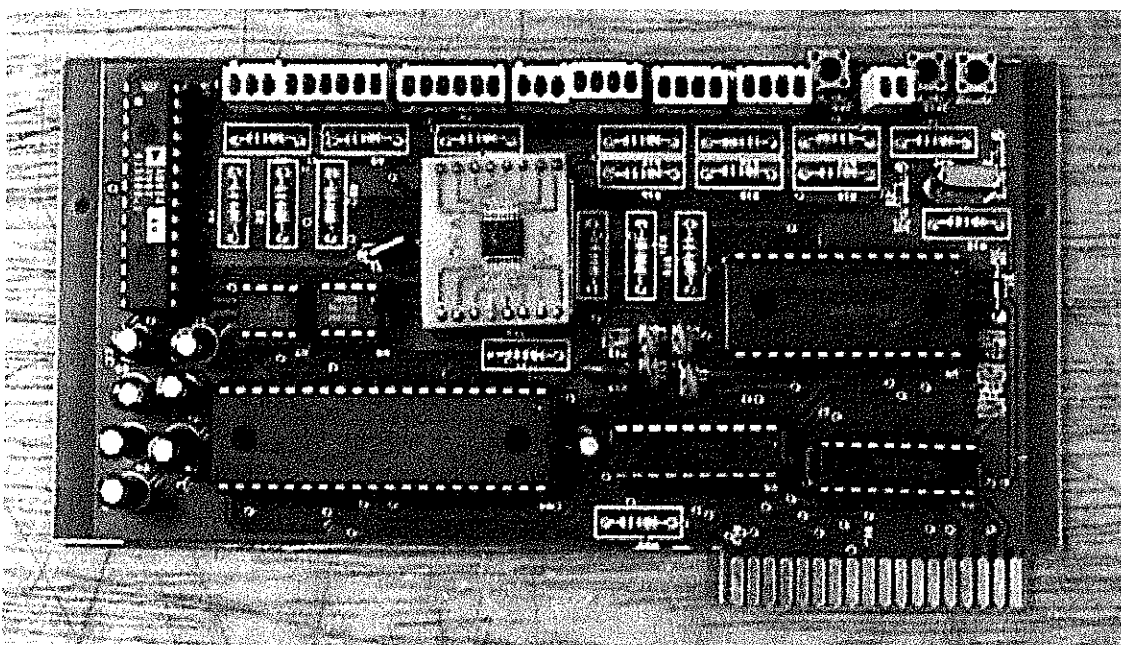


Figura 146 Fotografía del Módulo "VSC Process ref. P001"



5.2.4 Unidad Neonatal (Nivel de celda)

En este nivel, se realiza la administración de los diferentes procesos, así como la supervisión de los valores actuales y los sistemas de activación de alarma audiovisual en el equipo por parte del personal médico. Hacen parte de este nivel, el Módulo Gestor, también conocido como unidad neonatal; y el Módulo de Comunicaciones con la central de monitoreo. El Módulo Gestor, es el encargado de realizar el intercambio de información con el usuario, mediante el uso de un teclado y una pantalla de cristal líquido (LCD); además, cumple la función de puente en el proceso de comunicación entre la central de monitoreo y los diferentes procesos. A continuación se describen algunas de las tareas desarrolladas en el nivel de celda.

5.2.4.1 Comunicaciones

En el nivel de celda, se realiza comunicación con la central de monitoreo, y con los módulos de proceso; a continuación se explica el proceso a seguir en cada uno de estos sistemas de comunicación.

⇒ Comunicación entre el módulo Gestor y la central de Monitoreo

En el proceso de comunicación que se realiza entre el sistema de gestión y la central de monitoreo, existen dos partes fundamentales que permiten un intercambio de información satisfactorio. El protocolo de comunicación y el módulo de comunicaciones genérico “VSC Communication ref. C001”.

➤ Protocolo de Comunicación

El protocolo de comunicación diseñado, está conformado por dos tramas, destinadas al control y la supervisión de procesos, respectivamente. El formato o estructura de las tramas se puede observar en la siguiente figura.

Figura 147 . Formato de las tramas de Control y Supervisión

FORMATO DE TRAMA DE CONTROL									
DELIMITADOR DE INICIO	DIRECCION		CONTROL	INFORMACION				DETECCION DE ERRORES	DELIMITADOR FINAL
	PC	INC		DATO 3	DATO 2	DATO 1	DATO 0		
01111110	XXXXXXXX	XXXXXXXX	1XXXXXXXX	XXXXXXXX	XXXXXXXX	XXXXXXXX	XXXXXXXX	XXXXXXXX	01111110

FORMATO DE TRAMA DE SUPERVISION					
DELIMITADOR DE INICIO	DIRECCION		CONTROL	DETECCION DE ERRORES	DELIMITADOR FINAL
	PC	INC			
01111110	XXXXXXXX	XXXXXXXX	0XXXXXXXX	XXXXXXXX	01111110

Estas tramas de comunicación, se diferencian entre sí por dos características primordiales. Como primera medida, la trama orientada al control, posee 10 datos de 8 bits, mientras que la trama de supervisión posee tan solo 6 datos de 8 bits, ya que el campo denominado información no se encuentra presente; esto se debe a que la trama de control, busca proporcionarle alguna información al sistema; situación que no se presenta en la supervisión de los procesos, debido a que solamente se están realizando preguntas, sin generar variaciones. La segunda característica de las tramas, radica en el campo denominado Control; si se mira con atención este dato, se podrá observar que para la trama de control, el bit mas significativo de este byte, tiene un valor igual a 1; mientras que en la trama de supervisión, tiene un valor de 0. Esta característica es muy importante, porque gracias a este bit, el sistema receptor puede conocer el numero de datos que le están transmitiendo, y por tanto, podrá identificar el tipo de trama.

A continuación, se describen los diferentes campos que componen las tramas de comunicación:

- **DELIMITADOR DE INICIO O CAMPO DE DELIMITACIÓN DE INICIO:** Está compuesto por un dato de un byte de longitud, que tiene 6 unos entre dos ceros. El delimitador de inicio indica el comienzo de una trama, y sirve como patrón de sincronización para el receptor.

Figura 148 Detalle del delimitador de inicio o campo de delimitación de inicio

DELIMITADOR DE INICIO
01111110

- **CAMPO DE DIRECCIÓN:** Está subdividido en dos campos, (PC e INCU), cada uno de un byte de longitud; estos campos indican cual es el equipo transmisor (PC), y el equipo receptor (INCUBADORA). La información contenida en estos campos, permite realizar una comunicación libre de colisiones, debido a que cada uno de los equipos tiene una dirección única. La dirección de destino 00 H corresponde a información de interés para todas las estaciones secundarias, que en este caso son las incubadoras.

Figura 149 Detalle del campo de dirección

DIRECCIÓN	
PC	INCUBADORA
XXXXXXXX	XXXXXXXX

- **CAMPO DE CONTROL:** Tiene una longitud de un byte. Este campo le informa al receptor, la naturaleza de los datos contenidos en el campo de información. Según el dato contenido en el campo de control, el receptor podrá determinar a que corresponde cada uno de los datos del campo de información; y así podrá realizar la acción solicitada. Ver mapa de tramas (tablas 29 a 32).

Figura 150 Detalle del campo de control

CONTROL
XXXXXXXX

- **CAMPO DE INFORMACIÓN:** Contiene los datos que se quieren transmitir para proporcionar alguna información al dispositivo receptor. Cada trama de control, contiene 4 datos en este campo, los cuales transportan información del estado del sistema.

Figura 151 Detalle del campo de información

INFORMACION			
DATO 3	DATO 2	DATO 1	DATO 0
XXXXXXXX	XXXXXXXX	XXXXXXXX	XXXXXXXX

- CAMPO DE DETECCIÓN DE ERRORES: Dentro de la trama, ya sea de control, o de supervisión, se considera un campo de un byte de longitud, para almacenar un dato que permita realizar detección de errores, y en dado caso, solicitar una retransmisión de la información. Este dato, se calcula por medio del sistema de detección de errores de sumas de comprobación, conocido también como checksum. Cuando se desea realizar la codificación, se suman los datos a considerar para la transmisión usando la aritmética complemento a uno. Para el proceso de decodificación en la recepción, se deben sumar todos los datos, y obtener el complemento del resultado, que debe ser igual a cero, indicando una comunicación sin errores. Si el complemento del resultado, origina un valor diferente de cero, se habrá producido un error.

Figura 152 Detalle del campo de detección de errores

DETECCIÓN DE ERRORES
XXXXXXXX

- DELIMITADOR FINAL O CAMPO DE DELIMITACIÓN FINAL: Está compuesto por un dato de un byte de longitud, que tiene 6 unos entre dos ceros. El delimitador de final, indica la culminación de una trama, y al igual que el delimitador de inicio, sirve como patrón de sincronización para el receptor.

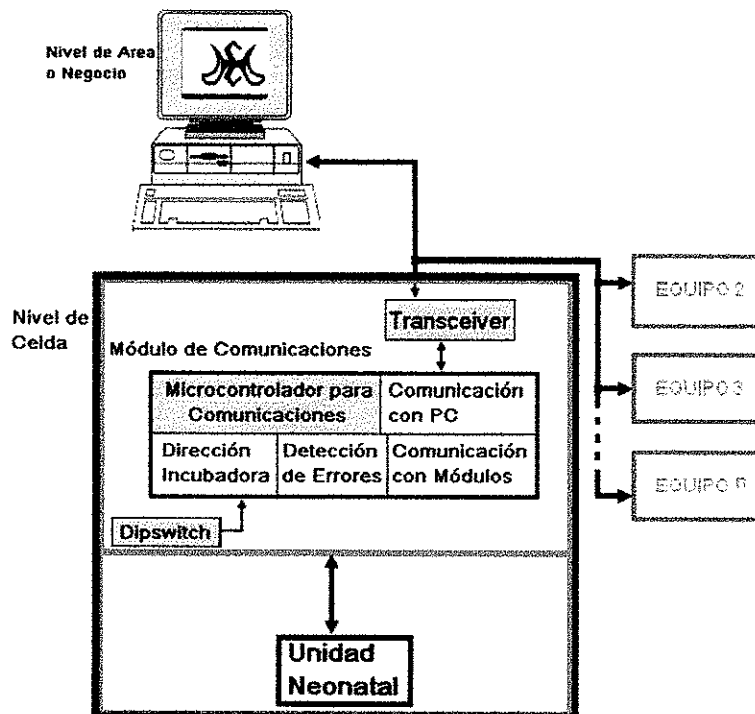
Figura 153 Detalle del delimitador final o campo de delimitación final

DELIMITADOR FINAL
01111110

- Módulo de comunicaciones genérico "VSC Communication ref. C001"

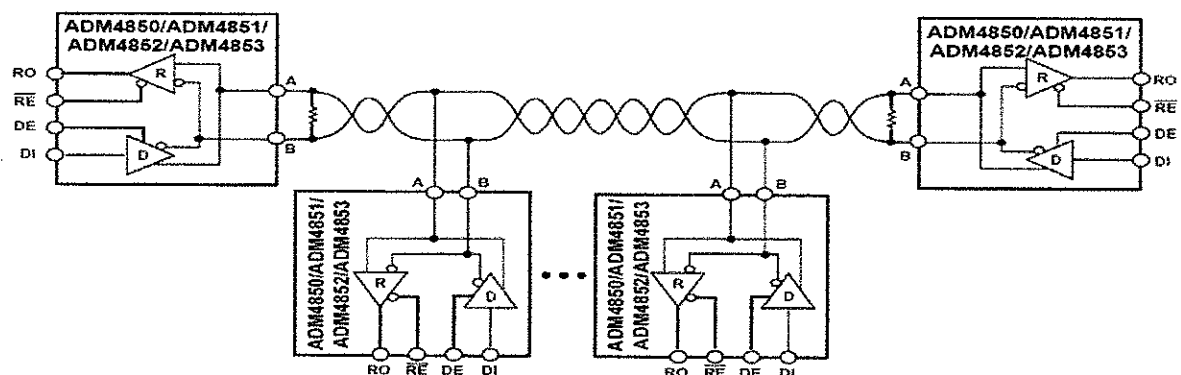
Teniendo en cuenta las especificaciones dadas por el protocolo de comunicación, se diseñó un módulo de comunicaciones genérico, con una adaptación hacia las comunicaciones RS232 y RS485.

Figura 154 Esquema General del modulo de Comunicaciones



Este modulo, tiene como objetivo, entablar comunicación entre la incubadora y la central de monitoreo. Adicionalmente, presenta una opción de configuración de dirección; la cual se le asigna a través de un dipswitch, permitiendo que se pueda entablar comunicación con un máximo de 255 incubadoras y la central de monitoreo, compartiendo el mismo medio de transmisión.

Figura 155 Detalle de conectividad RS485



Fuente. Tomado de la hoja de especificaciones técnicas del ADM4850

El modulo de comunicación, contiene un transceiver RS485 aislado galvanicamente, que le permite entablar comunicaciones de tipo diferencial a larga distancia (hasta 1,2Km) vía alámbrica.

Figura 156 Señal transmitida a través del Transceiver RS485

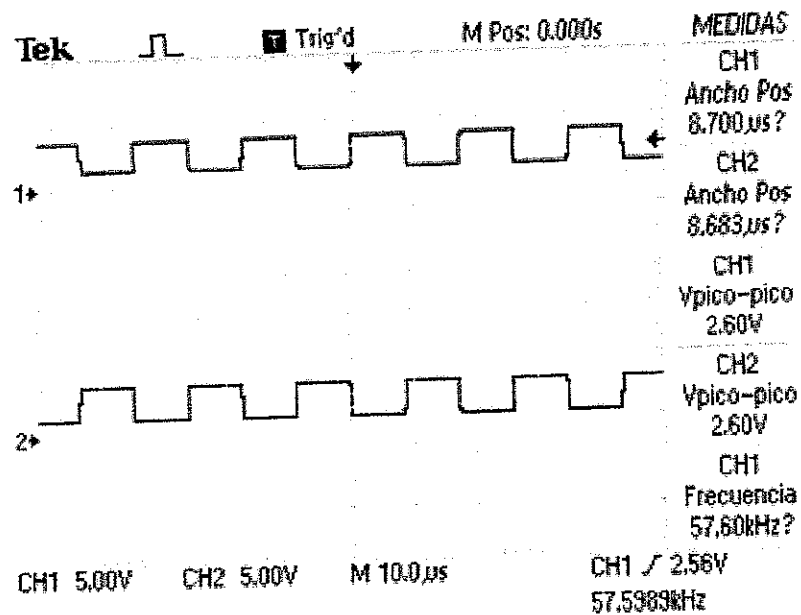
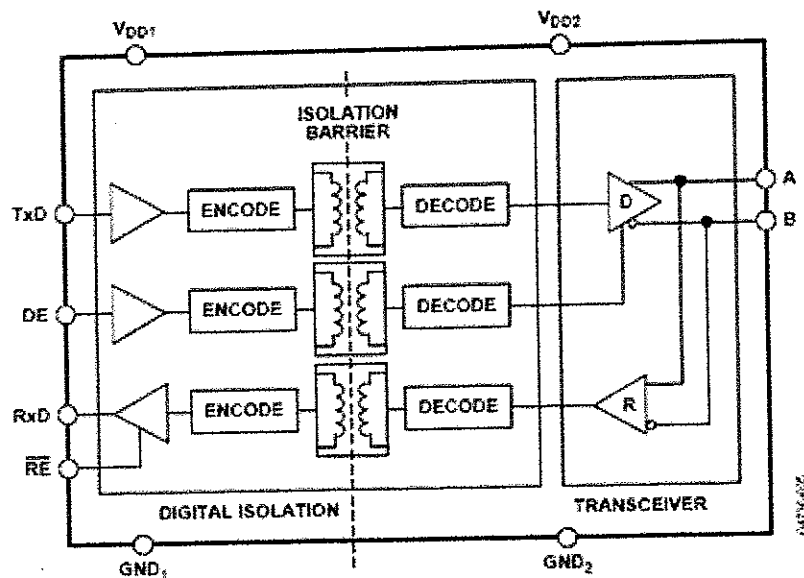


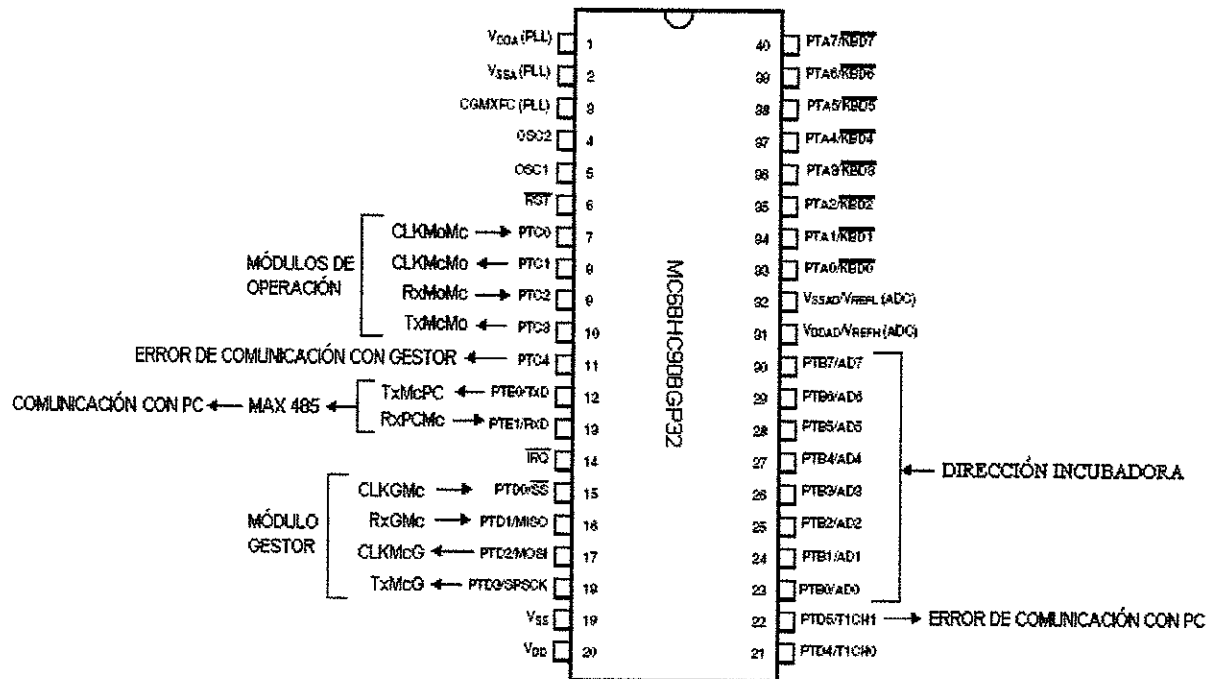
Figura 157 Arquitectura interna del Transceiver RS485



Fuente. Tomado de la hoja de especificaciones técnicas del AD2483

A continuación se muestra el diagrama de distribución y asignación de pines del microcontrolador que controla el módulo de comunicaciones genérico "VSC Communication ref. C001".

Figura 158 Diagrama de distribución y asignación de pines para el microcontrolador del módulo de comunicaciones "VSC Communication ref. C001"



Además de entablar la comunicación entre la central de monitoreo y la unidad neonatal; este módulo indica si existen errores en la comunicación; ya sea a un nivel superior o inferior en la pirámide de automatización. En las figuras 159 y 160, se presenta el diagrama de flujo que muestra la lógica que sigue el microcontrolador, desde el momento en que la central de monitoreo presenta una solicitud de comunicación, hasta que se realiza el proceso de transferencia y respuesta de los datos.

⇒ Comunicación entre el módulo Gestor y los Procesos

En el proceso de comunicación que se realiza entre el sistema de gestión y los procesos, se tiene en cuenta el algoritmo programado en el microcontrolador orientado a las comunicaciones del **módulo de proceso genérico "VSC Process ref. P001"**. El protocolo de comunicación se mantiene constante a lo largo de todo el sistema y en cada una de las etapas se realiza un procedimiento de detección de error. Dado que los módulos de proceso comparten la misma línea de comunicación; se diferencian entre sí por el contenido del dato en el campo de control de las tramas, el cual está asociado a diferentes tareas relacionadas con la supervisión y el control. En las figuras 161 y 162, se muestra la lógica que sigue el microcontrolador, desde el momento en que el sistema de gestión envía una trama de comunicación (ya sea para supervisión o para control), hasta el momento en que el proceso ejecuta la orden o genera una trama de respuesta.

Figura 159 Lógica de comunicación entre la Unidad Neonatal y la Central de Monitoreo

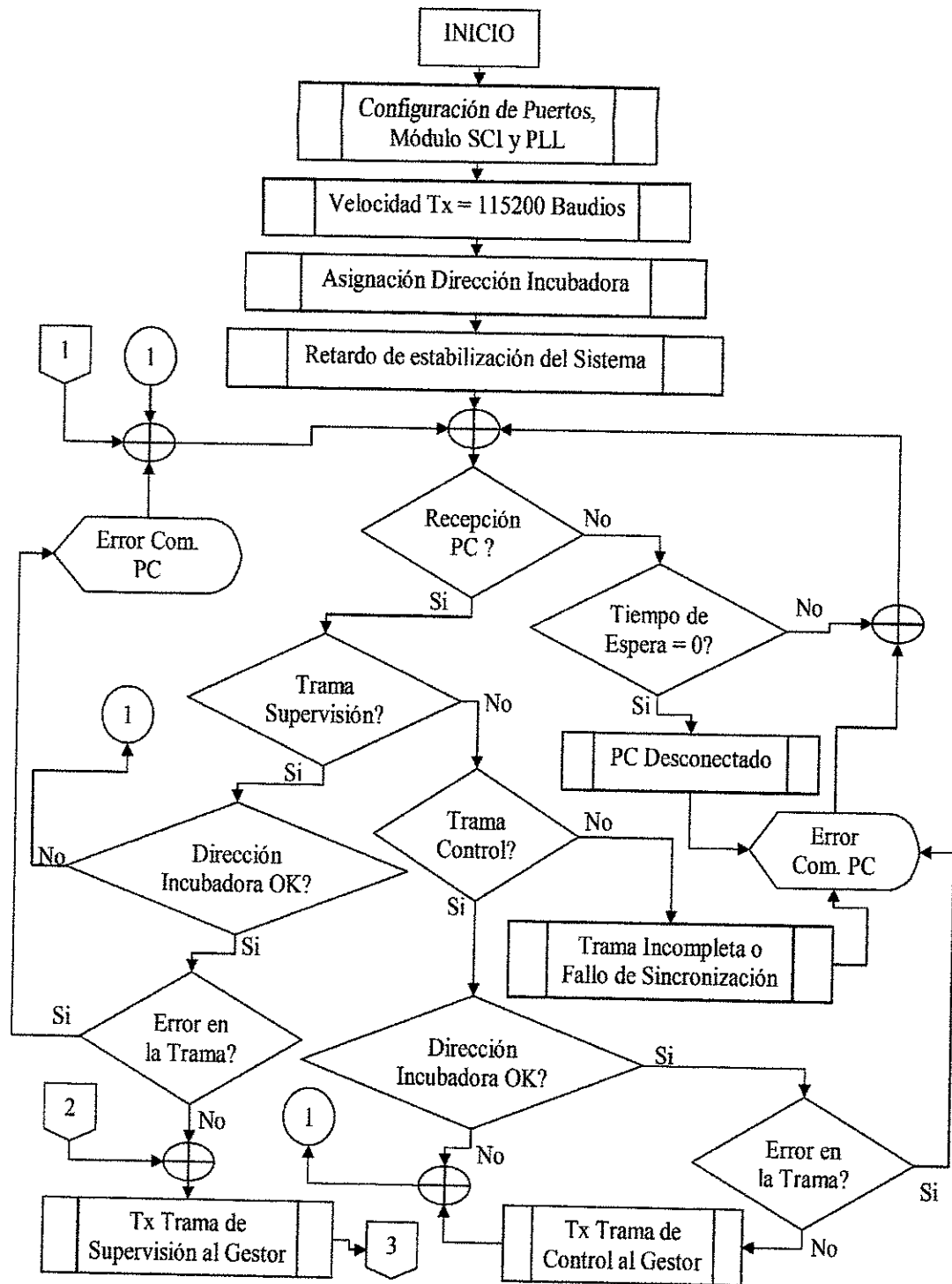


Figura 160 Continuación Lógica de comunicación entre la Unidad Neonatal y la Central de Monitoreo

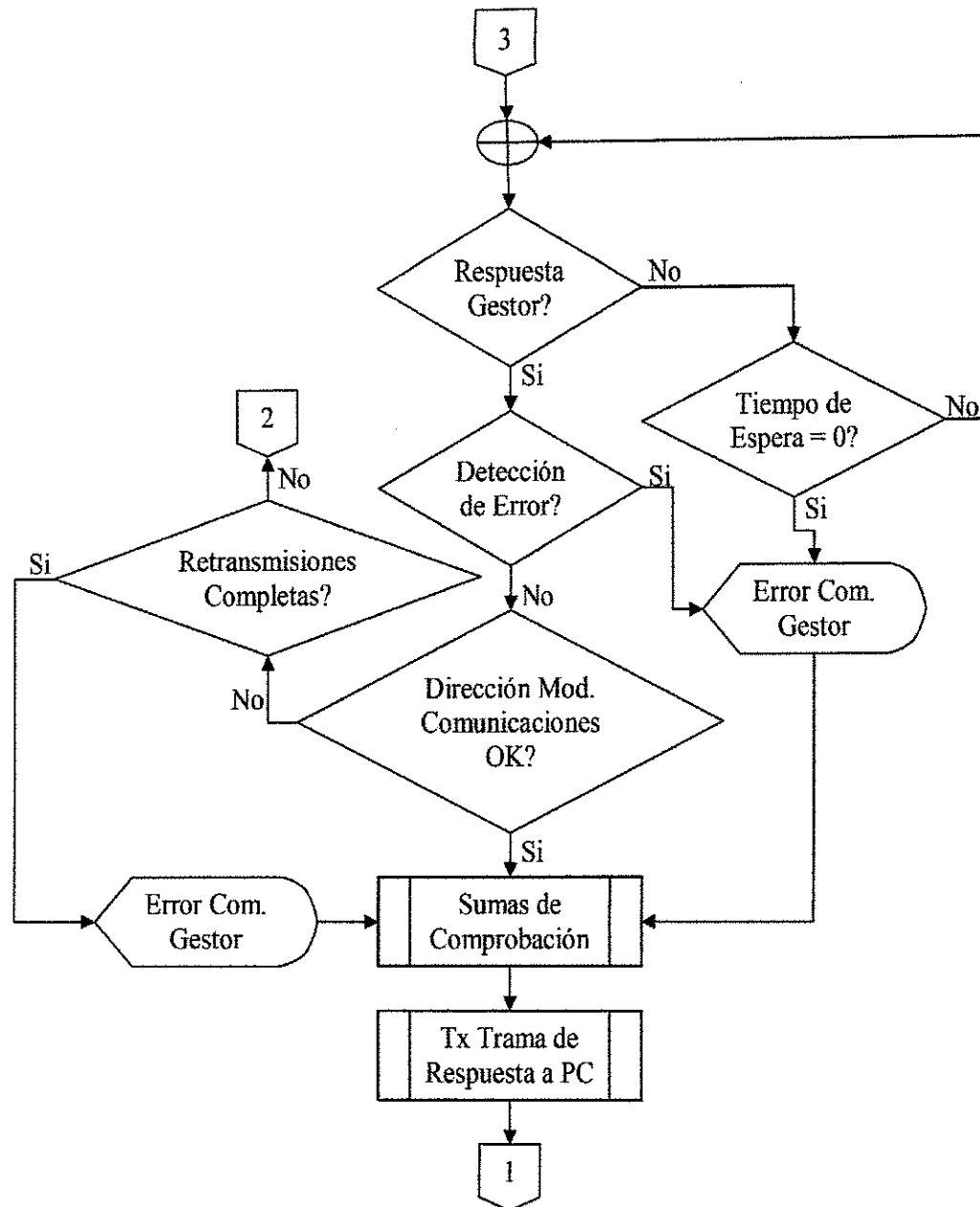


Figura 161 Lógica de comunicación entre el sistema gestor y los procesos

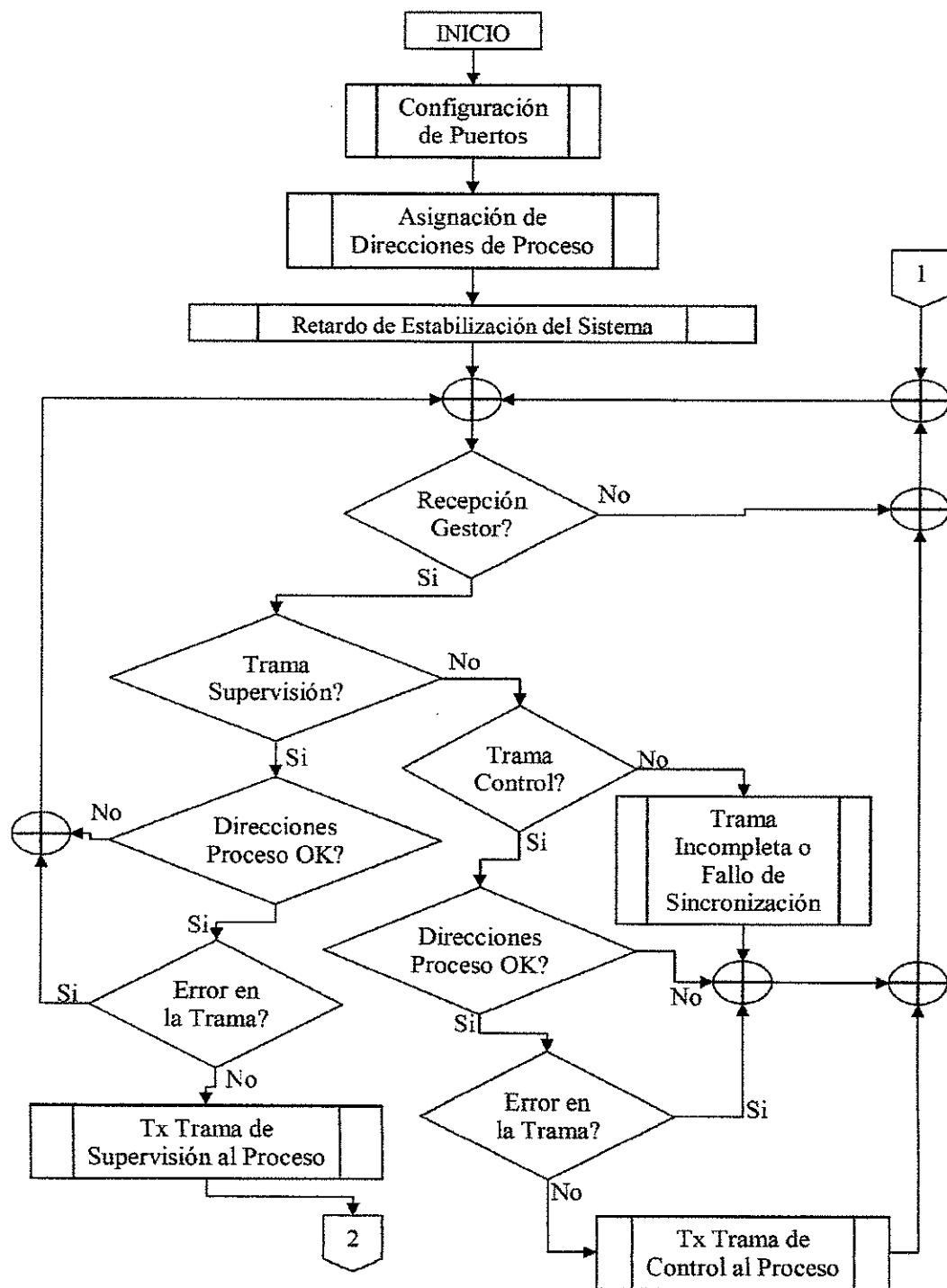
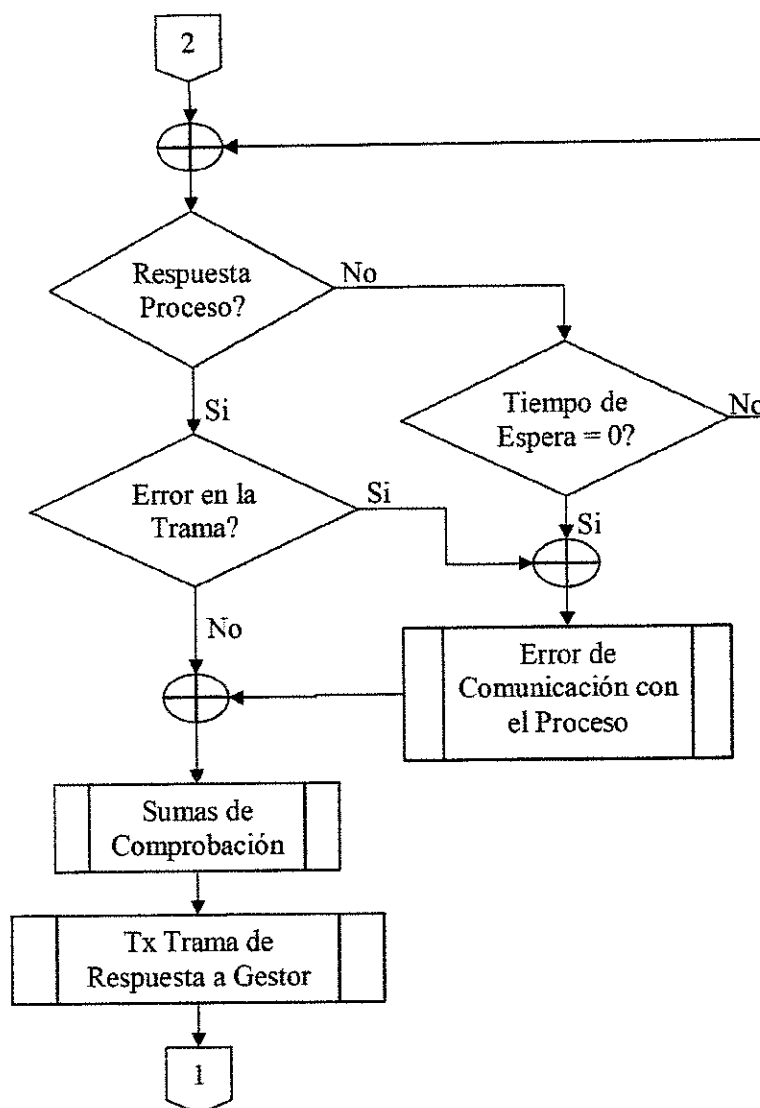


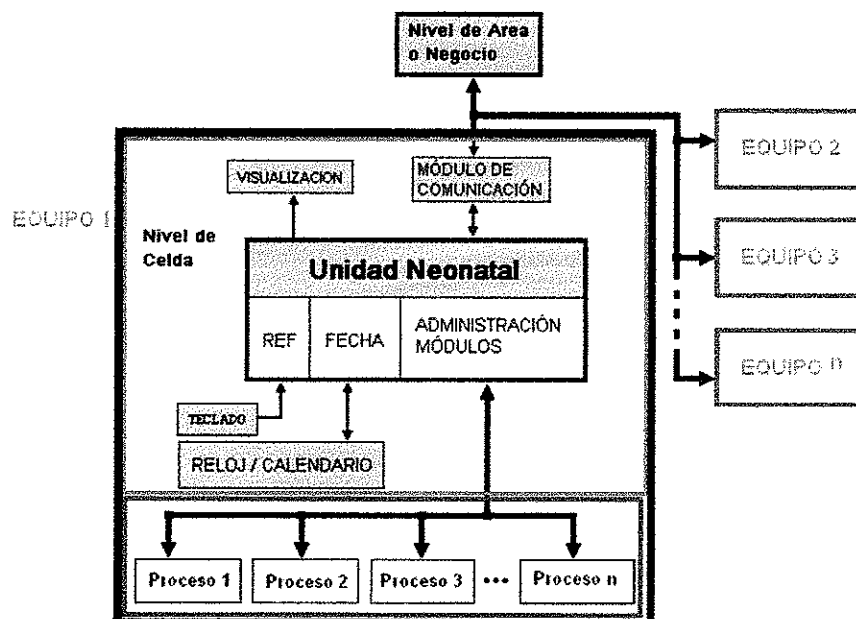
Figura 162 Continuación Lógica de comunicación entre el sistema gestor y los procesos



5.2.4.2 Procesamiento y Monitoreo

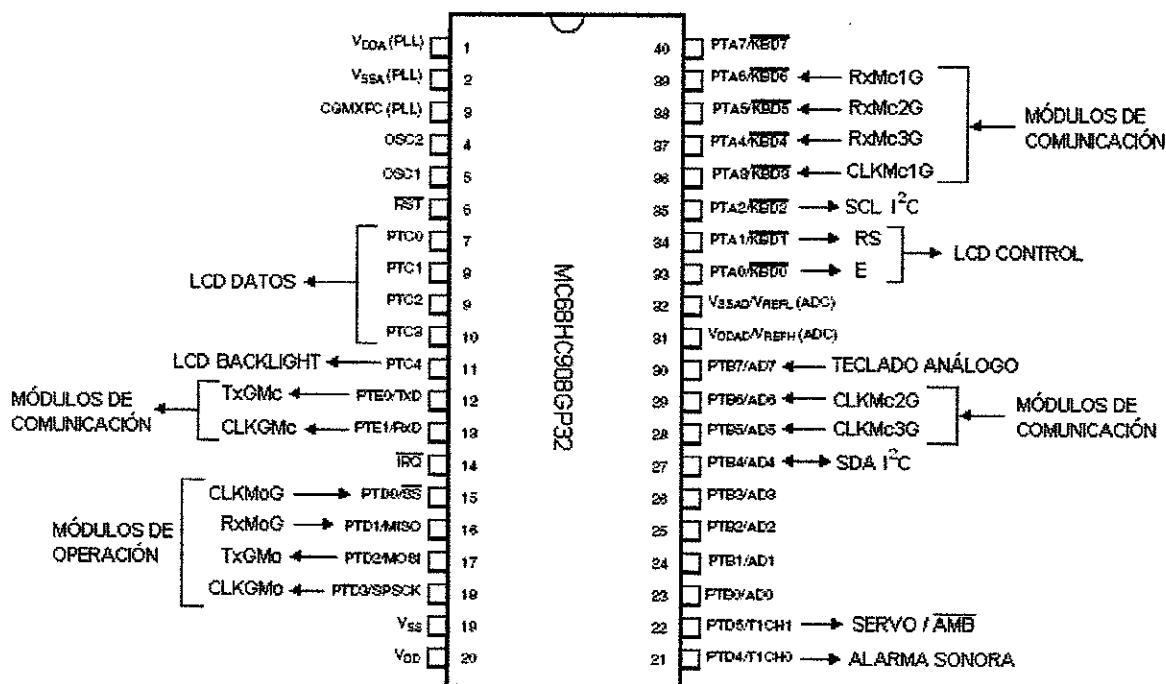
El procesamiento y monitoreo del sistema, se encuentra a cargo del módulo de Gestión, o módulo gestor “VSC Gestor ref. G001”. En este nivel, se realiza la administración de los diferentes módulos de proceso; así mismo, es el encargado de intercambiar información con el usuario, a través de una pantalla de cristal líquido y un teclado que permite variar parámetros, y ejecutar diversas acciones de navegación de Menús.

Figura 163 Esquema general del modulo de procesamiento



A continuación se observa la distribución y asignación de pines del módulo de gestión “VSC Gestor ref. G001”.

Figura 164 Distribución y asignación de pines del módulo de gestión “VSC Gestor ref. G001”.



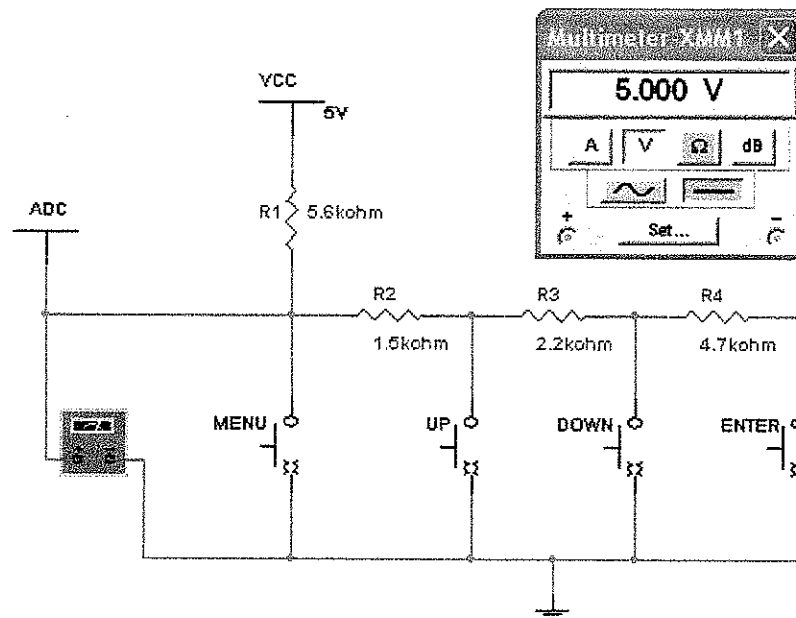
⇒ Teclado Análogo

La manipulación del sistema de incubación se realiza a través de 4 pulsadores, que se encuentran asociados a un circuito resistivo; la función de cada uno de ellos se explica a continuación.

- MENU: Este botón sirve para acudir a los diferentes Menús del sistema, mostrados en la pantalla de cristal líquido LCD, en donde el usuario tendrá acceso a múltiples opciones asociadas a diferentes tareas. Adicionalmente, cumple una función de cancelación en caso que el usuario quiera deshacer alguna acción.
- UP y DOWN: Estos botones sirven para realizar la navegación entre los diferentes mensajes mostrados en la pantalla de cristal líquido LCD. Además, es a través de estos botones que el usuario varía las referencias de las variables a controlar.
- ENTER: Este botón cumple una función de confirmación; cuando el usuario desee acceder a un nuevo menú o modificar una referencia, debe presionar el botón ENTER para que el dispositivo ejecute la acción.

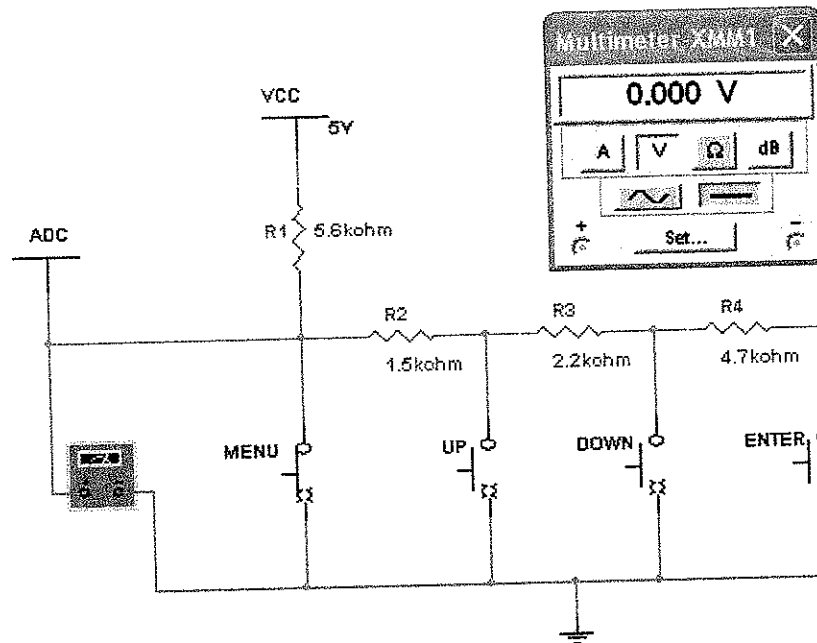
Para realizar el diseño de la red resistiva, consideramos un punto de prueba al que llamaremos ADC o A/D; equivalente a una entrada análoga del sistema gestor; además, asumimos que existe un voltaje de alimentación $VCC=5V$, y que ningún pulsador se oprime. El voltaje presente en la entrada de conversión análoga-digital (ADC), será igual a 5V, como lo demuestran los resultados de la simulación.

Figura 165 Caso en que no existe ningún pulsador presionado



Si se oprime la tecla MENU, el voltaje en la línea de conversión A/D, será igual a 0V

Figura 166 Caso en que se oprime la tecla MENU



Si se oprime la tecla UP, $ADC = V_{R2}$
 Asumiendo un voltaje $V_{R2} = 1V$ y $R_1 = 5.6 K\Omega$, tenemos:

$$V_{R2} = \frac{R_2 V}{R_1 + R_2}$$

Y despejando R_2 :

$$V_{R2} R_1 + V_{R2} R_2 = R_2 V$$

$$R_2 = \frac{V_{R2} R_1}{V - V_{R2}} \Rightarrow R_2 = \frac{(1V)(5.6K\Omega)}{5V - 1V}$$

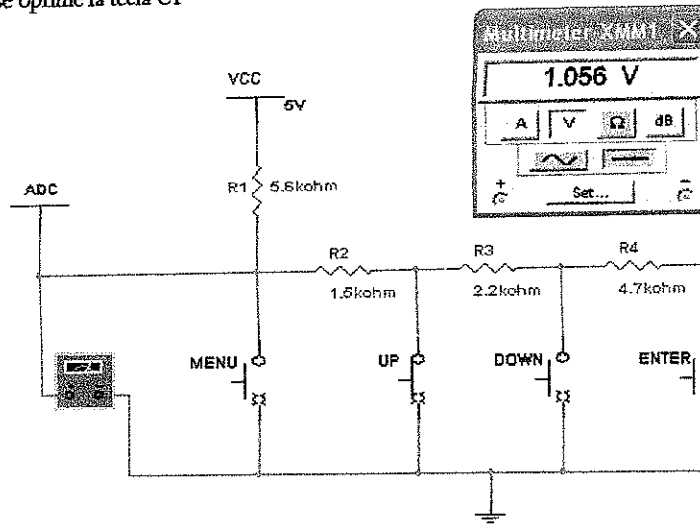
$$R_2 = 1.4K\Omega$$

Si se aproxima R_2 a $1.5K\Omega$:

$$V_{R2} = \frac{R_2 V}{R_1 + R_2} = \frac{1.5K\Omega(5v)}{1.5K\Omega + 5.6K\Omega} = 1.05V$$

Tal como se muestra a continuación:

Figura 167 Caso en que se oprime la tecla UP



Si se oprime la tecla Down:

$$A/D = V_{R2} + V_{R3} = V_a$$

Asumiendo $V_a = 2V$

$$V_a = \frac{(R_2 + R_3)V}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Y despejando R_3 :

$$V_a R_1 + V_a R_2 + V_a R_3 = V R_2 + V R_3$$

$$R_3 = \frac{V_a R_1 + V_a R_2 - V R_2}{V - V_a} \Rightarrow R_3 = \frac{(2V)(5,6K) + (2V)(1,5K) + (5V)(1,5K)}{5V - 2V}$$

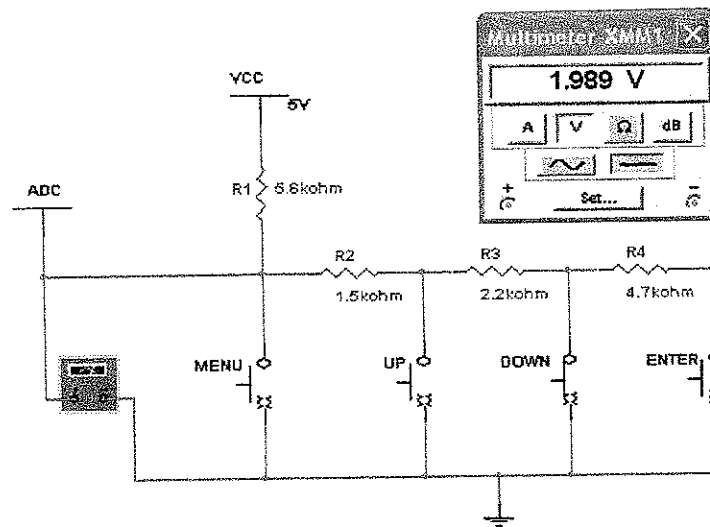
$$R_3 = 2,23K \Omega$$

Si se aproxima R_3 a $2,2K \Omega$:

$$V_a = \frac{(R_2 + R_3)V}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{(1,5K + 2,2K)5V}{5,6K + 1,5K + 2,2K} = 1,98V$$

Este resultado se puede apreciar tambien en la siguiente simulación:

Figura 168 Caso en que se oprime la tecla DOWN



Si se oprime la tecla ENTER:

$$A/D = V R_2 + V R_3 + V R_4 = V_b$$

Asumiendo $V_b = 3V$

$$V_b = \frac{(R_2 + R_3 + R_4)V}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

Y despejando R_4 :

$$V_b R_1 + V_b R_2 + V_b R_3 + V_b R_4 = V R_2 + V R_3 + V R_4$$

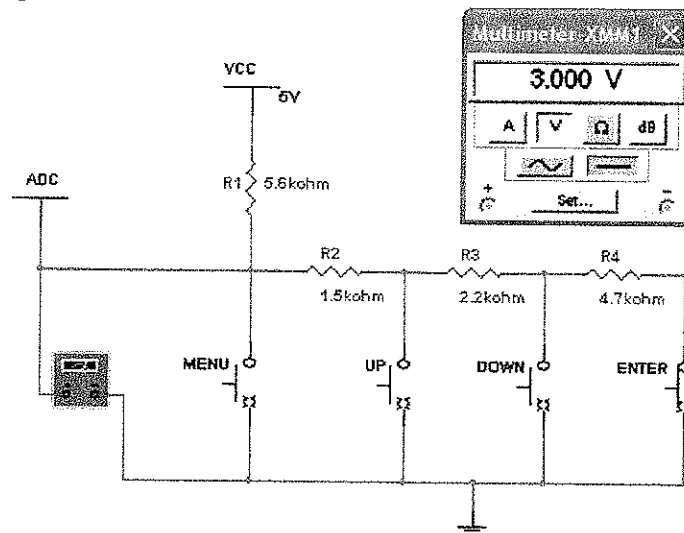
$$R_4 = \frac{V_b(R_1 + R_2 + R_3) + V(R_2 + R_3)}{V - V_b}$$

$$R_4 = \frac{3V(5,6K + 1,5K + 2,2K) + 5V(1,5K + 2,2K)}{5V - 3V}$$

$$R_4 = 4,7K\Omega$$

Tal y como se observa en la siguiente figura:

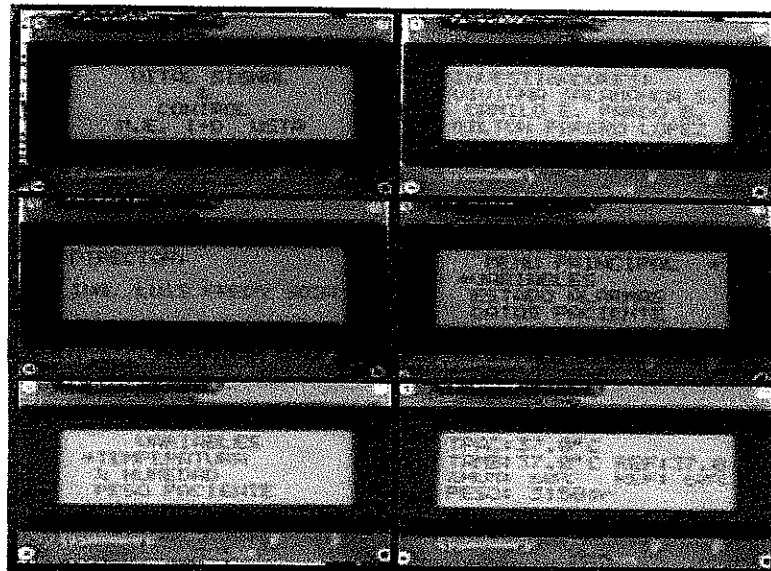
Figura 169 Caso en que se oprime la tecla ENTER



⇒ Pantalla de Cristal Líquido (LCD)

Como se mencionó anteriormente, el módulo de Gestión, o módulo gestor “VSC Gestor ref. G001”, es el encargado de comandar el proceso de intercambio de información con el usuario. Es por esto, que tiene asociada una pantalla de cristal liquido (LCD), en la que se puede visualizar el estado del paciente, el estado del equipo y los diferentes sistemas de alarma relacionados con las variables del sistema, así como información general e instrucciones para el usuario. Toda esta información, se encuentra distribuida en múltiples menús, que permiten al operario una facil interacción con el equipo.

Figura 170 Visualización LCD



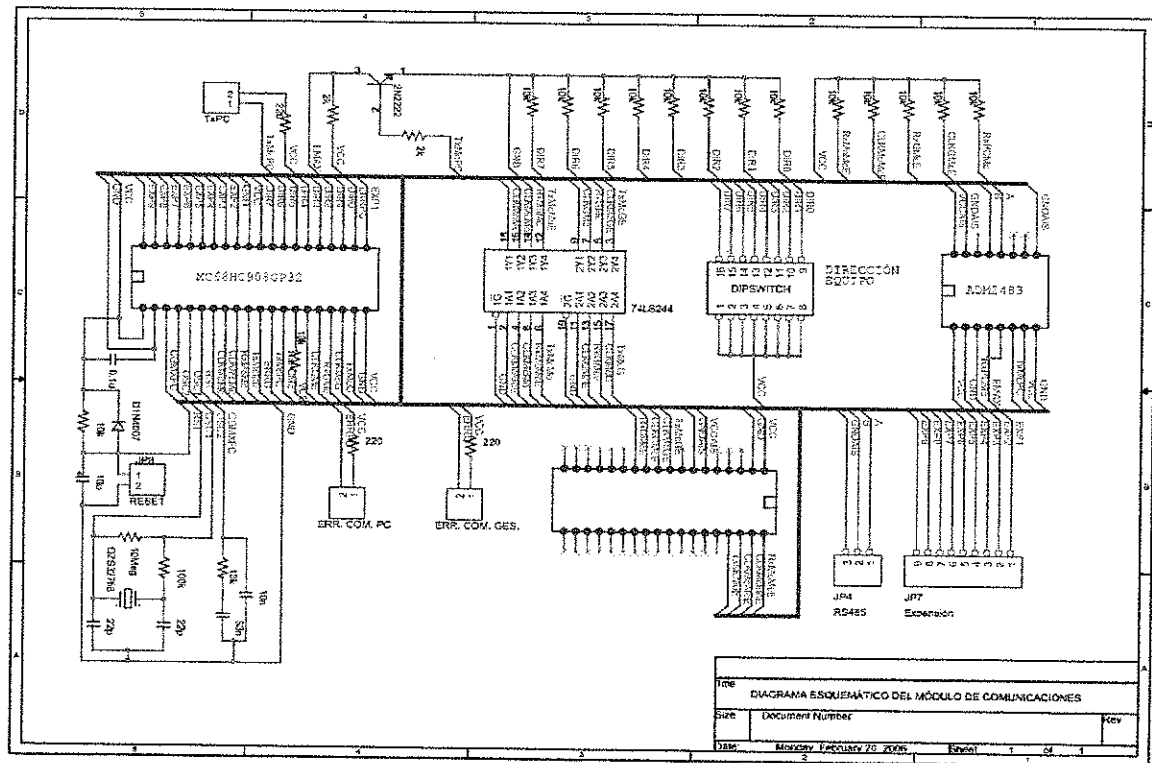
5.2.4.3 Prototipo del módulo de comunicaciones genérico "VSC Communication ref. C001"

Debido a la modularidad y adaptabilidad del sistema, se diseñó un módulo de comunicaciones genérico, denominado **"VSC Communication ref. C001"**, que permite utilizar diferentes tipos de comunicación, tales como, comunicaciones RS232, RS485, inalámbricas, etc. Esta adaptabilidad se logra, intercambiando tan solo la tarjeta que contiene el transeiver que gobierna el tipo de comunicación. A continuación, se presentan algunos de los pasos que se siguieron en el diseño y elaboración de dicho módulo.

⇒ Diagrama Esquemático

El diagrama esquemático general del módulo de comunicaciones genérico **"VSC Communication ref. C001"**, se realizó en el software de simulación Orcad Release 9.1 y se muestra a continuación:

Figura 171 Diagrama Esquemático del Módulo de comunicaciones "VSC Communication ref. C001"

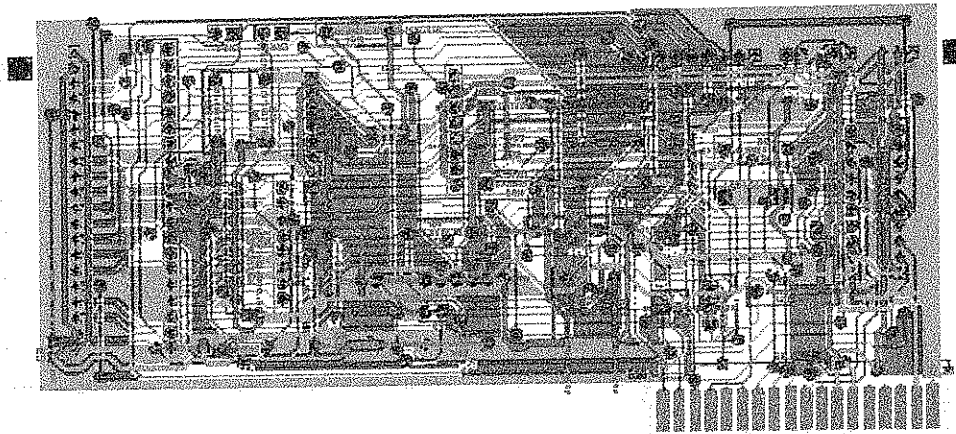


En este esquema, se muestran los diferentes componentes que conforman el módulo de comunicaciones genérico; entre los que se destacan el microcontrolador MC68HC908GP32, que controla el proceso de intercambio de datos; el transeiver RS485 (ADM2483), que se encarga de adaptar los datos a los niveles de voltaje apropiados para el proceso de comunicación, y el DIPSWITCH, que permite designar una dirección al equipo; así como los buffers de tercer estado, que sirven como sistema de protección para la comunicación con los módulos de proceso y el módulo de gestión.

⇒ Diseño del Layout

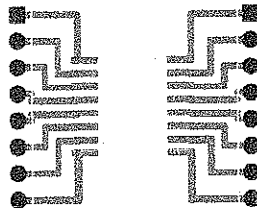
Para el diseño de las tarjetas impresas, se recurrió a la herramienta layout del software Orcad Release 9.1; en este ambiente, se optó por generar una estructura de tarjetas modulares, que presentaran facilidad para su reemplazo en caso de avería, o cambios en el tipo de comunicación. Así mismo, se recurrió a las herramientas de autorroteo, y generación de capas de cobre aplicadas a las conexiones de tierra y 5 V, con el fin de proteger las tarjetas de los problemas de sobrecalentamiento, producidos por excesos de corriente en las pistas. Se observa además, que a los lados de las tarjetas, existen dos orificios, que sirven como punto de fijación, si se quiere involucrar a las tarjetas en algún compartimiento. A continuación se aprecia la tarjeta destinada al Módulo de comunicaciones genérico **"VSC Communication ref. C001"**.

Figura 172 Diseño de la tarjeta destinada del Módulo de comunicaciones "VSC Communication ref. C001"



Adicionalmente, fue necesario diseñar una tarjeta para montar el transeiver ADM2483, destinado a las comunicaciones RS485; esto facilitó su manipulación; ya que el encapsulado de este dispositivo es tipo SOIC. Tal y como se muestra a continuación:

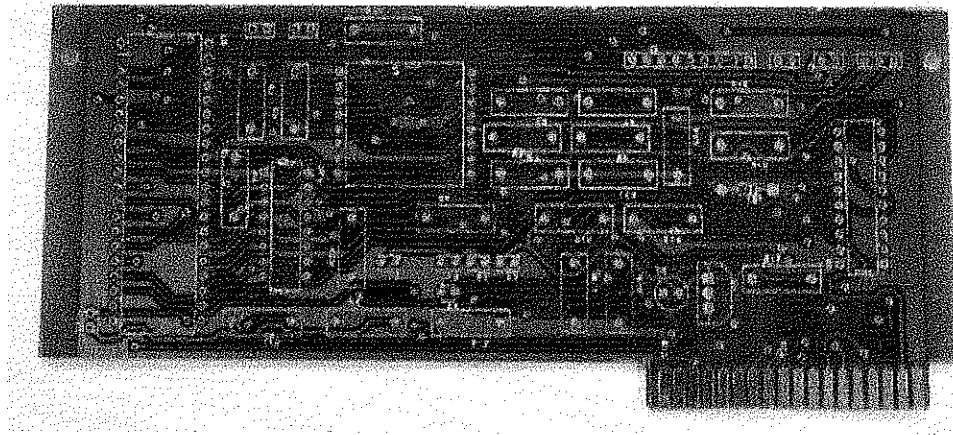
Figura 173 Diseño de tarjeta para el ADM2483



⇒ Circuitos Impresos

Una vez desarrollado el diseño de las tarjetas, se procedió a la elaboración y compra de las mismas; mostrando los siguientes resultados:

Figura 174 Fotografía de la tarjeta destinada al Módulo de comunicaciones “VSC Communication ref. C001”

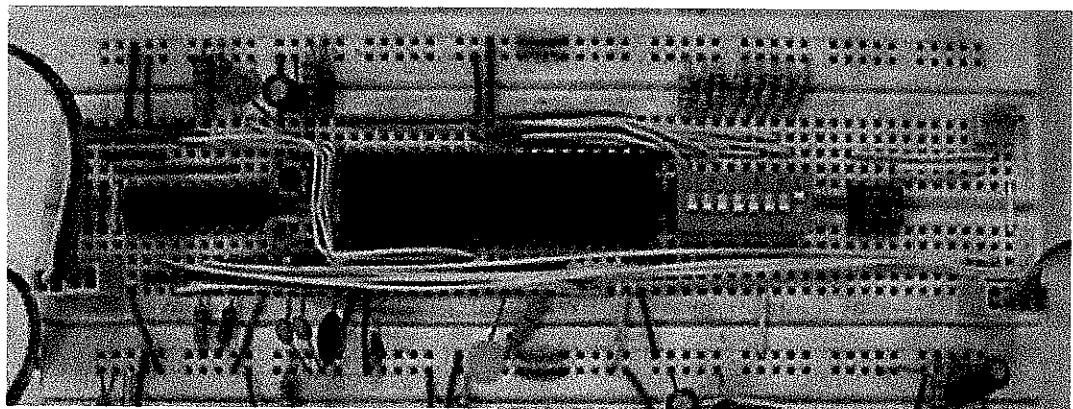


En esta fotografía se observa la tarjeta para el módulo “VSC Communication ref. C001”, y la distribución que tendrán los componentes.

⇒ Montaje:

El proceso de montaje, se desarrollo en dos etapas, la primera, presenta el montaje en protoboard, orientado a las pruebas iniciales, como lo muestra la siguiente fotografía:

Figura 175 Fotografía del módulo “VSC Communication ref. C001” en sus pruebas preliminares.



En la segunda etapa, se presenta la tarjeta “VSC Communication ref. C001” como producto terminado, acompañada de la tarjeta diseñada para el transeiver ADM2483. Tal como se muestra a continuación:

Figura 176 Fotografía del módulo “VSC Communication ref. C001”

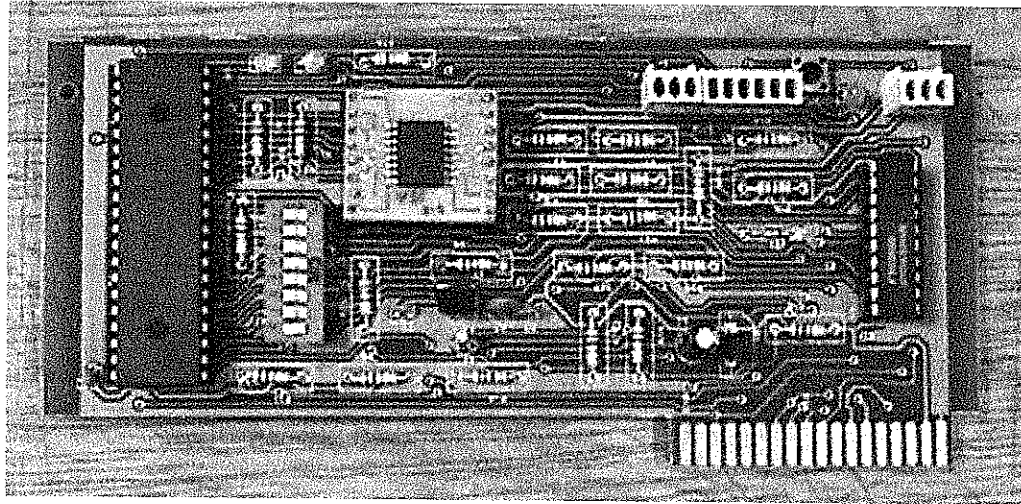
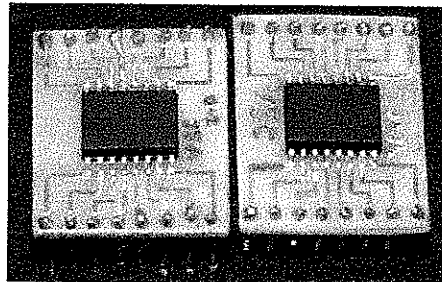
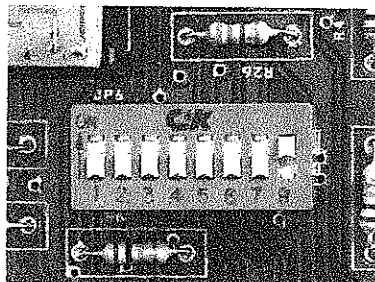


Figura 177 Fotografía de las tarjetas diseñadas para el transeiver ADM2483



El módulo de comunicaciones genérico “VSC Communication ref. C001”, cuenta adicionalmente con un DIPSWITCH (VER FIGURA 178), que posibilita configurar la dirección del equipo; permitiendo entablar comunicación desde la central de monitoreo, con un máximo de 255 equipos de incubación.

Figura 178 Fotografía del sistema de variación de dirección de la Incubadora



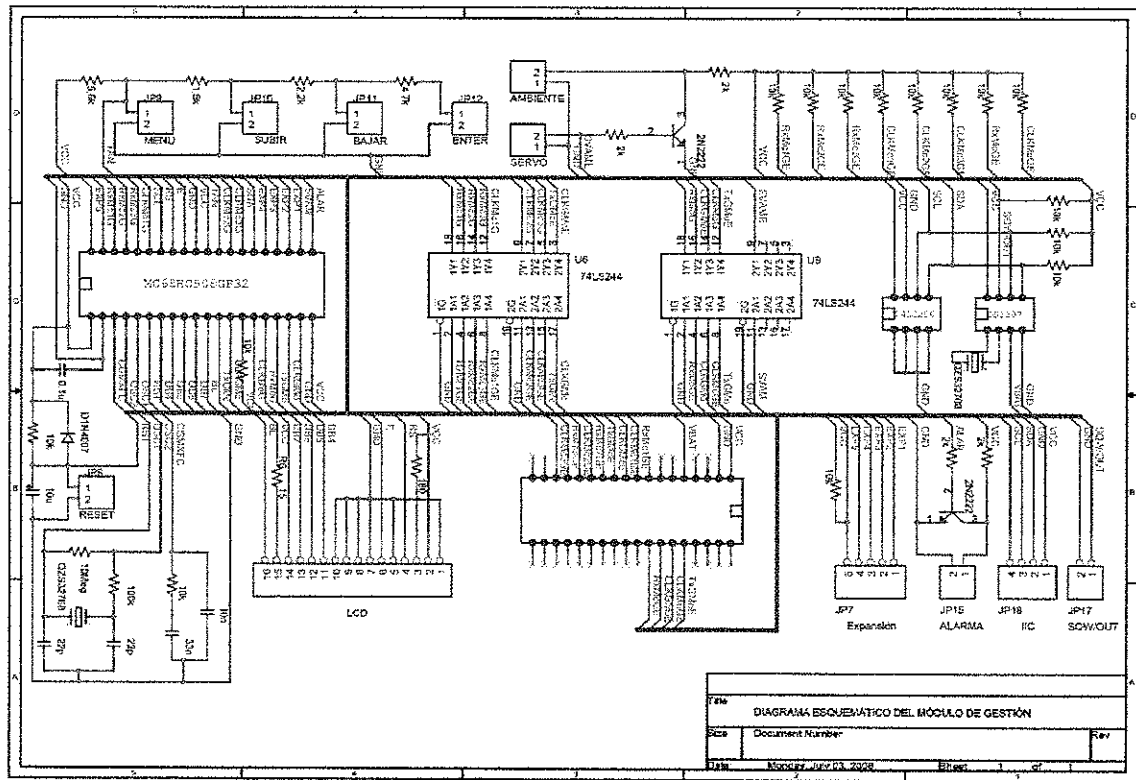
5.2.4.4 Prototipo del módulo de gestión genérico "VSC Gestor ref. G001"

Los diferentes módulos de procesos, están constantemente administrados por un módulo de gestión genérico, denominado **"VSC Gestor ref. G001"**, este módulo, permite además intercambiar información con el usuario y con el modulo de comunicación genérico. A continuación, se presentan algunos de los pasos que se siguieron en el diseño y elaboración de este módulo.

⇒ Diagrama Esquemático

El diagrama esquemático general del Módulo de gestión **"VSC Gestor ref. G001"**, se realizó en el software de simulación Orcad Release 9.1; y se muestra a continuación:

Figura 179 Diagrama Esquemático del módulo de gestión "VSC Gestor ref. G001"

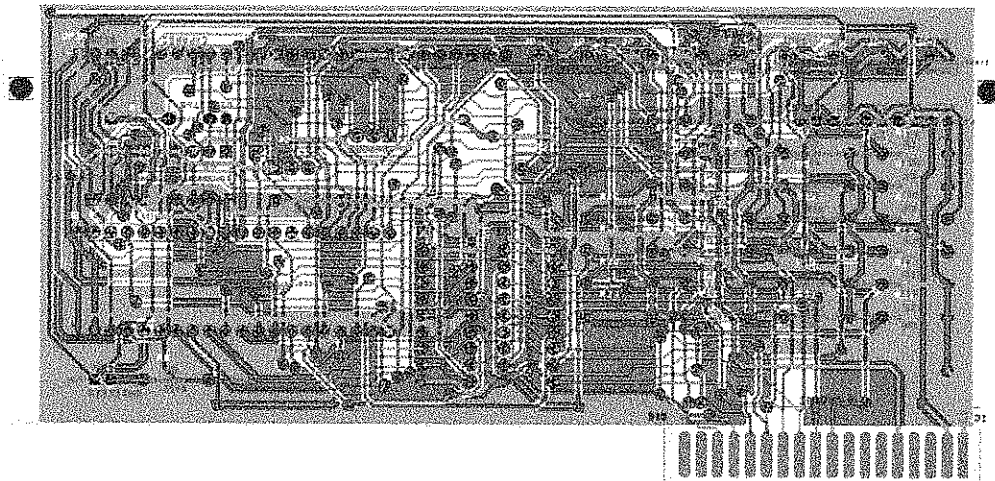


En este esquema, se muestran los diferentes componentes que conforman el módulo de gestión genérico; entre los que se destacan el microcontrolador MC68HC908GP32, el teclado analógico y el sistema para la conexión de la pantalla de cristal líquido (LCD); así como el sistema reloj-calendario y los buffers de tercer estado.

⇒ Diseño del Layout

Para el diseño de las tarjetas impresas, se recurrió a la herramienta layout del software Orcad Release 9.1; en donde se utilizaron las opciones de autorroteo y generación de capas de cobre aplicadas a las conexiones de tierra y 5 V, con el fin de proteger las tarjetas de los problemas de sobrecalentamiento producidos por excesos de corriente en las pistas. Al igual que en los módulos de proceso y comunicaciones, se observa que a los lados de las tarjetas, existen dos orificios, que sirven como punto de fijación, si se quiere involucrar a las tarjetas en algún compartimiento. A continuación se aprecia la tarjeta destinada al Módulo de gestion genérico **“VSC Gestor ref. G001”**.

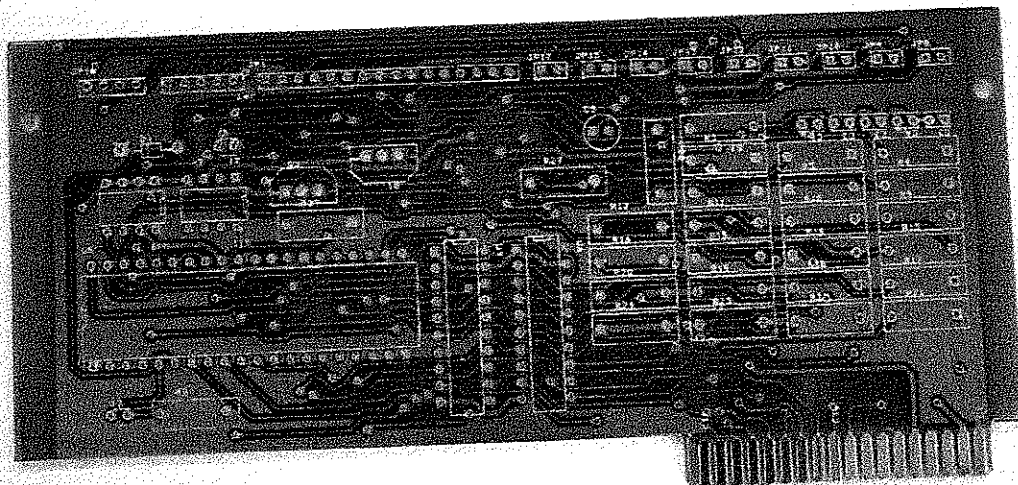
Figura 180 Diseño de la tarjeta del módulo “VSC Gestor ref. G001”



⇒ Circuitos Impresos

Una vez desarrollado el diseño de las tarjetas, se procedió a la elaboración y compra de las mismas; mostrando los resultados que se presentan en la siguiente figura, en donde se observa la tarjeta para el módulo de gestion genérico **“VSC Gestor ref. G001”**, y la distribución que tendrán los componentes.

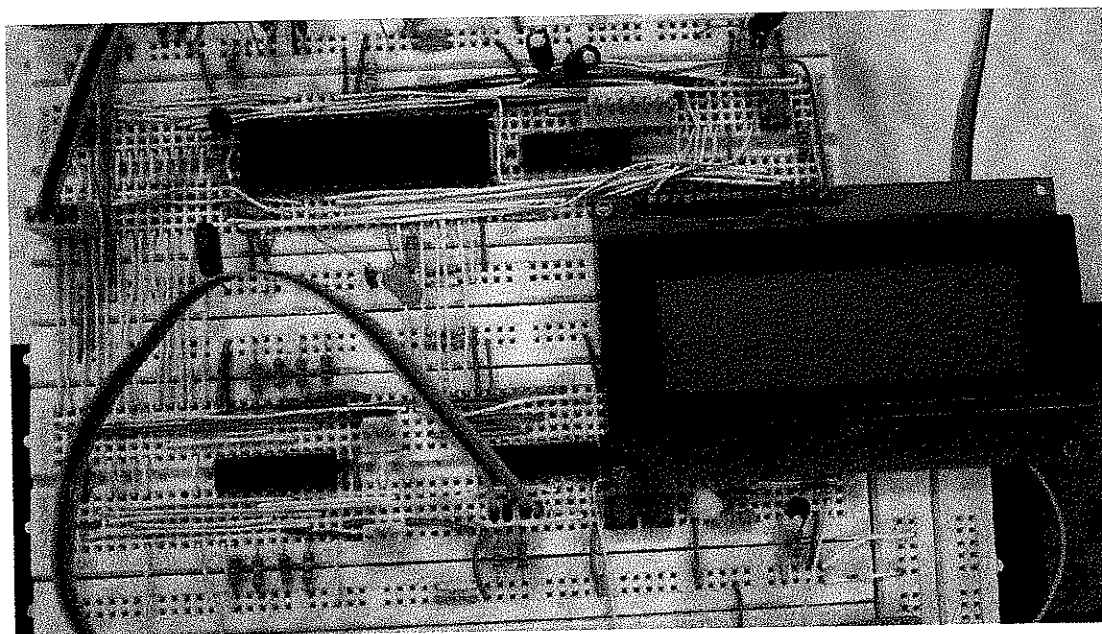
Figura 181 Fotografía de la tarjeta destinada al módulo de gestión “VSC Gestor ref. G001”



⇒ Montaje:

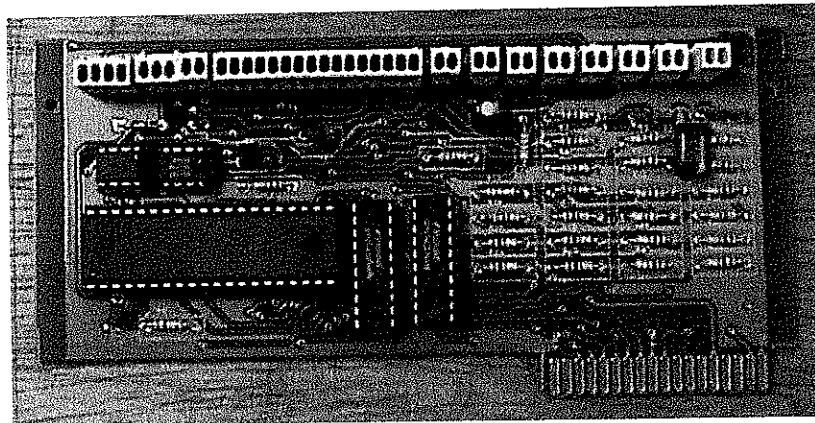
El proceso de montaje, se desarrollo en dos etapas, la primera, presenta el montaje en protoboard, orientado a las pruebas iniciales, como lo muestra la siguiente fotografía:

Figura 182 Fotografía del módulo “VSC Gestor ref. G001” en sus pruebas preliminares



En la segunda etapa, se presenta la tarjeta “VSC Gestor ref. G001”, como producto terminado. Tal como se muestra a continuación:

Figura 183 Fotografía del módulo “VSC Gestor ref. G001”



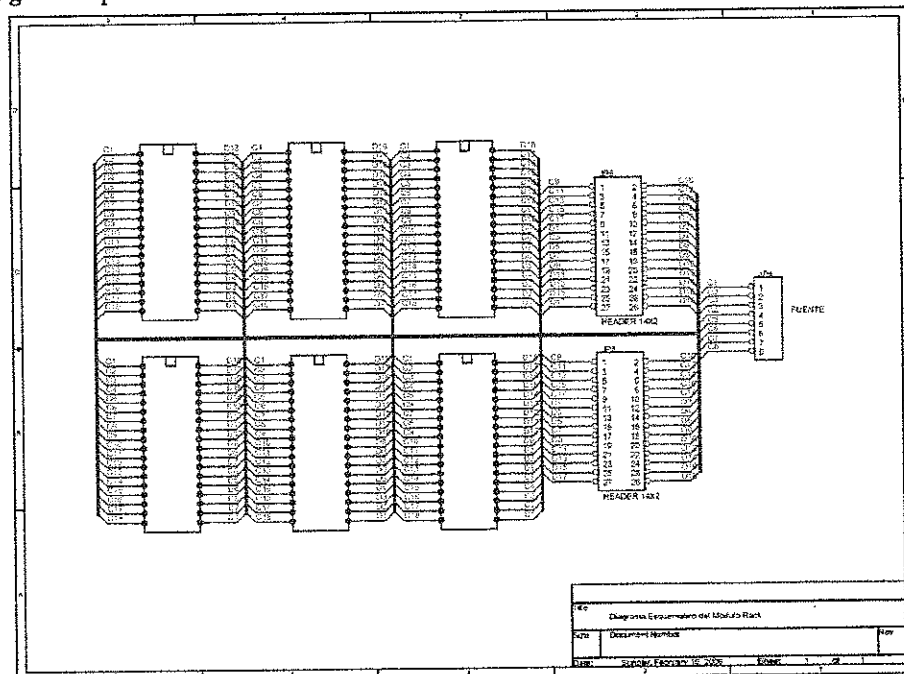
5.2.4.5 Prototipo del módulo Rack generico “VSC Rack ref. R001”

Considerando la estructura modular del sistema, se diseñó una tarjeta para realizar el proceso de interconexión de los módulos del equipo; en donde los sistemas de proceso, comunicaciones y gestión, son insertados fácilmente. Esta tarjeta recibe el nombre de módulo Rack generico “**VSC Rack ref. R001**”. A continuación, se presentan algunos de los pasos que se siguieron en el diseño y elaboración de dicho módulo.

⇒ Diagrama Esquemático

El diagrama esquemático general del Módulo Rack generico “**VSC Rack ref. R001**”, se realizó en el software de simulación Orcad Release 9.1; y se muestra a continuación:

Figura 184 Diagrama Esquemático del módulo “VSC Rack ref. R001”

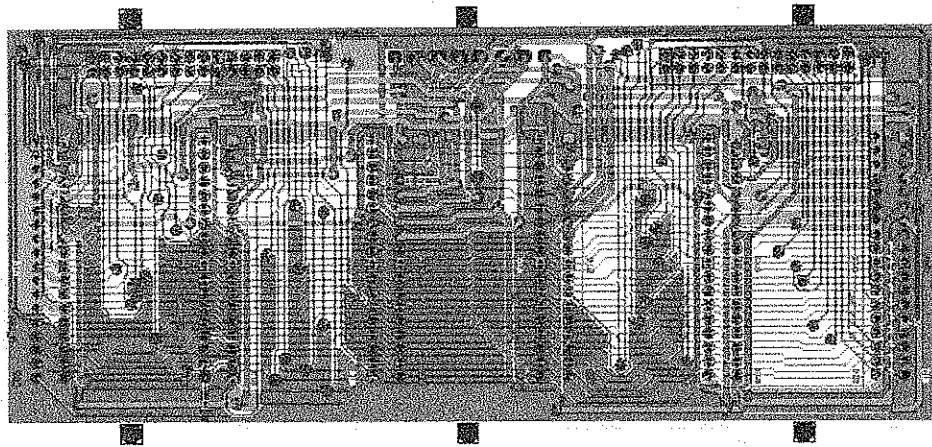


En este esquema, se muestran los diferentes conectores que conforman el módulo Rack genérico; entre los que se destacan los conectores para los módulos de proceso, comunicaciones y/o gestión, el conector para la fuente de alimentación y los conectores de expansión a otros Racks.

⇒ Diseño del Layout

Para el diseño de la tarjeta impresa, se recurrió nuevamente a la herramienta layout del software Orcad Release 9.1; se observa además, que en la parte superior e inferior de la tarjeta existen seis orificios, que sirven como punto de fijación, si se quiere involucrar a las tarjetas en algún compartimiento. A continuación se aprecia la tarjeta destinada al Módulo Rack “VSC Rack ref. R001”.

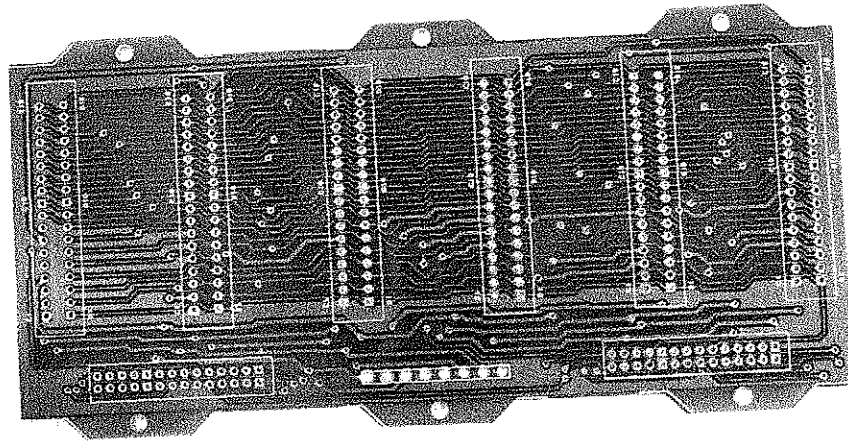
Figura 185 Diseño de la tarjeta para el módulo “VSC Rack ref. R001”



⇒ Circuitos Impresos

Una vez desarrollado el diseño de las tarjetas, se procedió a la elaboración y compra de las mismas; en la siguiente fotografía se observa la tarjeta para el módulo “VSC Rack ref. R001”, y la distribución que tendrán los conectores.

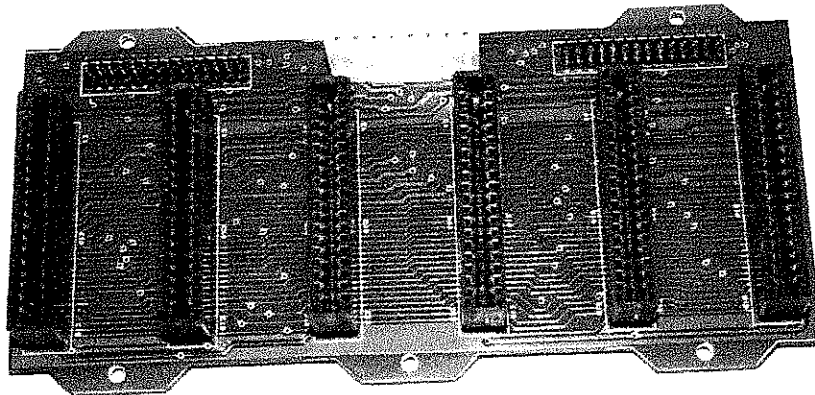
Figura 186 Fotografía de la tarjeta destinada al módulo “VSC Rack ref. R001”



⇒ Montaje:

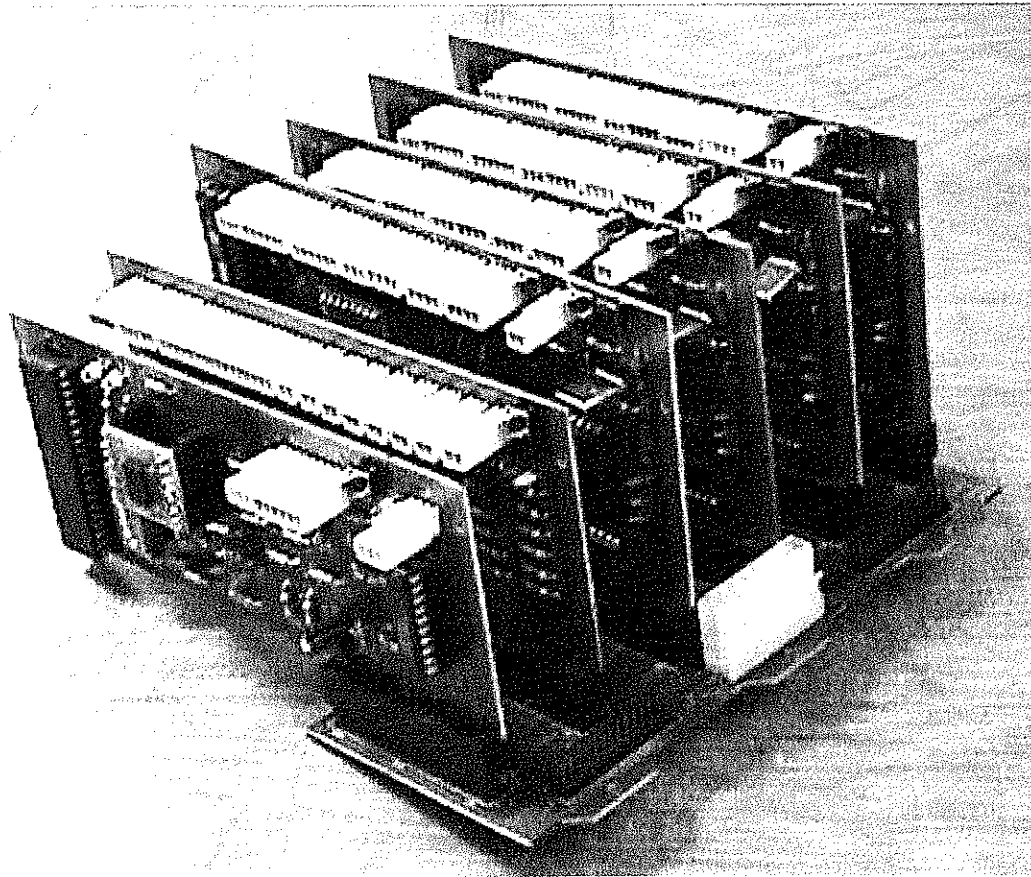
Para el proceso de montaje, se colocaron los conectores destinados a la fuente, los módulos y el sistema de expansión a otros Racks. A continuación, se puede apreciar el módulo Rack genérico “VSC Rack ref. P001” como producto terminado.

Figura 187 Fotografía del Módulo “VSC Rack ref. R001”



Utilizando esta tarjeta, fue posible ensamblar el sistema, sin tener que recurrir a conexiones o cableados complicados, disminuyendo así, el riesgo de fallas por una mala conexión. A continuación, se pueden apreciar los niveles de proceso y celda, integrados en el módulo “VSC Rack ref. P001”.

Figura 188 Fotografía de los niveles de proceso y celda, integrados en el módulo "VSC Rack ref. R001"



5.2.5 Central de Monitoreo (Nivel de Negocio)

Este nivel se constituye a partir de una pantalla de operador o central de monitoreo y control, ubicada generalmente en la estación de enfermería donde el personal calificado, de acuerdo al nivel de jerarquía puede interactuar con el sistema de información y a través de este con los bioprocesos que se están llevando a cabo en la unidad neonatal.

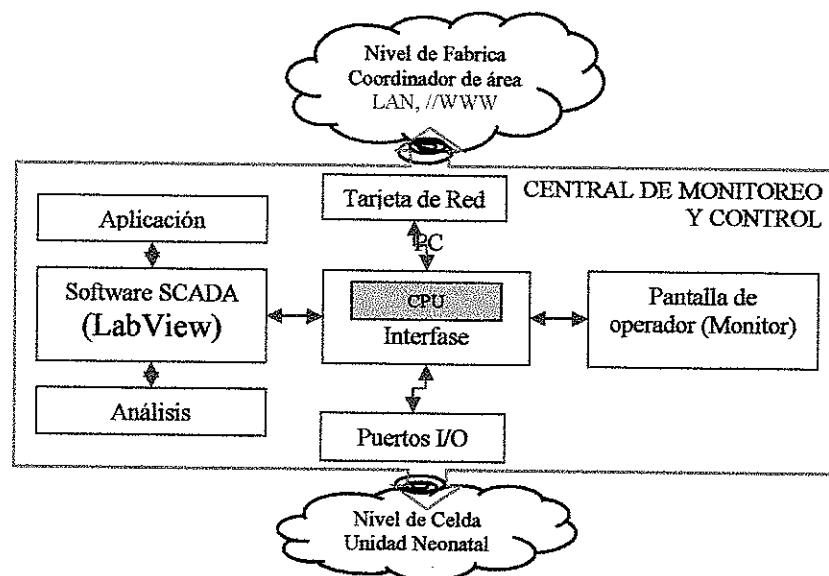
En esta pantalla o monitor se pueden observar y realizar enlaces con los procesos, para ser modificados de acuerdo al estado de alarmas y niveles de seguridad del usuario, recibir y descargar informes, que se crean automáticamente de acuerdo al tiempo programado y a las tareas en supervisión; reportes que según el nivel de seguridad de usuario contendrán información de los niveles superiores de la pirámide CIM o de los procesos locales, se ejecutan programas en línea, la presentación de la información, es muy flexible ya que el interfaz gráfico, permite la visualización de los estados de las variables del proceso en diferentes formatos.

5.2.5.1 Arquitectura

El sistema en la central de monitoreo y control cuenta con una estructura básica, que le permite realizar las acciones de supervisión, control y comunicaciones, así como todas las funciones de un supervisor. Este sistema se implementa mediante el uso de una computadora de escritorio o portátil que cuente con plataforma operativa Windows NT o superior, para soporte del software de aplicación VSC-Incusoft®, desarrollado en LabView 6i.

La figura 189, ilustra la arquitectura del supervisor, donde a través de un PC se realizan tareas de adquisición, análisis, procesamiento, presentación, gestión y comunicación de la información tanto de niveles superiores como de los inferiores.

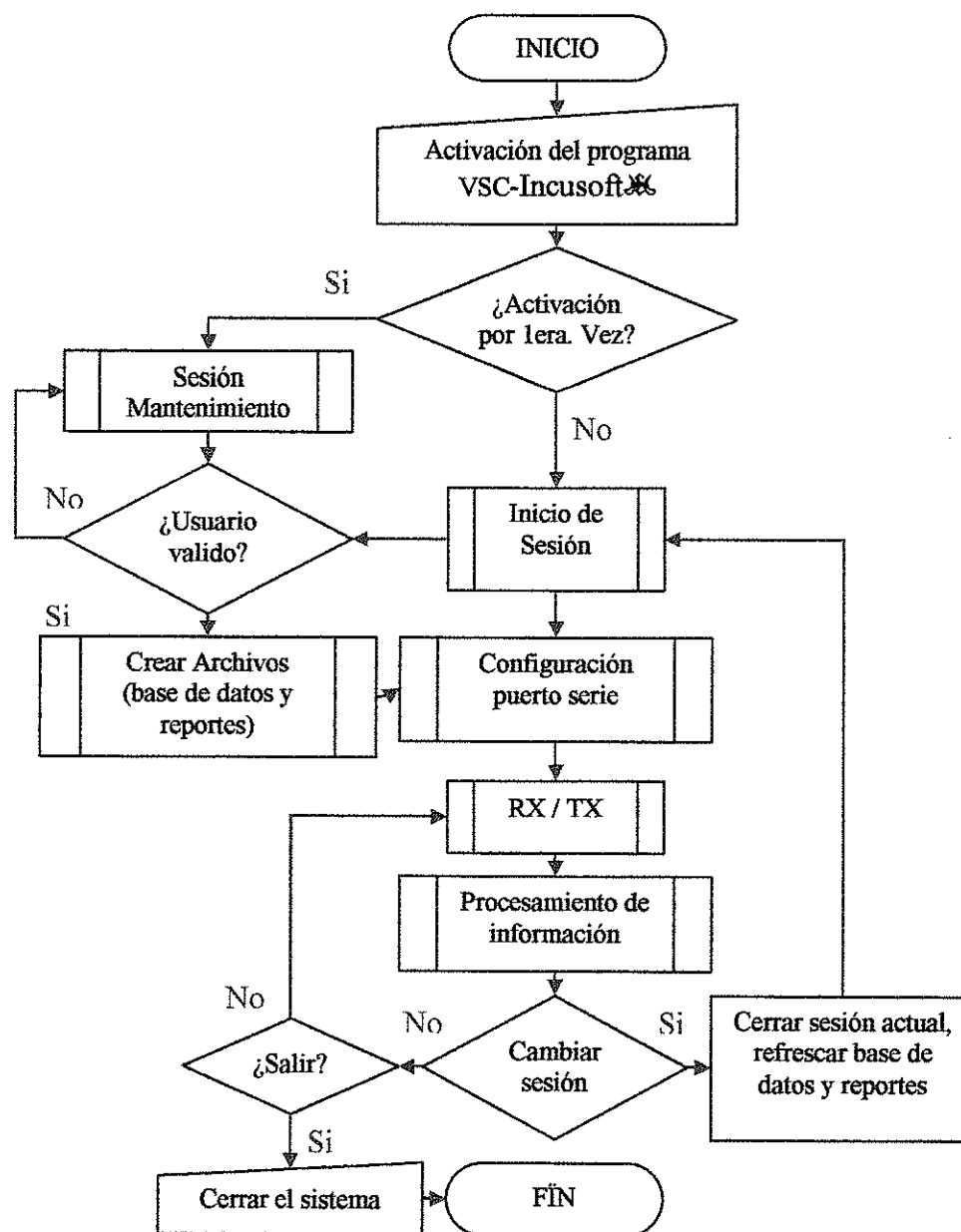
Figura 189 Arquitectura de la central de monitoreo y control "PC"



5.2.5.2 Diagrama de flujo general

El diagrama de la figura 190 ilustra el flujo de la información, desde el primer momento en que el sistema pone en funcionamiento la aplicación SCADA VSC-Incusoft®, Luego de tener la unidad neonatal conectada a través del puerto serie RS-232c del PC, se inicializa el software, el cual tiene un acceso directo mediante un icono en el escritorio, inmediatamente el software entra en línea, identifica que es la primera vez que se inicia, entonces solicita información para dar inicio de sesión en modo mantenimiento, donde se programaran los usuarios con sus ID (identificación) y su Password (clave) para la sesión administrativa, si los datos no son correctos el sistema impide el ingreso a los siguientes menús. Igualmente crea las carpetas y archivos para las bases de datos y reportes de funcionamiento, configura las comunicaciones y empieza a transmitir y recibir información de acuerdo a las unidades neonatales que identifique conectadas.

Figura 190 Diagrama de flujo general del sistema centra de monitoreo “Estación de enfermería”



A continuación se explica más el funcionamiento del sistema, describiendo cada uno de los bloques de subrutinas del diagrama general.

5.2.5.3 Comunicaciones

La Arquitectura y las comunicaciones son totalmente asequibles, ya que el sistema se ha diseñado, para que exista total independencia dentro de los diferentes procesos, con la opción de incluir nuevos sistemas o métodos, al igual que opciones de comunicación como

RF (Radio Frecuencia), u óptico. Los cuales se enlazan a través de los módulos de gestión mediante protocolos estándar como los RS232C y TCP/IP.

○ Central de monitoreo con gestor

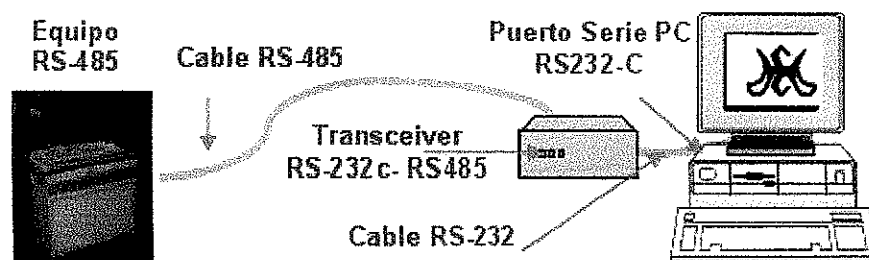
En cuanto al intercambio de información, el sistema permite entablar comunicación desde el nivel de enfermería neonatal (Negocio) con múltiples Unidades neonatales (hasta 255 incubadoras), utilizando direcciones de identificación (ID para cada una) al igual que direcciones de origen distribuidas en los niveles superiores al nivel de proceso. Cada unidad posee múltiples módulos de Proceso, encargados de realizar tareas específicas, -- como ya se menciona en el nivel de proceso "unidad neonatal"-- tales como, control de temperatura, control de humedad, monitoreo de peso, etc. Siendo estos módulos, administrados por un sistema de gestión (Controlador unidad), encargado de enrutar la información y entablar comunicación con el operador del proceso (personal especializado) y la enfermería neonatal (Central de monitoreo).

La codificación de las tramas tanto de control como de monitoreo, nos brinda una perspectiva de el poder de las comunicaciones y de la gestión de la información, observando que el nivel de utilización de la trama diseñada es menor que el 10 %, garantizando flexibilidad y sobre dimensión.

⇒ Protocolo

El protocolo de comunicación diseñado, está conformado por dos tramas, destinadas a la supervisión y el control del proceso. Estas tramas se diferencian entre sí, por dos características básicas; la primera característica es el número de datos contenidos en la trama, puesto que la trama de control posee diez (10) datos de ocho bits cada uno, y la trama de supervisión posee solamente seis (6) datos. Debido a que cuando se realizan acciones de control se incluyen los campos para los datos a cargar enumerados de Dato0 a Dato3, cada uno de 8 bits de resolución, y en los procesos de supervisión estos datos no son necesarios. La segunda diferencia entre las tramas de comunicación, radica en el estado del bit más significativo del bloque denominado control; si el estado de este bit está representado por un 1 lógico, la trama será de control, de lo contrario, será de supervisión.

Figura 191 Esquema de comunicaciones

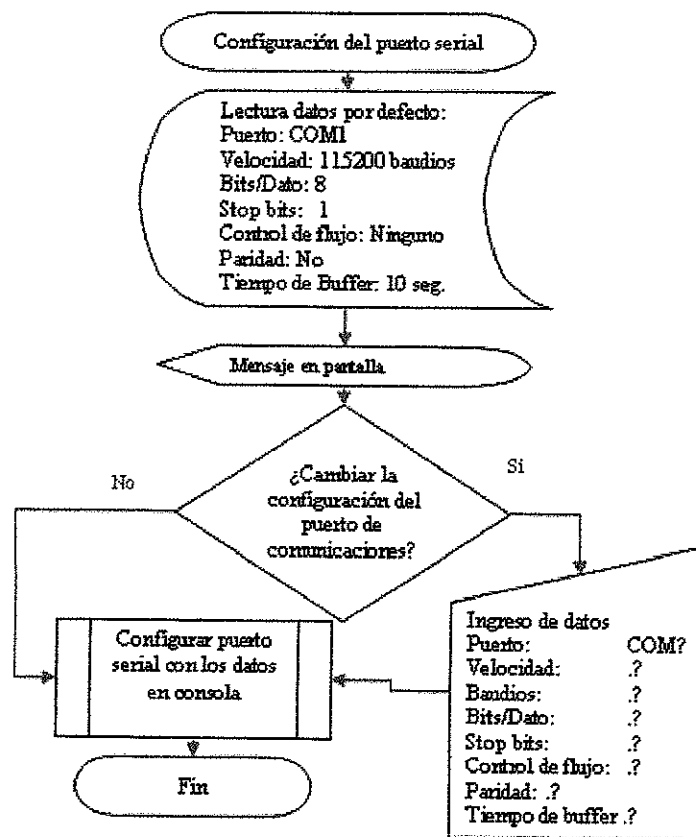


La base de las comunicaciones entre la unidad neonatal y la central de enfermería son las comunicaciones seriales asincrónicas. De la central de enfermería (PC) se sale por el puerto serie con interfase RS-232c, como lo muestra la figura 191 la cual se le puede configurar la velocidad de transmisión, el control de flujo, la paridad y el puerto de conexión, mediante un VI (instrumento virtual) diseñado para tal fin, luego pasa por un transceiver o conversor de protocolo de RS-232c a RS-485 que como se explica en el subcapítulo de comunicaciones seriales RS-485, este es un driver diferencial para comunicaciones industriales, que optimiza la comunicación ya que su característica diferencial representa inmunidad al ruido por tierras comunes, y permite mayores velocidades de transmisión de hasta 10 Mbps con respecto a la transmisión serial RS-232 que en su ultima actualización determinó una velocidad de 128 Kbps.

⇒ Programación y configuración del puerto serie del PC

La configuración del puerto de comunicaciones seriales responde a la lógica y secuencia mostrada en el siguiente diagrama de flujo, donde al habilitar la opción de configuración, esta se carga con unos datos predefinidos por defecto, mostrándolos en pantalla y dando la opción para cambiarlos o aceptarlos y según la opción elegida, el sistema configura el puerto con los valores por defecto o toma los nuevos valores. Esta función solo debe ser usada por personal calificado, con conocimientos en comunicaciones, ya que una configuración errada del sistema, impedirá el establecer comunicación.

Figura 192 Diagrama de Flujo para la subrutina de configuración del puerto de comunicaciones:

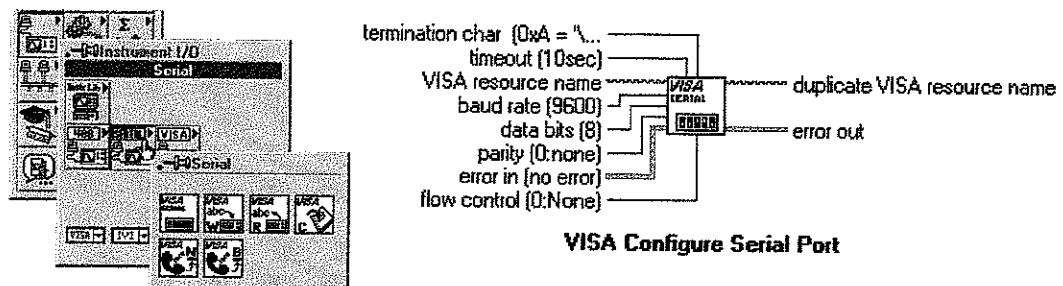


EL software LabView cuenta con VI predefinidos que facilitan la configuración de los registros, para modificar las características de la comunicación así:

- Herramientas de programación
- Función VISA Configure Serial Port

La gráfica 193 de la izquierda muestra la ubicación del VI de configuración del puerto para comunicaciones serie dentro de la paleta de funciones en el bloque de diagrama u hoja de programación. A la derecha se muestra la Herramienta “VISA configure serial port” que pasa a ser un sub. VI dentro del programa general, cada una de las líneas de conexionado, permite un tipo de control o constante que modifica o fija valores por defecto, según las exigencias de la comunicación. Como se describe a continuación:

Figura 193 Ubicación y conexionado del VI VISA Configure Serial Port.



Tomada del software LabView 6i.

- ✓ Termination char (0xA = “\...”: es un control para finalizar la lectura a través del puerto cuando se detecta un carácter especial, esta función no fue utilizada
- ✓ Timeout (10 seg.): control que fija el valor del tiempo de espera para leer o escribir en el puerto, por defecto es de 10 segundos
- ✓ VISA resource name⁵⁹: Especifica la sesión y clase de comunicación a abrir, de entre las diferentes comunicaciones VISA, este parámetro lo identifica el sistema, de acuerdo a los tipos de puerto con que cuente el PC.
- ✓ Baud rate (9600): define la velocidad de transmisión dada en baudios, por defecto toma el valor de 9600 baudios. Pero para el diseño se ha definido por arriba de esta, 12 veces, a un valor de 115200 baudios.

⁵⁹ Los diferentes tipos de sesión de I/O pueden ser: Instr, GPIB Instr, VXI/GPIB-VXI MBD Instr, VXI/GPIB-VXI/VME RBD Instr, PXI Instr, Serial Instr, TCP/IP Instr, VXI/GPIB-VXI/VME MemAcc, VXI/GPIB-VXI Backplane, VXI Servant, GPIB BoardInterface, TCP/IP Socket, para mas información acerca del tema consulte el manual de usuario de LabView en el tema VISA Resource Name Control

- ✓ Data bits (8): Es el número de bits de los que se compone cada dato. Puede ser entre 5 y 8, por defecto se toman datos de 8 bits.
- ✓ Parity (0: none): se debe dejar en 0 si no tiene bit de paridad, o en 1 para paridad impar, 2 para paridad par, 3 para marcar la paridad o 4 para paridad de espacio. El valor por defecto es 0
- ✓ Error: describe las condiciones de error al correr el VI. Por defecto la entrada es un cluster de no error. Cuando ocurre un error, el VI retorna el valor del error mediante un cluster de salida de error. Por defecto el código del error es 0
- ✓ Stop bits: Especifica el numero de stop bits usados para indicar el final de un dato los valores validos son: 10: para 1 stop bit, 15: para 1.5 stop bits y 20: para 2 stop bits
- ✓ Flow control: Es un control usado para definir el mecanismo o control de flujo para la transferencia de los datos puede ser, 0: para no implementar algún control 1: para un control por hardware XON/XOFF, 2: para control de flujo utilizando los pines RTS/CTS⁶⁰ del interfase RS-232 ó 4: para control por los pines DTR/DSR⁶¹

Cuando este valor esta vacío, el mecanismo de transferencia no usa control de flujo, y el buffer de ambos lados de la comunicación asume que siempre se están transfiriendo datos. Así es que se mantiene habilitado.

Cuando el valor seleccionado es Xon/Xoff, el mecanismo de transferencia usa los caracteres Xon y Xoff para realizar el control de flujo, el receptor envía un Xoff cuando el buffer esta casi lleno, lo que controla el flujo de entrada, suspendiendo así el flujo de salida del transmisor.

Cuando el valor seleccionado es RTS/CTS, el mecanismo de transferencia utiliza las señales RTS de salida y CTS de entrada para realizar el control de flujo, Al deshabilitar la señal RTS se indica que el buffer esta casi lleno y el control de flujo suspende la transmisión igualmente cuando CTS es deshabilitado, ya que el equipo esta receptor esta ocupado.

Si el valor seleccionado en DTR/DSR, el mecanismo de transferencia utiliza las señales DTR de salida y DSR de entrada para realizar el control de flujo, al deshabilitar DTR se indica que el buffer esta casi lleno, y el control de flujo suspende la transmisión igualmente cuando DSR es deshabilitado pues quiere decir que el equipo que recepciona no esta listo. Duplicate VISA resource name: es una copia de VISA resource name para poder usarla como referencia en otras funciones VISA.

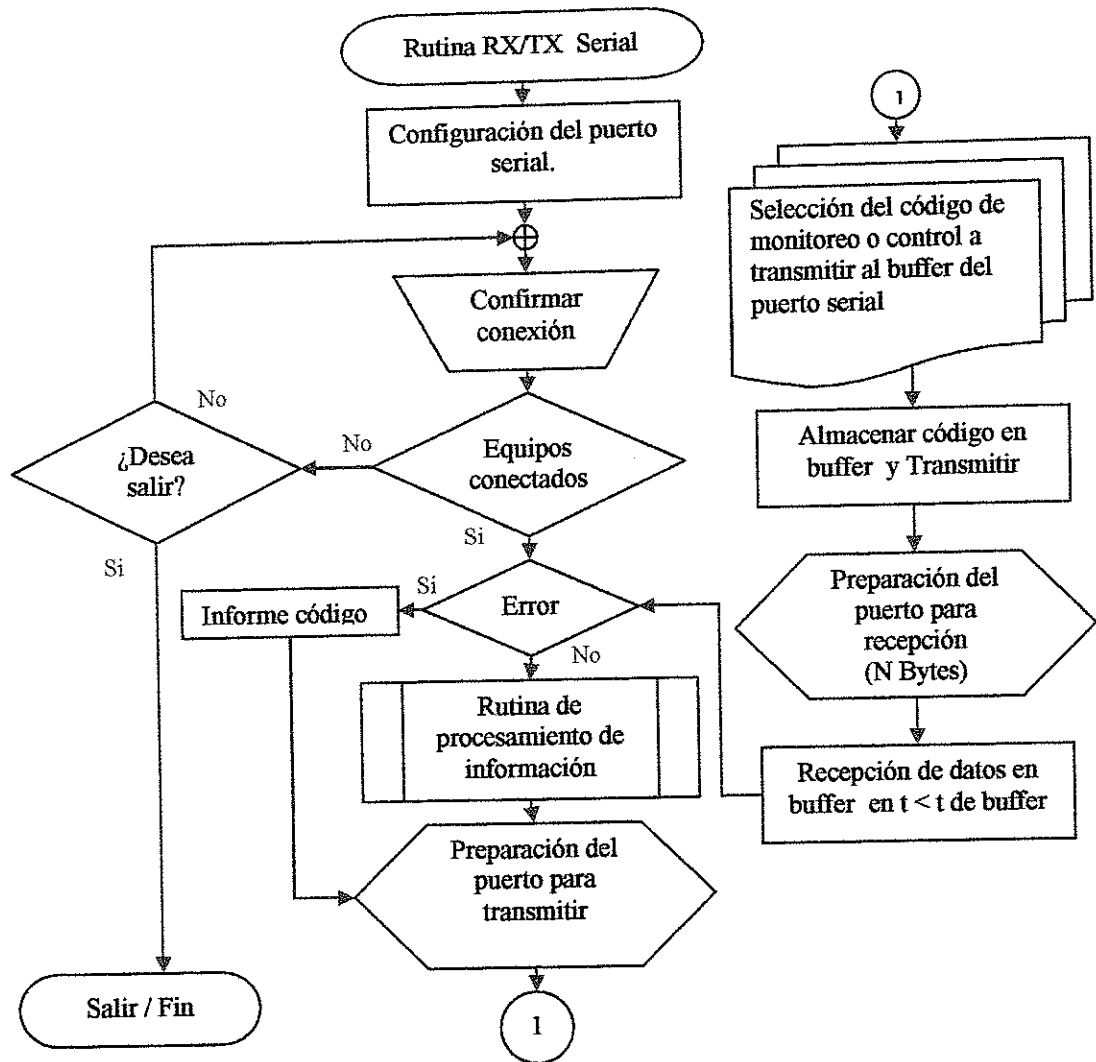
⁶⁰ Request to send/clear to send (Solicitud de Envío)/(Libre para Envío)

⁶¹ Data terminal ready/ Data send ready (Terminal de Datos Listo)/(Equipo de Datos Listo)

⇒ Programación y configuración de la transmisión y recepción serial

Luego de tener el puerto configurado con el protocolo adecuado, se inicializa el puerto preparándolo para la transmisión y recepción, mediante una comunicación Half-duplex ya que se comparte el medio entre transmisor y receptor. Luego de confirmar la conexión a las unidades neonatales, verifica posibles errores en la comunicación, y solo continua con el proceso hasta solucionar la falla, si la falla no existe o es corregida, el sistema inicia la *rutina de procesamiento de la información*, en donde se ejecutan una secuencia de *instrucciones, para identificar los equipos conectados y su estado, transmitiendo los códigos de identificación al buffer, del equipo al cual se requiere con la instrucción de control o monitoreo*, de acuerdo con esta instrucción, el sistema se prepara para la recepción de la trama de respuesta con un numero de bits fijo, de no llegar la información en el tiempo de lectura, el sistema producirá un error en la comunicación y volverá a requerir al equipo en otro momento La siguiente figura muestra el diagrama de flujo, de esta subrutina

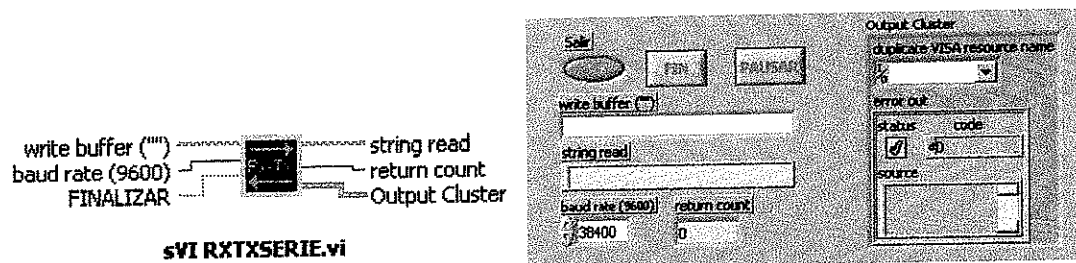
Figura 194 Diagrama de flujo para la subrutina de transmisión y recepción



Para ser implementada esta subrutina es necesario utilizar diferentes funciones de LabView creando un Sub. VI que se ejecuta inicialmente al correr el programa principal.

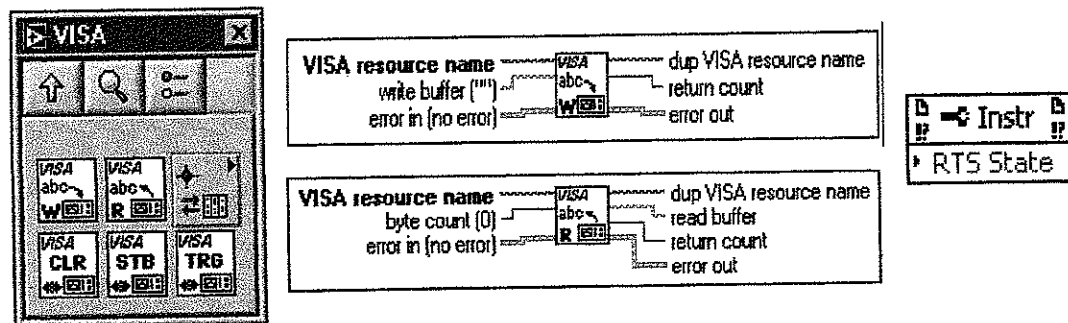
Dentro del programa principal esta subrutina se identifica mediante el icono que se observa en la siguiente figura, al igual que el panel frontal o interfase de usuario. Los controles boléanos de Salir, Fin y Pausa, cierran el programa, termina y pausa la ejecución respectivamente, en el control Write buffer se coloca el código ASCII (caracter) de la trama a transmitir por el puerto de salida, en el indicador String read se visualiza el código de la trama que se ha leído del puerto de entrada, el control Baud Rate, permite configurar la velocidad de transmisión, como se menciona en el tema de programación y configuración del puerto serie del PC, al igual que los indicadores Return Count y duplicate VISA resource name y error out.

Figura 195 Icono de conexionado y panel frontal de la subrutina de Rx/Tx



Para desarrollar el programa se utilizan instrucciones y herramientas de la programación gráfica predefinidas como se describen a continuación y se observan en la figura:

Figura 196 Herramientas VISA, Write, Properties



- Herramientas de programación
- Sub menu VISA Library Reference Functions

Se encuentra ubicado en el menú Instrument I/O y este contiene las funciones para escritura, lectura y funciones avanzadas.

Siempre debe referenciarse el nombre de VISA resource name de entrada, conectando de la salida dup VISA resource name a la siguiente función, estas funciones pueden realizarse sincrónicamente o asincrónicamente, por defecto el sistema inserta la función para operar

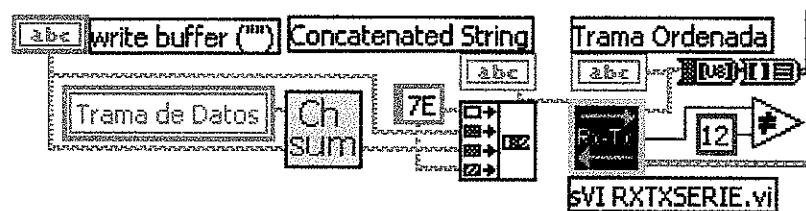
síncrono lo cual se cambia mediante la selección del menú de configuración haciendo clic derecho en el Mouse, puntando en el icono de la función, para del menú elegir la opción DO I/O Asynchrony.

- ✓ El conector de entrada de tipo String Write buffer, conecta el control donde se genera la trama de datos en código ASCII, que se va a escribir en el buffer del puerto serie como se menciona anteriormente, este dato puede ser desde un carácter hasta un máximo que depende del tamaño del buffer (almacenamiento); la escritura se mantendrá habilitada siempre que llegue un dato a este conector.
- ✓ El conector de salida return count visualiza a través de un indicador de tipo entero sin signo de hasta 32 bits es decir podrá contar hasta caracteres 4294967296 en este caso de 8 bits es decir 34359738368 apx. 34 Mbits por escritura. Igualmente ocurre para la función de lectura, colocando los caracteres leídos en un registro read Buffer, y la cantidad de caracteres leídos en el registro return count.
- ✓ La propiedad de escritura Instr RTS es una instrucción que modifica el estado de la línea RTS del interfase serial RS232 la cual puede usarse para realizar el control de flujo, sabiendo que (RTS) es una señal de salida podemos con ella habilitar y deshabilitar el hardware externo, para la conversión de RS-232 a RS485 de tal forma que se pueda utilizar un solo par para trenzado en la comunicación RS485.

⇒ Programación del preprocesamiento de información

Luego de configurar el puerto y de realizar el enlace de comunicación vía RS-232 se pueden presentar dos casos, transmisión o recepción lo que se identifica para, realizar diferentes acciones con la información según sea el caso, si fue una recepción se pasa a identificar los delimitadores de la trama, ordenarla, decodificar el checksum, verificar la existencia de error en la trama, rechazar o aceptar la transmisión, validar el proceso con alguna de las sesiones de usuario y retornar a la rutina de transmisión; si se presenta el caso de ser una transmisión, las acciones a realizar son primero, codificar la trama mediante checksum, luego insertar los delimitadores, concatenar la información (datos de control, direccionamiento e información) e igualmente validar el proceso mediante alguna de las sesiones de usuario. Esto podrá interpretarse con mayor facilidad por medio del diagrama de flujo para la rutina de preprocesamiento de la información en la gráfica 197.

Figura 197 Programa para el preprocesamiento de la información



En esta parte del programa se utilizan diferentes subVIs para cada parte del proceso, los cuales se enuncian según el listado:

Sub VI que identifica los delimitadores y organiza la trama

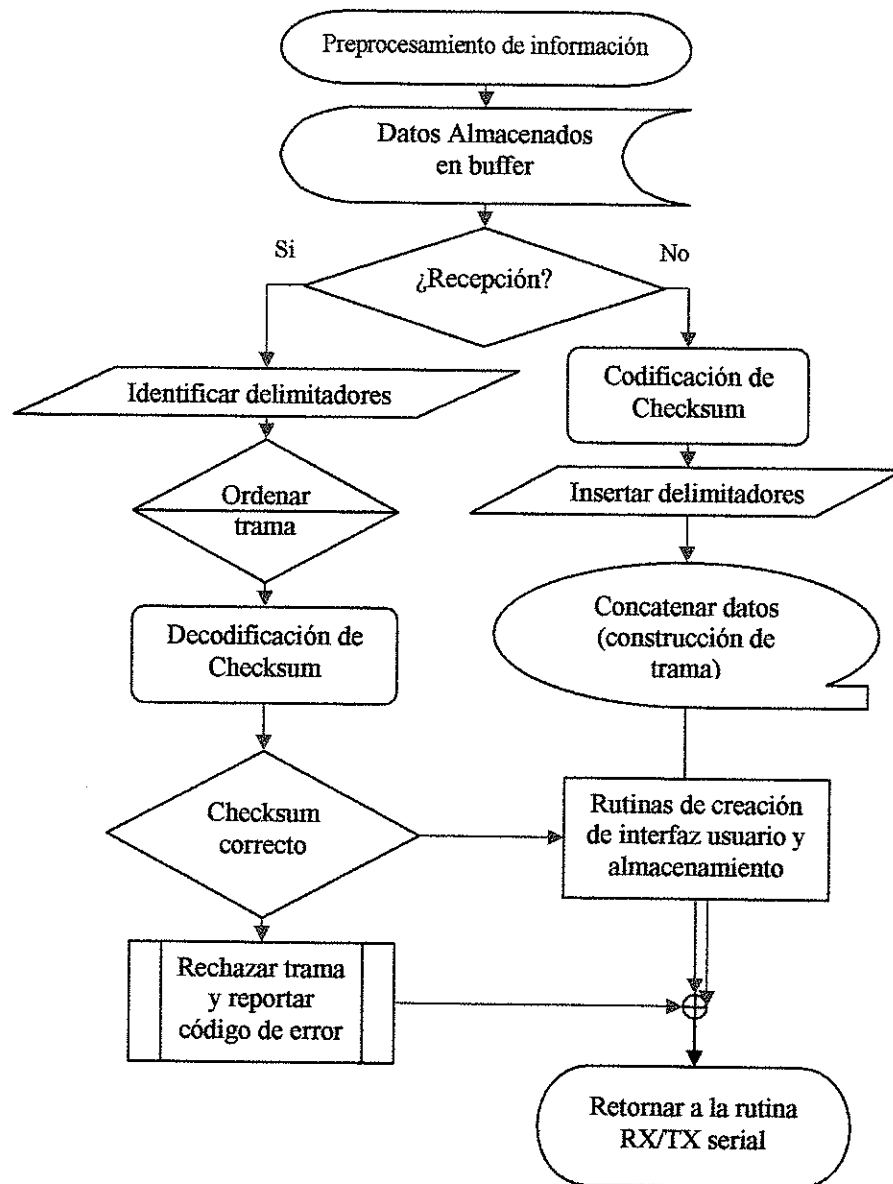
Sub VI que codifica y decodifica el checksum

Sub VI que arma la trama a transmitir

Sub VI de recepción y transmisión (retorno de subrutina)

sub. VI Interfase usuario (sesiones) que se explicara en el tema.

Figura 198 Diagrama de flujo para la rutina de preprocesamiento de información



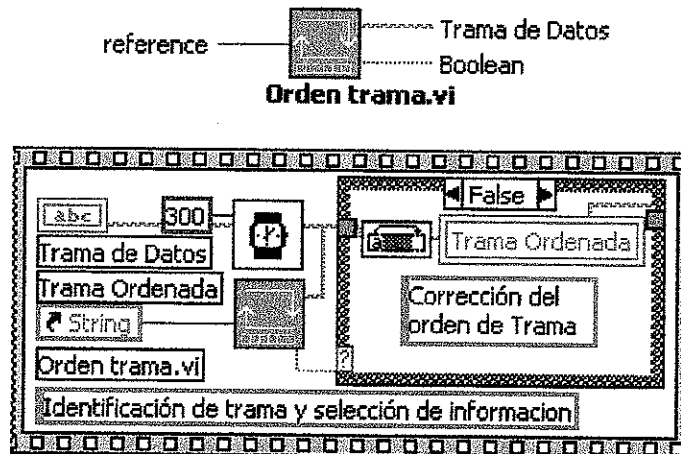
⇒ Programación de Tramas

Como ya se menciona en la unidad neonatal existen dos tipos de tramas en la comunicación, de acuerdo a si se trata a una acción de control (trama de control) o una acción de monitoreo (trama de monitoreo) recordando que en las comunicaciones la central de monitoreo funciona como maestro, refiriéndose a un equipo a la vez, primero transmitiendo y luego recepcionando la respuesta del equipo Terminal.

⇒ Ordenación de la trama

Estas tramas se identifican por sus códigos de control en el bit más significativo, pero esta información debe identificarse y organizarse para poder presentar los datos de una manera estructurada, lógica y entendible por lo cual se desarrolla un sub VI que utiliza la lógica descrita en el diagrama de flujo para el procesamiento de información, el cual al ser implementado en programación gráfica, queda como se muestra a continuación:

Figura 199 Icono de conexonado y programa para ordenar las tramas de información



Este programa identifica los delimitadores (palabra de control de inicio y fin de trama correspondiente a 7E hexa) de la trama así como las palabras de control y a partir de ellos organiza toda la información en una trama ordenada, que se ubica en un arreglo de n datos de 8 bits.

➤ Herramientas de programación

Las herramientas mas importantes que se usa para desarrollar este VI son:

○ Rotate string

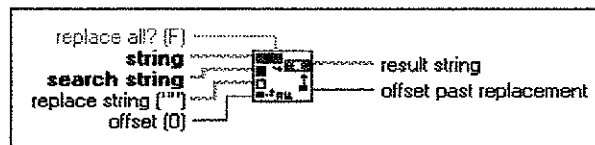
Figura 200 Función Rotate String



Es una función que se encuentra en el menú de funciones adicionales de cadena la cual toma el primer caracter de la cadena de caracteres y lo desplaza a la ultima posición rotando toda la cadena, por ejemplo: La cadena milton al rotarla quedara iltonm, esta función es polimorfita, y al conectar algún tipo de variable, la salida se representara en el mismo tipo, estos pueden ser del tipo string (cadena), cluster (agrupación), array (arreglo) of strings o array of clusters, si la cadena es de números, entonces la función tomara los valores en ASCII.

○ Search and Replace String

Figura 201 Función Search and Replace String



Esta función reemplaza una o todas las instancias de una subcadena con otra subcadena de caracteres la busca y la reemplaza si coincide enteramente con la cadena a buscar, la búsqueda puede empezar con un desplazamiento con respecto al primer carácter el cual se indica en el campo offset, el control de entrada booleano replace all se utiliza para reemplazar todas las coincidencias si el valor es verdadero, de lo contrario solo reemplazara la primera coincidencia encontrada.

El control "string" contiene la cadena donde se efectuara la búsqueda, el control "search string" es la cadena que se va a buscar y reemplazar, el control "replace string" es la cadena nueva que reemplazara la antes encontrada, el control "offset " determina el numero de caracteres en la cadena que debe desplazarse desde el primero para iniciar la búsqueda, el indicador "result string" contiene la cadena que contiene una o todas las coincidencias con respecto a la búsqueda, el indicador "offset past replacement" indica cuantos caracteres de la cadena están después de la coincidencia.

De esta forma se puede identificar las palabras de control y su ubicación.

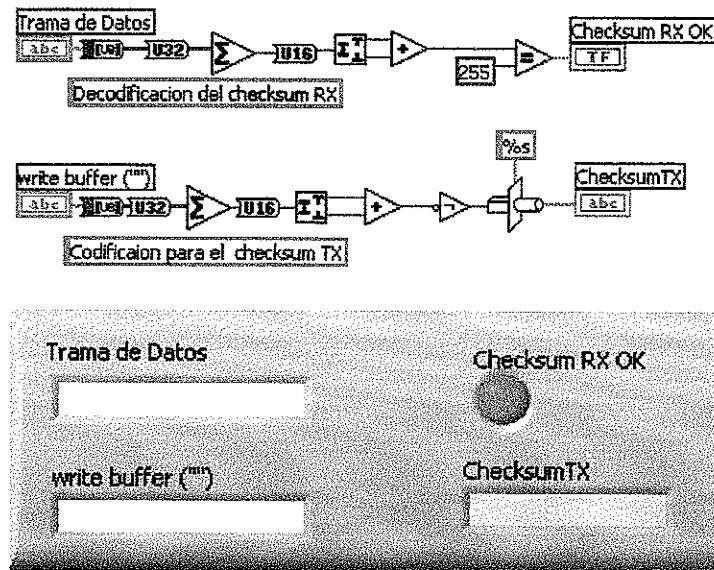
⇒ Inserción y análisis del check zum a la trama

Como se sabe uno de los campos mas importantes en las tramas es el campo de Check zum, el cual es un método para la detección de errores como se explico en el subcapítulo de tramas en la unidad neonatal. En este nivel también es necesario generar el valor de check zum para las tramas que se transmiten y recuperar el valor de las tramas que se reciben, valor que se debe comparar en ambos extremos de la comunicación, y de acuerdo a esta comparación determinar si existió o no error en el enlace.

La figura 202 muestra la programación gráfica del VI que se encarga de realizar esta codificación y decodificación para el valor del checksum.

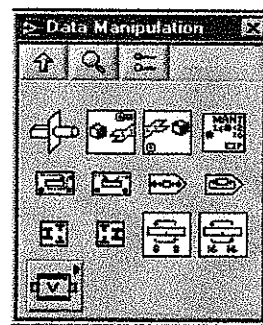
En la recepción, se colocan los datos recibidos (trama decepcionada) en la entrada o control “Trama de Datos” y de allí se separan en un arreglo de 8 bits por elemento, y luego se cambian de representación a un formato numérico de 32 bits sin signo para sumarse uno a uno, y se vuelve a cambiar la representación a 16 bits con el fin de separar la parte alta de la baja, las cuales se suman, este resultado debe ser igual a 255 en hexa, de lo contrario existirá error por checksum en la transmisión.

Figura 202 Sub VI de inserción y análisis del checksum (diagrama y panel frontal)



De forma similar se genera el dato para la trama a transmitir, al tener los datos que se van a escribir en puerto, estos se pasan en mismo proceso que el caso anterior, pero en vez de igualar la suma de la parte baja, con la alta, se realiza el complemento a 2 y el dato resultado de esto se trasforma en formato cadena, para ser agregado a la trama a transmitir. Las herramientas mas importantes que se usa para desarrollar este VI se encuentran en el menú “Data Manipulación” y son la función Split number y la función o Casting data to a string, las cuales se explican enseguida.

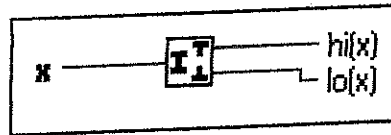
Figura 203 Menú Data Manipulation



➤ Herramientas de programación

○ Split Number

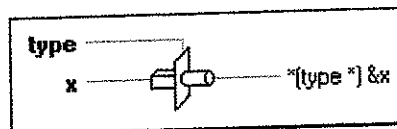
Figura 204 Función Split Number



Esta función separa un numero en sus componentes de bytes o palabras (words), por ejemplo x puede ser un numero entero de 16 o 32 bits entero o un arreglo o agrupación que contenga una parte alta "hi(x)" y una parte baja "lo(x)" al aplicar la función estas se separaran en números enteros de 8-bits y 16-bits respectivamente.

○ Casting data to a string

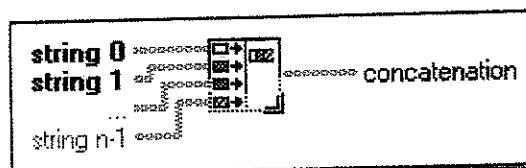
Figura 205 Función Casting data to a string



Realiza la conversión internamente e independientemente de la máquina. Esta función coloca el bit o palabra mas significativa primeo y el menos significativo después, convierte de un formato x definido a un formato de la clase que se le indique en "Type" con la representación necesaria.

➤ Concatenate Strings

Figura 206 Función Concatenate Strings



Función que concatena las entradas tipo cadena en un arreglo unidimensional o una sola cadena de caracteres, cuando se trata de entradas del tipo arreglo de cadenas, este concatena uno a uno los elementos del arreglo.

- ✓ Las entradas "string0" y "string1" pueden ser constantes o controles. Se pueden agregar cuantas entradas sean necesarias, seleccionando "Add Element" del menú que se despliega al hacer clic derecho sobre la función.

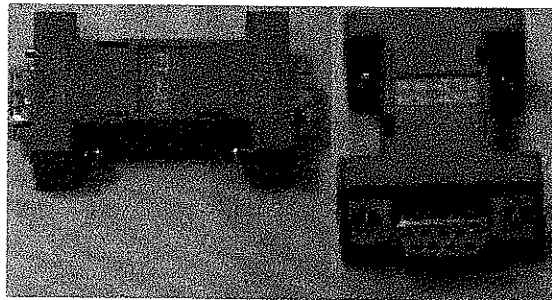
- ✓ El terminal “concatenation” contiene la cadena concatenada en el orden definido de 0 a n nodos de entrada.

Para desarrollar los sub VIs se utilizan funciones y herramientas de la programación gráfica como se describen a continuación:

⇒ Transceiver RS232 –RS485

Para introducir los datos al computador de la central de monitoreo, es necesario utilizar un dispositivo, que permita adecuar los niveles de voltaje provenientes de la red de incubadoras, a niveles de voltaje definidos en el protocolo RS232. Por este motivo, se utiliza un transceiver RS232-RS485, como el que se muestra en la siguiente figura.

Figura 207 Fotografía del transceiver RS232/RS485



⇒ Mapa de tramas

➤ Comunicación Pc – Incubadora (Supervisión)

La tabla 29 muestra la asignación de los códigos de control para una acción específica de monitoreo como se describe a continuación:

Valor y referencia de temperatura mod. Temp. Paciente: Se refiere a los datos de dos bytes (16 bits) que representan la magnitud de la temperatura, tanto de referencia como la presente en el sistema cuando opera desde modo servo (basada en la temperatura del paciente).

Estado módulo de temperatura paciente: Códigos asignados para identificar la trama que contiene información del sistema base (I/O); consumo de potencia del actuador de temperatura, los Estados del sensor de temperatura cutánea e información sobre la última manipulación.

Valor y referencia de temperatura mod. Temp. Ambiente: coloca en los campos correspondientes a los datos la parte alta y baja de los valores de temperatura que se encuentra en el sistema y el valor de la temperatura que se encuentra almacenado en el registro temperatura de referencia de la unidad neonatal., ya que este pudo haber sido

manipulado desde otros niveles de la pirámide de automatización. Actualizando de esta forma la información.

Estado módulo de temperatura ambiente: Este campo se llena de forma similar que el estado módulo de temperatura paciente, haciendo lógicamente referencia a la temperatura ambiente.

Valor, referencia, consumo de pot. y estado del mod %H. Esta trama contiene la información del porcentaje de humedad, su valor relativo, el valor de la referencia y el nivel de utilización (potencia consumida) así como el estado del sensor y el nivel del agua.

Valor y referencia cero del módulo de peso: de igual forma que el campo de temperatura, contiene la parte alta y baja de los valores de referencia con la diferencia que esta se da para el punto relativo de cero (ajuste a cero).

Estado del módulo de peso: muestra la funcionalidad del sensor de peso celda de carga (galga extensiométrica)

Estado de energía del equipo: Campo de información que indica el tipo de energía que esta en uso y los porcentajes de la batería de procesamiento y de la batería respaldo.

Tabla 29 Mapa de la trama de supervisión para la comunicación Central de monitoreo/Unidad Neonatal

CONTROL	DESCRIPCIÓN
00	Reservada
01	VALOR Y REFERENCIA DE TEMPERATURA MOD. TEMP. PACIENTE
02	ESTADO MÓDULO DE TEMPERATURA PACIENTE
03	VALOR Y REFERENCIA DE TEMPERATURA MOD. TEMP. AMBIENTE
04	ESTADO MÓDULO DE TEMPERATURA AMBIENTE
05	VALOR, REFERENCIA, CONSUMO DE POT. Y ESTADO DEL MOD. %H
06	VALOR Y REFERENCIA CERO DEL MÓDULO DE PESO
07	ESTADO DEL MÓDULO DE PESO
...	
7F	ESTADO DE ENERGÍA DEL EQUIPO

➤ Comunicación Pc - Incubadora Trama de Control

La siguiente tabla muestra la asignación de los códigos de control para una acción específica de control, donde el dato 3 corresponde a la parte alta del dato de control (cambio de referencia) para cada proceso y el dato 2 contiene la parte baja. La palabra de control 80 es reservada para el sistema.

Tabla 30 Mapa de la trama de control para la comunicación Central de monitoreo/Unidad Neonatal

CONTROL	DATO 3	DATO 2	DATO 1	DATO 0	DESCRIPCIÓN
80					reservada
81	REF. TEMP PAC. H	REF. TEMP PAC. L			
82	REF. TEMP AMB. H	REF. TEMP AMB. L			
83	REF. %H				
84	REF. PESO CERO H	REF. PESO CERO L			
85	NOMBRE PACIENTE				4 LETRAS
86	NOMBRE PACIENTE				4 LETRAS
87	NOMBRE PACIENTE				4 LETRAS
88	NOMBRE PACIENTE				4 LETRAS
89	NOMBRE PACIENTE				4 LETRAS
FD					4 LETRAS
FE					reservada
					reservada

➤ Comunicación Incubadora - P_C (RTA)

Para cada trama que la central de monitoreo produce, requiriendo información del sistema de la Unidad neonatal (reportes, estados de las variables, referencias etc). La unidad neonatal produce una respuesta que esta configurada de igual forma por una serie de campos como se describe en las comunicaciones del nivel de celda (unidad neonatal)

Tabla 31 Mapa de la trama de respuesta a control Unidad Neonatal /Central de monitoreo

CONTROL	DATO 3	DATO 2	DATO 1	DATO 0	DESCRIPCIÓN
00	----	----	----	----	reservada
01	Valor temp. Pac H	Valor temp. Pac L	Ref. Temp pac. H	Ref. Temp pac. L	
02	Consumo pot. Temp. Pac.	Estado sen. Temp. Pac.	Estado act. Temp. Pac.	Ultima manipulación	
03	Valor temp. Amb H	Valor temp. Amb L	Ref. Temp amb. H	Ref. Temp amb. L	
04	Consumo pot. Temp. Amb.	Estado sen. Temp. Amb.	Estado act. Temp. Amb.	Ultima manipulación	
05	Valor %h	Ref. %h	Consumo pot. %h	Estado sen, act; nivel agua.	
06	Valor peso h	Valor peso l	Ref. Peso cero h	Ref. Peso cero l	
07			Estado sen. Peso	-----	
7F	Fuente de energía	% batería procesamiento	% batería respaldo	-----	-----
FD	Valor temp. H	Valor temp. L	Ref. Temp. H	Ref. Temp. L	Módulo Invertido
FE	Modulo	-----	-----	-----	No existe

➤ Descripción De Bytes

Como sabemos cada dato de control ya sea de la trama de supervisión o de la de control tiene datos de 8 bites, en la siguiente tabla se describen estos bites para las palabras de control de respuesta a el estado general del sistema así: 02 estado módulo de temperatura paciente, 04 estado módulo de temperatura ambiente, 05 valor, referencia, consumo de pot. y estado del mod. %h, 07 estado del módulo de peso, 7F estado de energía y FE que indica fallas en cualquiera de los niveles por debajo de la unidad neonatal

Tabla 32 Mapa de la descripción de bytes

CONTROL	DATO	7	6	5	4	3	2	1	0
02	2					-----	-----	-----	falla sensor 1
02	1					activación R auxiliar	falla ventilador	Falla R auxiliar	falla R principal
04	2					-----	falla sensor 3	falla sensor 2	falla sensor 1
04	1					activación R auxiliar	falla ventilador	falla R auxiliar	falla R principal
05	0					-----	falla sensor 1	falla actuador	falta agua
07	1					-----	-----	-----	falla sensor 1
7F	3					-----	-----	batería de respaldo	red comercial
FE	3					-----	-----	falla gestor	falla proceso

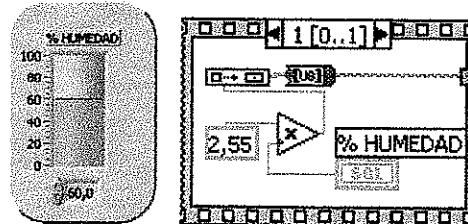
5.2.5.4 Control Y Monitoreo

Teniendo en cuenta que los sistemas SCADA proponen que el control sea distribuido por los diferentes niveles, lo más conveniente es que las estrategias de control se realicen lo mas cercanas posibles al proceso en planta, es por esto que para el caso de la aplicación del SCADA en Neonatología, este control se efectúa en cada uno de los procesos, sin embargo la conectividad permite realizar algunas variaciones en el sistema, como por ejemplo, cambiar el valor de las señales de referencia, lo cual ara que aumente o disminuya la magnitud de las variables del o de los procesos a las cuales se les hizo alguna modificación. Sin embargo en muchas ocasiones se encuentran sistemas donde el control se realiza desde la misma central de monitoreo, implementando estrategias On/Off, PID y hasta fuzzy, pero esta opción genera dependencia directa en el sistema de la central de monitoreo, para poder realizar algún proceso, lo cual limita el sistema en cuanto a recursos, y como debe ser redundante muchas veces se encuentran sistemas completos de apoyo o emergencia que hacen costosa la solución. Al hacer esta redundancia a un nivel mas bajo, como en este

Como el sistema se encuentra escalizado, este valor de referencia nuevo es operado por una constante de proporcionalidad, la cual lleva al dato a un a ventana de 0 a 255 en hexadecimal, dato que entra a ser parte de la trama de control.

➤ Humedad relativa

Figura 209 Panel frontal y diagrama del Control de Humedad



Al igual que el control de temperatura, el control (cambio de referencia) se realiza por medio de un control tipo numérico, pero esta vez se utilizo el control en forma de tanque, que sal igual que el termómetro, puede variarse por medio del display digital o con el desplazamiento de la línea que indica el valor, subiéndola para aumentar el % de humedad en la recamara de incubación, o bajándola para disminuirla. El factor de escala es de 2,55 veces el valor registrado, con el fin de llevar el valor en % de humedad a un equivalente con base en una ventana ASCII de 1 a 255, dato que se convierte a la forma se array de 8 bits y luego a cadena con su equivalente en hexa, para ser concatenado a la trama de datos de control.

Para el monitoreo, los datos son recepcionados en las tramas de monitoreo, luego de ser identificada su organización y análisis de errores, se operan inversamente, aplicándoles el factor de escala y visualizándolos en un panel organizado, mostrando varias representaciones, para facilitar la lectura por parte del usuario.

Figura 210 Panel frontal del Monitor de variables del proceso

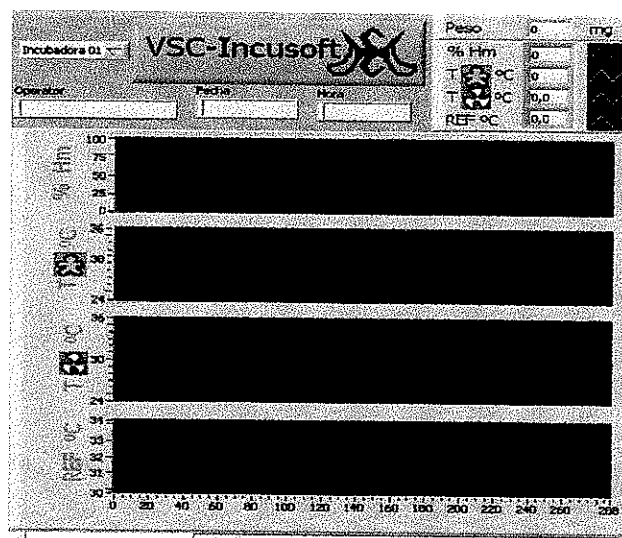
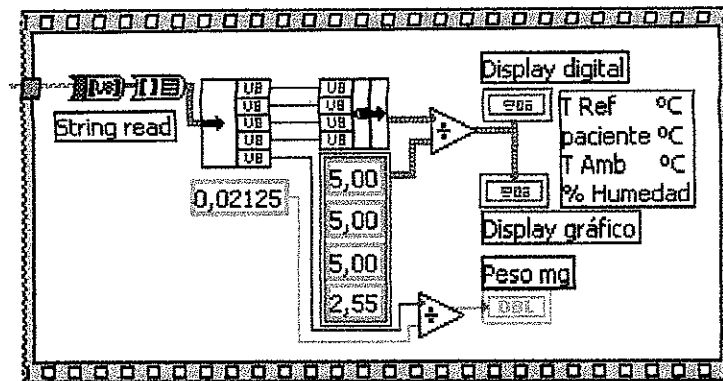


Figura 211 Diagrama del monitor de variables del proceso



En el panel frontal se observa un control de selección, marcado con el nombre de Incubadora 01, este control trae al frente a la incubadora que se desea observar, si existen varias unidades neonatales conectadas, el sistema realizara una visualización dinámica, la cual se cancelara en el momento que se elija alguna en especial, visualización que se reanudara al no detectar actividad por parte del usuario durante un tiempo determinado.

El cuadro superior de displays digitales, muestra las variables de proceso con sus respectivos valores leídos, en las unidades especificadas. De igual forma la pantalla multi graficadora, muestra todas las señales en simultáneo, en el tiempo, lo cual nos permite, comparar datos y observar la tendencia del sistema en todas sus variables.

Muestra un dialogo informativo donde aparece el nombre del usuario la fecha y la hora del sistema, información que se usa para la generación de reportes.

➤ Paso

Esta variable no es controlada, ya que no se puede ejercer ninguna acción para modificar su magnitud, ya que es total mente independiente del sistema (depende del paciente) sin embargo, se determino necesario hacerle seguimiento (monitoreo) ya que es un valor muy importante para la toma de dediciones a nivel medico, ya que a partir de el se dosifican los medicamentos.

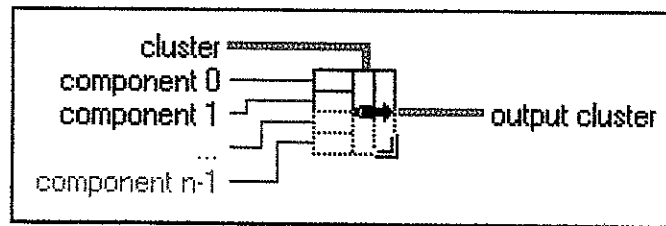
La forma como se lleva a cavo esta supervisión es análogo a las variables antes mencionadas, con la diferencia que el factor de escalización es de 0.02125 dando una resolución de 50 gramos si se utilizan datos de 8 bits, como es necesaria una resolución de 5 gramos de escala con una constante de 25. (Ver conversores ADC Sistemas de alta resolución)

➤ Herramientas de programación

Para desarrollar este VI se utilizaron diferentes herramientas del software LabView, de las cuales se explican las más representativas así:

○ Bundle

Figura 212 Función Bundle



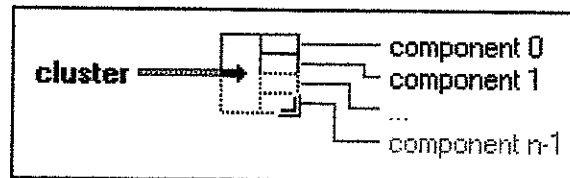
Esta función reúne todas las entradas individuales en un solo grupo (Cluster), se pueden agregar nuevos componentes a una agrupación ya existente. Los componentes pueden ser de tipo diferente, ya que esta función admite diferentes tipos de función (polymorphic).

El terminal cluster es una agrupación existente la cual se puede modificar con los elementos de entrada, o reemplazar los elementos existentes

Los Terminales component 0, component 1, son los parámetros de entrada, o las funciones, el resultado de la agrupación será el conjunto de elementos de la entrada.

○ Unbundle

Figura 213 Función Unbundle



Esta función es la inversa de la función Bundle, la cual desensambla una agrupación (Cluster) en sus componentes individuales. La función produce tantas salidas como elementos contenga, en el orden que se encuentran los componentes.

○ Array To Cluster

Figura 214 Función Array to cluster.



Esta función convierte un arreglo de elementos a una agrupación, la cual puede ser de arreglos. Esta función, también opera con diferentes tipos de funciones, es polimorfit. El número máximo de elementos que puede contener es de 256. Sin embargo los arreglos de entrada pueden ser de diferentes dimensiones.

○ Waveform chart

Figura 215 Función Waveform Chart



Es un tipo de indicador especial, que contiene un display o mas plots (gráficas) se pueden visualizar una sola variable o múltiples variables en el tiempo, LabView interpreta, un punto del gráfico como un dato y al incrementar el eje x (tiempo) o el eje y valor de la variable, traza la manifestación de estos incrementos, se inicializa en la $X = 0$. Para que se visualicen varias gráficas, se debe combinar con el uso de la función Bundle para agrupar la información de las variables a graficar (como se explico anteriormente)

⇒ Sistema Base

Como el sistema debe no solo supervisar las variables del proceso, sino todos los elementos que lo conforman, con el ánimo de garantizar condiciones de operatividad normal y poder reaccionar rápidamente, en el caso de que se presente alguna eventualidad de alarma. Como ya se vio en los anteriores niveles en un sistema SCADA la supervisión en todas las etapas del proceso, facilita la identificación de fallas y la oportuna corrección. Este tipo de instrumentación (piloto) o de aviso es denominada por algunos autores como instrumentación muerta, pero “realmente es la más viva” ya que nos permite estar con los ojos en el proceso (sentidos) sin necesidad de tener operarios en cada nivel, supervisando el estado del equipo.

Se ha denominado sistema base a todos aquéllos dispositivos que intervienen con las variables del proceso I/O (sensores, actuadores y parte de su acondicionamiento) así como las comunicaciones, de tal forma que su estado, hará que la medición (adquisición de datos) sea lo más próxima a la realidad.

Estos datos llegan al sistema contenidos en la trama de supervisión, en la medida que sean solicitados por la central de monitoreo, mediante el código asignado para esto (ver mapa de tramas contenido en las tablas 29 a 32) en forma cíclica, para generar los reportes de funcionamiento, tanto en estado permanente como cuando se manipula el sistema, (variaciones de referencias).

➤ Sensores y actuadores térmicos

Se monitorea, el estado de los sensores y los actuadores térmicos, los primeros mediante la recepción de un bit de alerta que indica cual sensor esta operando irregularmente o a perdido conexión. Los segundos (actuadores) son censados en cuanto a su estado de encendido o apagado, (resistencia de baja potencia y la resistencia de precalentamiento de mayor potencia), así como el nivel de utilización en % (relativa) el cual se identifica mediante la medición de la potencia de consumo, en el actuador.

➤ Estado del motor ventilador

Esta se sensa a partir de un movimiento de rotación del eje, a través de un sensor fotoeléctrico del tipo emisor receptor, como se explico en la parte correspondiente a instrumentación, este tren de pulsos generados por el sensor se acondiciona para controlar un conversos frecuencia a voltaje y este a su vez es pasa por un ADC para luego procesar esta información y poder visualizarla en el nivel de celda, el cual por medio de un bit en la trama de supervisión comunica el estado de funcionamiento correcto o incorrecto del dispositivo a al central de monitoreo.

➤ Humidificador

El funcionamiento de este actuador, así como del sensor, es análogo al sistema térmico.

➤ Alimentación

Como se describió en el mapa de la trama de datos, la información del estado de las fuentes de alimentación hace referencia a el tipo de alimentación que se esta utilizando (Red eléctrica o Batería), sí la fuente es por medio de batería, se mostrara el nivel de carga según sea la batería de procesamiento y la auxiliar (batería de respaldo)

La figura 216, muestra el panel frontal de supervisión, de los estados del sistema base, para ver la información detallada de cada elemento, es necesario estar en una sesión administrativa o de mantenimiento, para la sesión médica, solo se visualizan las alarmas por falla, y se requerirá soporte técnico, la sesión familiar no tiene acceso a este panel.

Se observa que la herramienta de tipo Tap Control muestra tres pestañas, una para cada tipo de elementos del sistema; sensores, actuadores y comunicaciones, indicando el estado Ok o con al algún tipo de falla a nivel general en cada página del Tap Control

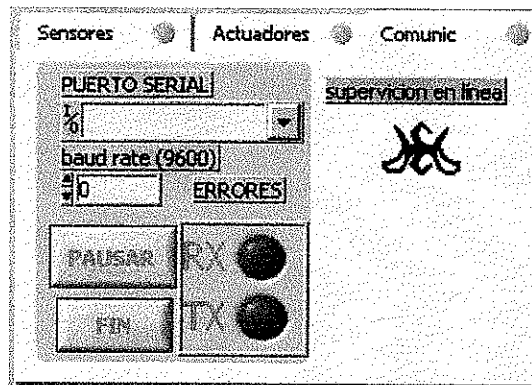
Figura 216 Panel de supervisión para el sistema base



➤ Comunicaciones

Para la supervisión de las comunicaciones, la tercera pestaña de izquierda a derecha, muestra la configuración general del puerto de serie e indicadores para visualizar los errores de transmisión o recepción así como controles para pausar y finalizar el proceso de comunicación.

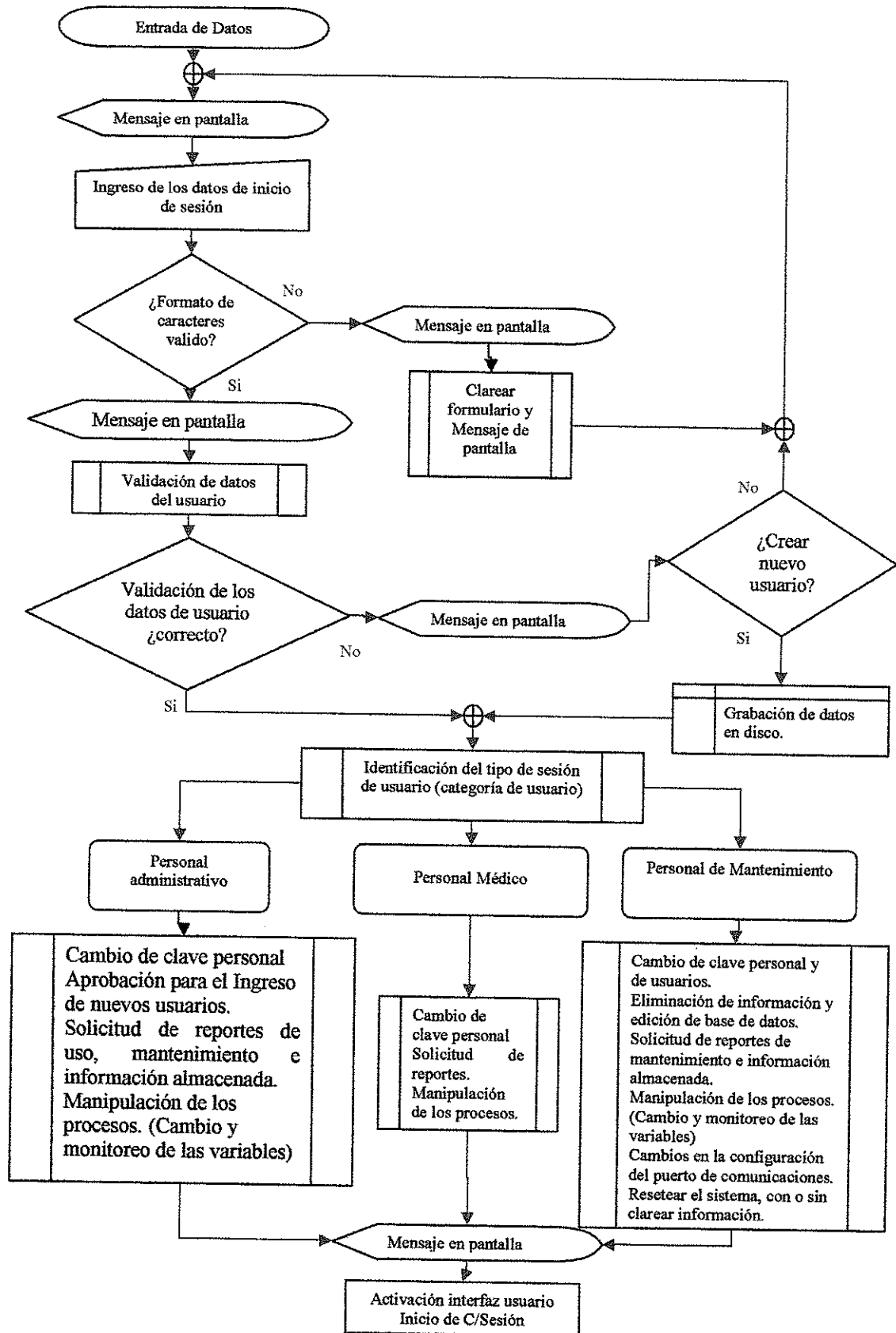
Figura 217 Detalle del panel de supervisión del sistema base referido a comunicaciones



5.2.5.5 Gestión del sistema.

Se ha desarrollado toda una plataforma para el manejo de la información, teniendo en cuenta varios aspectos relevantes, como la seguridad, el uso de diferentes tipos de sesiones, la supervisión y control de procesos, el almacenamiento de información, y la conectividad con otras redes.

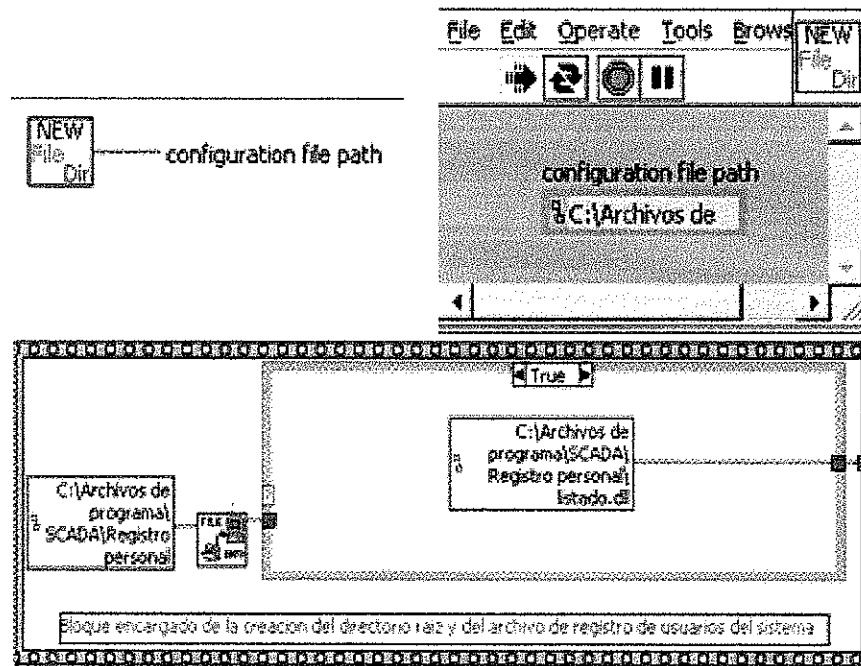
Figura 218 Diagrama de Flujo para la subrutina para el inicio de sesión de los usuarios



⇒ Creación de carpetas y base de Datos

En el primer momento en que se ejecuta el software VSC Incusoft el sistema genera una **carpeta denominada SCADA dentro de la carpeta archivos de programa**, carpeta donde se alojan las bases de datos de Usuarios con su identificación personal, nivel de jerarquía (sesión) y otros archivos, como los reportes de operación y fallas, así como los documentos que el usuario exporte. En la siguiente gráfica se muestran las partes generales del VI diseñado para que realice esta función.

Figura 219 Icono de conexionado, panel y diagrama para el VI creación de carpetas y base de datos



⇒ Entrada de Datos

Luego de iniciarse el sistema, se inicia la ejecución del programa en modo sesión técnica, con un ID (identificación) y password (clave) secretos, que son de conocimiento único del proveedor o del director de la institución, ya que se provee un PIN para cada paquete; de esta forma inicia la sesión y allí podrá crear las cuentas que desee, luego de crear usuarios de modo administradores, estos podrán ingresar a esta parte del sistema y modificar las bases de datos que contiene los usuarios de todo el sistema.

Para desarrollar el programa se utiliza la función `index array` la cual se encuentra en el panel de funciones dentro del menú `Array` que observa en la figura, este menú contiene todas las herramientas para generar y trabajar con arreglos, (vectores y matrices) como por ejemplo, crear, insertar, borrar, rotar, transponer etc.

Figura 220 Icono de conexionado, panel y diagrama para el VI Entrada de datos

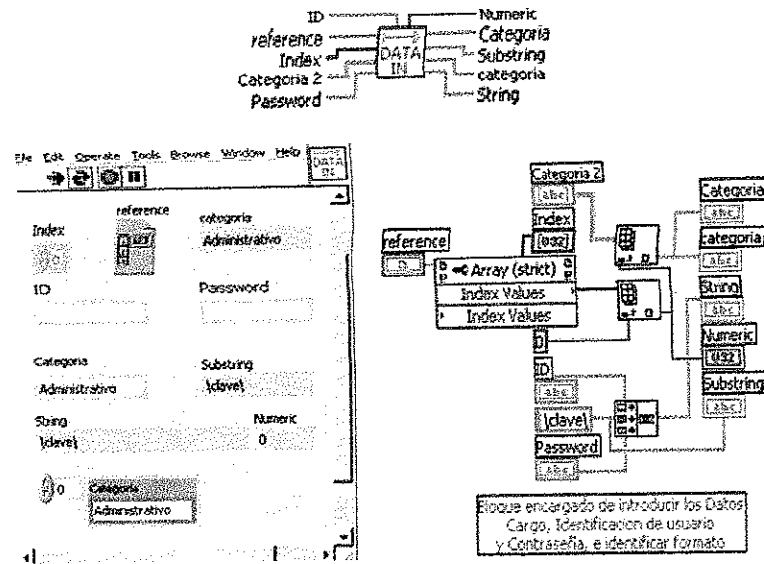
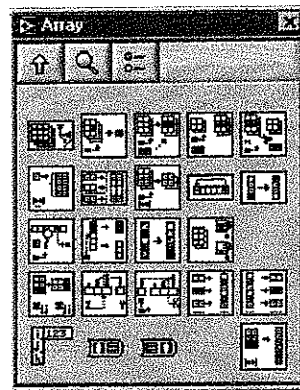
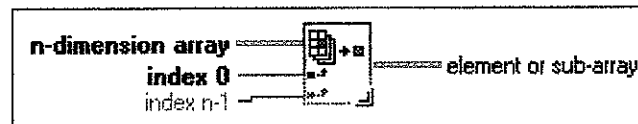


Figura 221 Menú Array



○ Index Array

Figura 222 Función Index Array

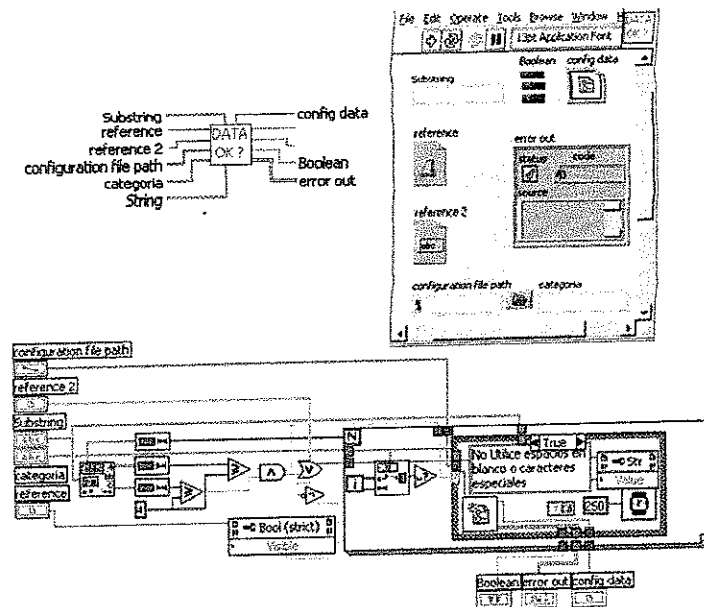


Esta función retorna en su salida los elementos o sub-array de elementos de n dimensiones que se encuentran en las entradas de búsqueda, esta es una función polimorfitá. La entrada n-dimensión array, es multidimensional,

Las entradas Index, son los valores de inicio del arreglo de salida, se pueden agregar más terminales de índice según las dimensiones de salida que se desean.

⇒ Error de formato

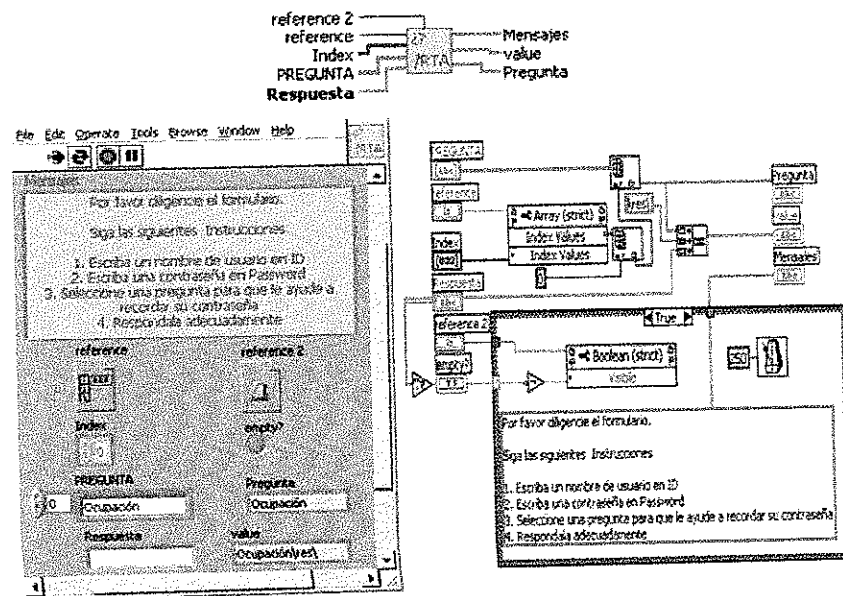
Figura 223 Icono de conexionado, panel y diagrama para el VI Error de Formato



EL ingreso de los datos debe cumplir con algunas normas, que garantizan la confiabilidad de la información y la seguridad, como lo son, el no uso de caracteres especiales ni de espacios en los campos de ID y Password

⇒ Validación de datos

Figura 224 Icono de conexionado, panel y diagrama para el VI Validación de los Datos.



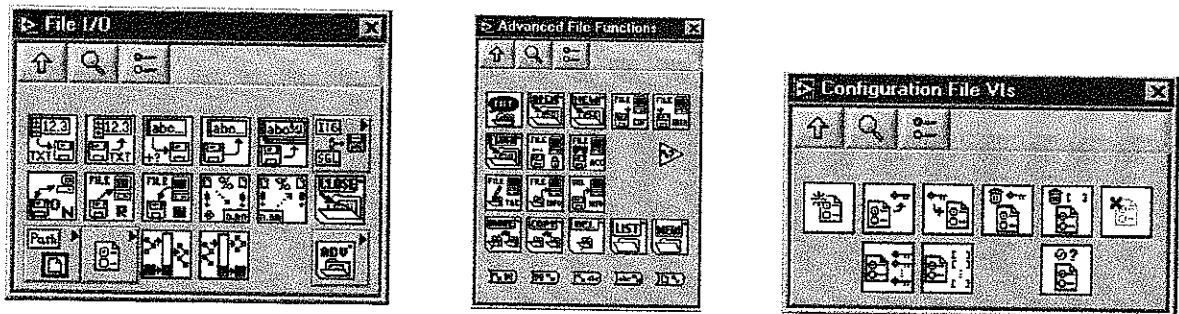
Tanto en los programas de creación de carpetas, entrada de datos, error de formato como validación se utilizan algunas funciones predefinidas según se explica a continuación:

Las funciones utilizadas se encuentran en los menús de trabajo con archivos como el menú de entradas y salidas, en el se encuentran los VIs y funciones que permiten crear, abrir, grabar, y borrar entre otras, como el ingreso a menús avanzados. En la figura siguiente se muestran estos menús y submenús.

El submenú de funciones avanzadas para el trabajo con archivos, brinda herramientas para manipular los archivos, como por ejemplo restringir su acceso o configurar las rutas y directorios.

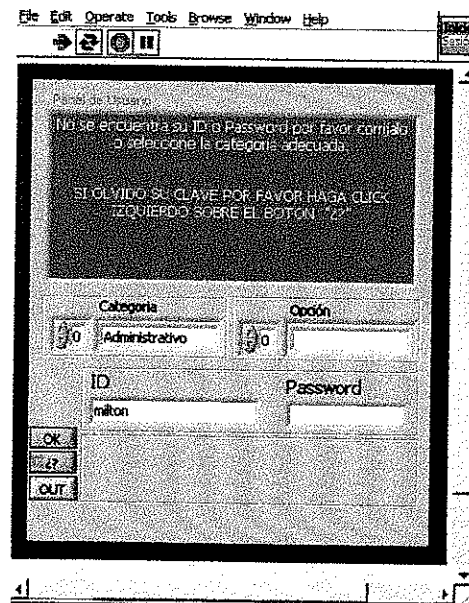
El submenú de Configuración permite realizar acciones sobre los archivos así como crear o borrar sin importar la plataforma del archivo o su configuración.

Figura 225 Menús de: I/O de archivos, funciones Avanzadas y configuración de archivos.



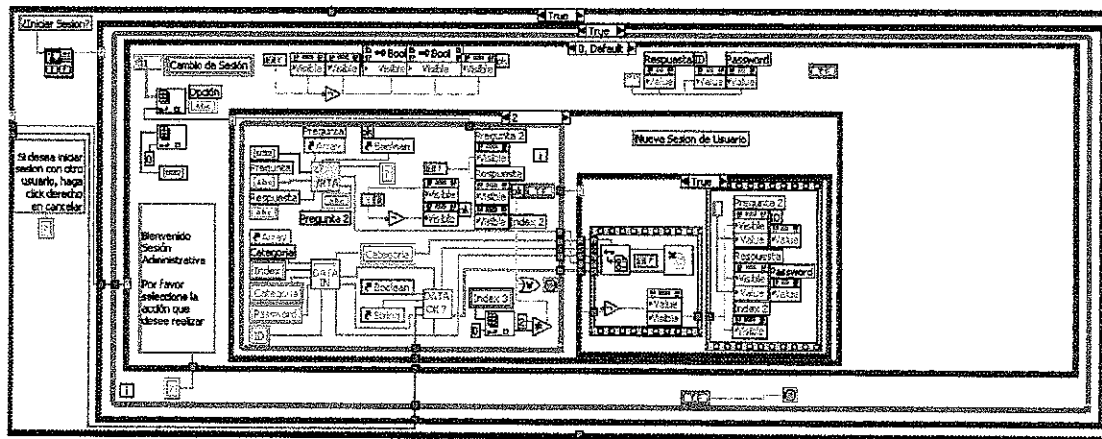
5.2.5.6 Inicio de sesión.

Figura 226 Panel frontal para el VI Inicio de Sesión.



⇒ Sesión Administrativa

Figura 227 Diagrama para el VI Sesión administrativa



Las funciones más utilizadas y más relevantes son:

➤ Property Visible y Property Value

Figura 228 Funciones property visible y property value



Son funciones que pueden ser de tipo control o indicador, la función Property visible es de tipo booleano, y su acción es que si ingresa un valor verdadero, se visualizara el control o indicador al cual este referenciada la propiedad; si esta en modo de lectura, indica si el control o indicador es visible en el panel frontal.

La función property value, si esta en modo escritura, modifica el valor del control o indicador al cual este referenciado, si se encuentra en modo lectura, indica el valor que se registra en el panel frontal.

⇒ Reportes Históricos

Figura 229 Pantalla de reporte en una estación local (proceso)

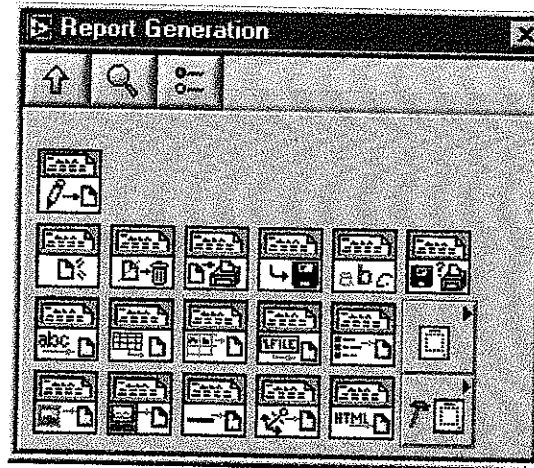
Resumen de reporte Incubadora 1				
Fecha	Hora	Estado	Cod. Falla	Acción
mie-21-09-05	10:20	OK		
mie-21-09-05	10:21	OK		
mie-21-09-05	10:22	OK		
mie-21-09-05	10:23	OK		
mie-21-09-05	10:24	OK		
mie-21-09-05	10:25	OK		

➤ Herramientas de programación

Para desarrollar este VI se utilizaron diferentes herramientas del software LabView, de las cuales se explican las más representativas así:

○ Menú Report Generation

Figura 230 Panel de herramientas Report Generation



Por medio de este menú se pueden localizar las funciones usadas para la generación de reportes, contiene VIs para crear y manipular los reportes de proyectos realizados con LabView

5.2.6 Coordinador de Área

Corresponde al director de Neonatología, quien tiene responsabilidades y funciones similares a la gerencia institucional, para este proceso.

Nivel para propuesta de desarrollo.

5.2.7 Consultorio de Neonatología

Corresponde a los procesos de gestión, donde el médico Neonatólogo puede acceder a la información, hacer cambios en el sistema en dependencia de su nivel de seguridad, así como solicitar reportes y/o administrar recursos de la unidad neonatal.

Nivel para propuesta de desarrollo.

5.3 PROTOCOLO DE OBSERVACIÓN PARA EQUIPOS MÉDICOS

Realizar conversaciones previas con el personal responsable del equipo, con el fin de conseguir información preliminar del equipo (tiempo de uso, responsables de mantenimiento, etc. realizar encuesta de preliminares)

Solicitar manuales de mantenimiento y hojas técnicas del equipo.

Identificar el equipo a observar.

Si no esta siendo utilizado:

Realizar el reconocimiento del entorno del equipo (otros equipos, cables, personal, espacio físico libre, estado externo, limpieza, etc.)

Verificar estado de conexión a la fuente de energía eléctrica (seguir procedimientos de seguridad y recomendaciones de manipulación del equipo)

Buscar la plaqueta de características técnicas del equipo y verificar la información con los manuales y hojas técnicas.

Verificar su funcionamiento:

Realizar una prueba de test si tiene esta opción

Si no la tiene, realizar un chequeo general del funcionamiento, mediante la variación de parámetros de funcionamiento e interferencias, observando su respuesta. (Tomar datos).

Verificación de tecnología

Si ya se tiene la autorización correspondiente para destapar el equipo, proceda a quitar la carcasa protectora de los circuitos, (realice esta operación preferiblemente en presencia de algún funcionario, y tome nota de todas las características y anomalías).

6 OTROS APORTES DERIVADOS DE LA INVESTIGACIÓN

6.1 CONFORMACIÓN DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN VITAL SIGNAL & CONTROL MEDICAL EQUIPMENT. I+D USTA “VSC~~XX~~ I+D USTA”

6.1.1 Misión

Vital Signal & Control Medical Equipment Investigation and Development USTA (VSC~~XX~~ I+D), es un semillero de investigación que nace en la facultad de Ingeniería Electrónica adscrito a la línea de Instrumentación y Control, con aplicaciones en el área de la Bioingeniería, que brinda soluciones a los procesos hospitalarios y médicos mediante la aplicación de tecnología basada en los principios y competencias profesionales de la formación integral Tomasina.

6.1.2 Visión

En los próximos cinco años, el grupo de investigación pretende observar el estado, los procesos y procedimientos del uso de la tecnología hospitalaria en nuestro departamento, para brindar soluciones técnicas y científicas al equipamiento hospitalario de las Instituciones Prestadoras Salud, y de esta forma ampliar la eficacia y la eficiencia de las mismas, con lo cual, se logrará una cultura del uso correcto de la tecnología en nuestra región.

6.1.3 Objetivo

Estudiar la tecnología, procesos y procedimientos empleados en el sector prestador de servicios de salud en el departamento de Boyacá, para determinar el grado de impacto que este a podido tener en la crisis hospitalaria, y de la misma manera, predecir, como el uso adecuado de la tecnología biomédica, solucionará en parte la crisis que se ha generado en este sector en las ultimas décadas.

6.1.4 Áreas de Investigación

Hasta el momento el semillero de investigación VSC~~XX~~I+D, presenta seis áreas de trabajo, que pueden solucionar problemas y necesidades, que se han detectado en nuestro medio.

6.1.4.1 SCADA Hospitalario

Responde a una investigación que se realizó para la generación de ambientes controlados para neonatos o infantes pretérmino, busca llevar los diferentes procesos y procedimientos realizados en ambientes hospitalarios a la pirámide CIM, utilizando diferentes conceptos de la Automatización, la Instrumentación, las Comunicaciones y el Control.

Inscrito a Colciencias.

6.1.4.2 OCULA

Este grupo tiene como finalidad, darle diferentes aplicaciones a los bio-potenciales generados por el movimiento de los ojos, a través de una plataforma que podrá controlar procesos para personas discapacitadas o el comportamiento de un individuo en una situación determinada.

Inscrito a Colciencias.

6.1.4.3 PRÓTESIS

Desafortunadamente nuestra región también se ha visto influenciada por la violencia que ha azotado al país, y no es ajena la mutilación de las diferentes extremidades (miembros superiores e inferiores), pretendemos estudiar las posibilidades de generar prótesis que respondan a estímulos nerviosos y mejorar la calidad de las que ya existen.

6.1.4.4 WAVELETS:

Este grupo pretende dar a conocer las múltiples aplicaciones que presenta esta transformada, en los procesos de control, automatización, y las implicaciones que presenta en la instrumentación, la finalidad es dar a conocer “formar” en esta área del conocimiento.

6.1.4.5 MARCO LEGAL:

Este grupo pretende determinar el grado de responsabilidad, que se debe tener en una institución prestadora de servicios en salud, no solamente por parte del personal médico, sino de todas las partes que conforman la institución de salud, desde su componente humano, hasta el componente técnico, pasando por los procesos y procedimientos propios de cada institución.

6.1.4.6 ANTECEDENTES BIOINGENIERÍA

Reconocer el estado del arte y el marco epistemológico en el cual se ha desarrollado el conocimiento en el campo de la bio-ingeniería en Colombia.

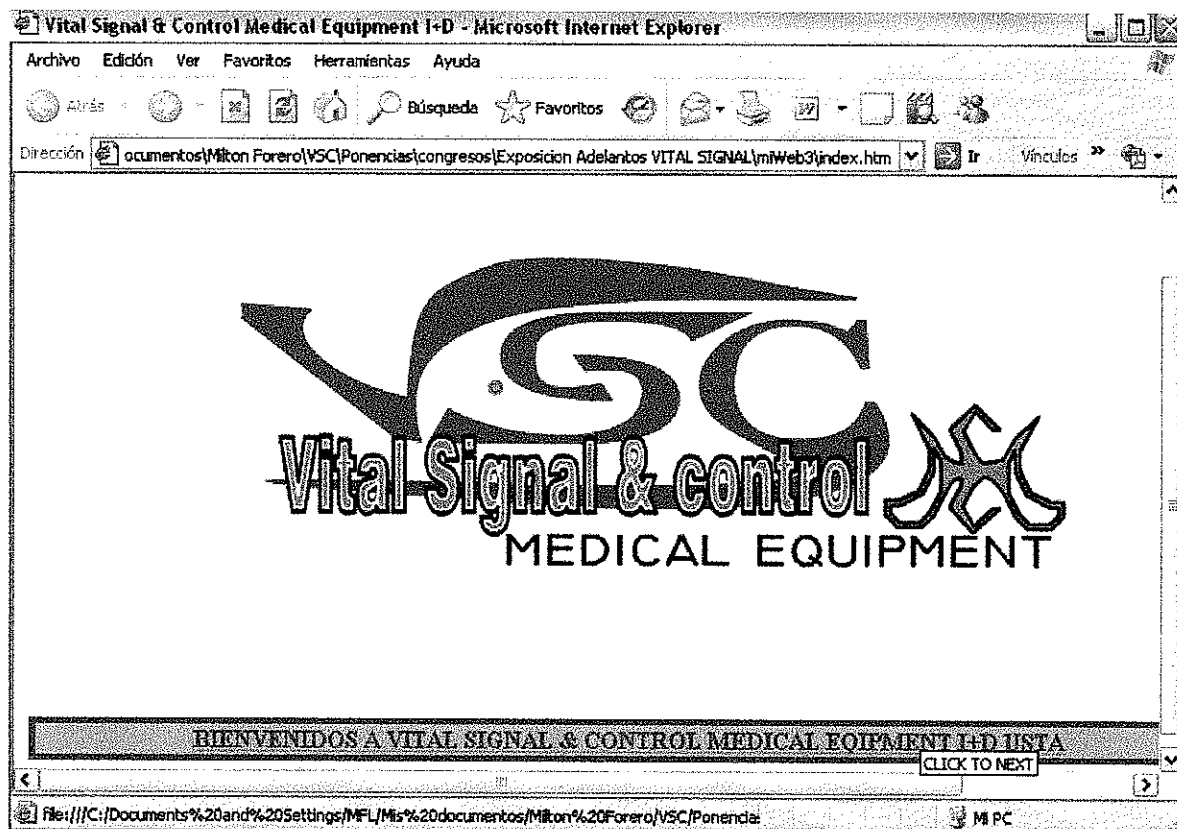
6.2 WEB DEL GRUPO DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN:

6.2.1 Logo



6.2.2 Página de inicio

6.2.2.1 Vista en el explorador



6.2.2.2 Código fuente

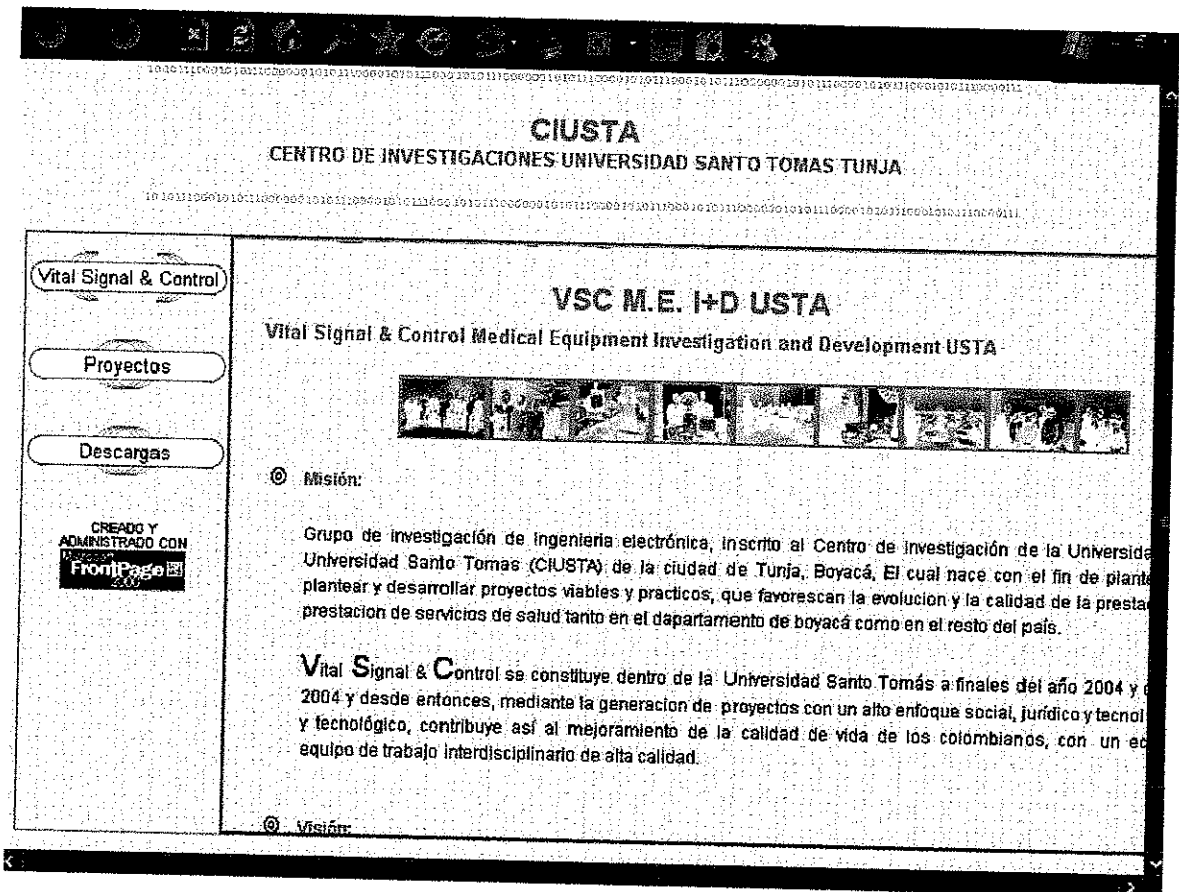
```
<%@ Language=VBScript %>
```

```
<head>
<meta name="VI60_defaultClientScript" content="VBScript">
<meta http-equiv="Content-Language" content="es-co">
<meta name="GENERATOR" content="Microsoft FrontPage 4.0">
<meta name="ProgId" content="FrontPage.Editor.Document">
<title>Vital Signal & Control Medical Equipment I+D</title>
<style fprolloverstyle>a:hover { color: #FF0000; font-weight: bold }
</style>
<script language="JavaScript" fptype="dynamicanimation">
</script>
<script language="JavaScript1.2" fptype="dynamicanimation" src="animate.js">
</script>
<meta name="Microsoft Theme" content="zero 111, default">
</head>
```

```
<p align="center"><embed width="649" height="398" src="Película1.swf"
align="center"><noembed>Por Favor haga Click en el hipervinculo para seguir el
enlace</noembed></p>
<p align="center" dynamicanimation="fpAnimformatRolloverFP1"
fprolloverstyle="border: 4px solid #0000FF; padding-left: 4; padding-right: 4; padding-top:
1; padding-bottom: 1; background-color: #FF9933" onmouseover="rollIn(this)"
onmouseout="rollOut(this)" language="Javascript1.2"><a title="CLICK TO NEXT"
href="Bienvenida.htm">
<marquee bgcolor="#FF9933" style="color: #0000FF; text-decoration: blink; font-weight:
bold" width="877" scrollamount="5" scrolldelay="0">BIENVENIDOS
A VITAL SIGNAL & CONTROL MEDICAL EQUIPMENT I+D USTA</marquee>
</a></p>
```


6.2.3 Página de bienvenida

6.2.3.1 Vista en el explorador



6.2.3.2 Código fuente

```
<%@ Language=Heredar de Web %>
```

```
<head>
<meta http-equiv="Content-Language" content="es-co">
<script language="JavaScript" fptype="dynamicanimation">
<!--
function dynAnimation() {}
function clickSwapImg() {}
//-->
</script>
<script language="JavaScript1.2" fptype="dynamicanimation"
src="animate.js">
</script>
<meta name="GENERATOR" content="Microsoft FrontPage 4.0">
<meta name="ProgId" content="FrontPage.Editor.Document">
```

```

<meta name="Microsoft Theme" content="zero 111">
<title>Vital Signal & Control Medical Equipmet I+D
.</title>
<base target="I1">
</head>

<body onload="dynAnimation()">

<p align="center" dynamicanimation="fpAnimelasticRightFP1"
id="fpAnimelasticRightFP1" style="position: relative
!important; visibility: hidden" language="Javascript1.2"><a
target="_top" href="http://www.ustatunja.edu.co"></a>
<applet code="fprotate.class" codebase="." width="356"
height="115">
  <param name="image1" valuetype="ref"
value="images/tex.gif">
  <param name="image2" valuetype="ref"
value="images/fondo.jpg">
  <param name="target" value="_top">
  <param name="image3" valuetype="ref"
value="images/logo%20facultad.jpg">
  <param name="image4" valuetype="ref"
value="images/fondo.gif">
  <param name="time" value="3">
  <param name="rotatoreffect" value="blindsHorizontal">
</applet>
</p>
<hr align="center">
<h1 align="center" style="margin-top: 0; margin-bottom:
0">CIUSTA</h1>
<h3 align="center" style="margin-top: 0; margin-bottom:
0">CENTRO DE
INVESTIGACIONES UNIVERSIDAD SANTO TOMAS TUNJA</h3>
<hr align="center">
<table border="1" cellpadding="0" cellspacing="0"
style="border-collapse: collapse" width="112%"
id="AutoNumber1" height="255">
  <tr>
    <td width="22%" height="255" valign="top">
      <p align="center"><!--webbot bot="Navigation" s-
orientation="vertical"
s-rendering="graphics" s-type="siblings" b-include-
home="FALSE"

```

```

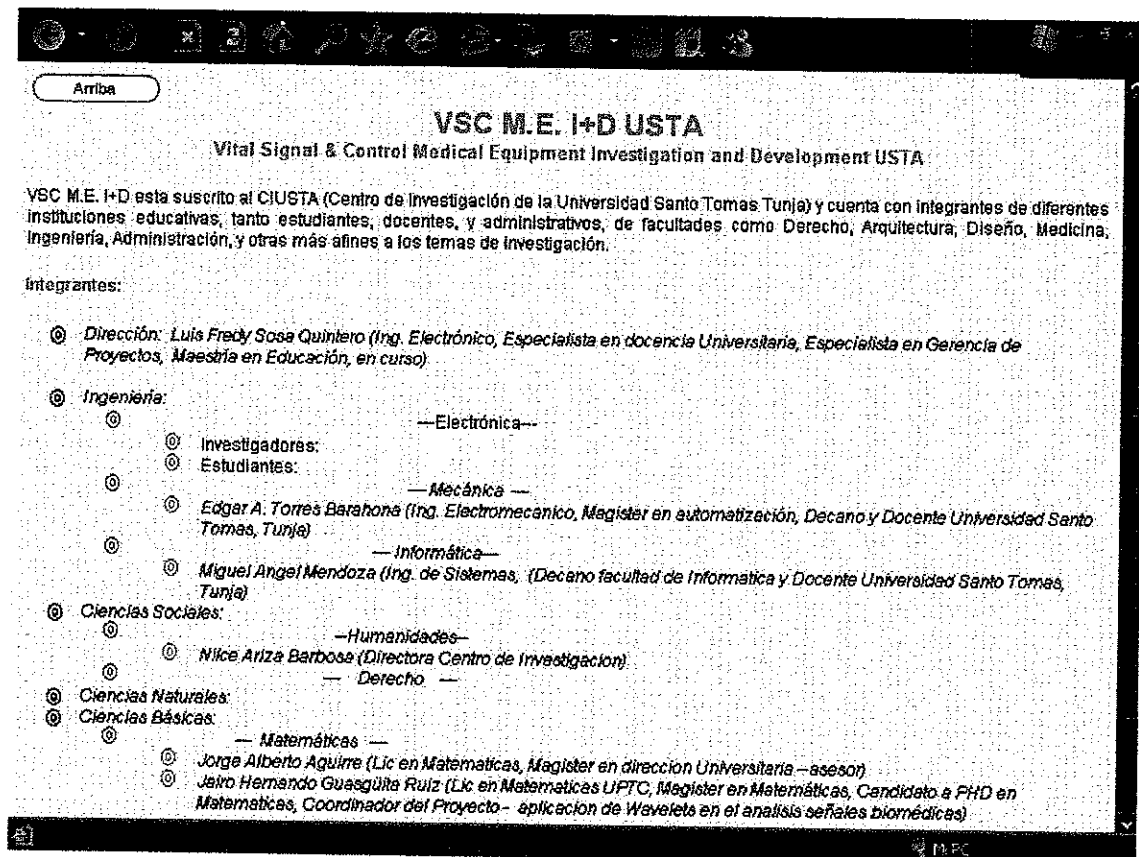
        b-include-up="FALSE" u-page s-target --></p>
        <p align="center"></p>
        <p align="center">&nbsp;</td>
        <td width="77%" height="255"><iframe name="I1"
width="754" height="414" src="Intro.htm"
target="_parent"></iframe></td>
    </tr>
</table>
<p></p>

</body>

```

6.2.4 Página de bienvenida (Integrantes)

6.2.4.1 Vista en el explorador



6.2.4.2 Código fuente

```
<html>

<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html;
charset=windows-1252">
<meta http-equiv="Content-Language" content="es-co">
<meta name="GENERATOR" content="Microsoft FrontPage 4.0">
<meta name="ProgId" content="FrontPage.Editor.Document">
<title>Nosotros</title>
<base target="_parent">
<script language="JavaScript" fptype="dynamicoutline">
<!--
function dynOutline() {}
//-->
</script>
<script language="JavaScript1.2" fptype="dynamicoutline"
src="outline.js">
</script>
<script language="JavaScript1.2" fptype="dynamicoutline"
for="document" event="onreadystatechange()">
<!--
initOutline()
//-->
</script>
<meta name="Microsoft Theme" content="zero 111">
</head>

<body onclick="dynOutline()">

<h1 align="left" style="margin-top: 0; margin-bottom: 0"><!--
webbot
bot="Navigation" s-orientation="horizontal" s-
rendering="graphics"
s-type="global" b-include-home="FALSE" b-include-up="TRUE" u-
page s-target --></h1>
<h1 align="center" style="margin-top: 0; margin-bottom:
0">VSC M.E. I+D USTA</h1>
<h3 align="center" style="margin-top: 0; margin-bottom:
0">Vital Signal &
Control Medical Equipment Investigation and Development
USTA</h3>
<p align="justify"><span lang="es-co">VSC M.E. I+D esta
suscrito al CIUSTA
```

(Centro de Investigación de la Universidad Santo Tomas Tunja)
y cuenta con
integrantes de diferentes instituciones educativas, tanto
estudiantes, docentes,
y administrativos, de facultades como Derecho, Arquitectura,
Diseño, Medicina,
Ingeniería, Administración, y otras más afines a los temas de
investigación.</p>
<h4 align="justify">Integrantes:</h4>

<address align="justify">
Dirección: Luis Fredy Sosa Quintero (Ing.
Electrónico,
Especialista en docencia Universitaria, Especialista en
Gerencia de
Proyectos, Maestría en Educación, en curso)
</address>

<address align="justify">

</address>
<ul dynamicoutline initcollapsed>

<address align="justify">
Ingeniería:
</address>

<p align="justify">
<marquee behavior="alternate" width="602" height="18">---Electrónica---</marquee>

<p align="justify">
Investigadores:

<p class="MsoNormal"><span lang="ES-
CO">Angélica Maria Salazar M
(Ing. Electrónica, Especialista en
Telecomunicaciones móviles,
Docente Universidad Santo Tomas, Tunja Asesora en
Comunicaciones)<o:p>

</o:p>

 <p class="MsoNormal">Camilo Pardo Beainy (Ing. Electrónico, Especialista en Instrumentación electrónica -en curso- Coordinador de laboratorios de electrónica USTA Tunja - Proyecto SCADA Hospitalario)
 Eduard Wilder Caro Ansola (Ing. Electrónico, Especialista en gerencia de ingeniería hospitalaria (en curso), Especialista en Instrumentación electrónica -en curso- Docente Universidad Santo Tomas, Tunja. - Director proyecto Prótesis e implantes<o:p>
 </o:p>

 Fabián Rolando Jiménez (Especialista en Instrumentación Electrónica, Magister en Instrumentación y Control -en curso- Director proyecto Plataforma móvil con electrooculografía)<o:p>
 </o:p>

 <p class="MsoNormal">Gustavo Enrique Ramírez Fuentes (Ing. Electrónico - proyecto Plataforma móvil con Electrooculografía)

 <p class="MsoNormal">Milton Forero López (Ing. Electrónico, Especialista en Instrumentación electrónica -en

Electrooculografía.

Javier Fernando Botia Valderrama

VI Semestre

Wavelets

Jenny Juliana Sanabria

VIII Semestre, Exploracion de la evolucion de la electromedicina y bioelectronica en el pais.

Jhonson Ariel Martínez Garzón

IX Semestre

Electromiografía

Juan Pablo Pinzón Lemus

VII Semestre, Exploracion de la evolucion de la electromedicina y bioelectronica en el pais.

Julián Andrés Palencia Torres

 <p class="MsoNormal"><span lang="ES-
 CO">Javier Fernando Botia
 Valderrama VI Semestre<span style="mso-tab-
 count:1"> Wavelets<o:p>
 </o:p>

Jenny
Juliana Sanabria

VIII Semestre,

Exploracion de la evolucion de la electromedicina y bioelectronica en el pais.

Jhonson Ariel Martínez Garzón

IX Semestre

Electromiografía

Juan Pablo Pinzón Lemus

VII Semestre,

Exploracion de la evolucion de la electromedicina y bioelectronica en el pais.

Julián Andrés Palencia
Torres


```

        </address>
    </li>
</ul>
</li>
</ul>
<li>
<address align="justify">Ciencias Básicas:
    </address>
    <ul>
        <li>
            <address align="justify">
                <marquee behavior="alternate">---&nbsp;
Matemáticas&nbsp;&nbsp;&nbsp; ---</marquee>
            </address>
            <ul>
                <li><address align="justify" style="margin-left: 0;
margin-right: 0">
                    Jorge Alberto Aguirre (Lic en Matematicas,
Magister en direccion
                    Universitaria --asesor)
                </address>
                </li>
                <li><address align="justify" style="margin-left: 0;
margin-right: 0">Jairo
                    Hernando Guasgüita Ruiz (Lic en Matematicas
UPTC, Magister en
                    Matemáticas, Candidato a PHD en Matematicas,
Coordinador del
                    Proyecto -&nbsp; aplicacion de Wavelets en el
analisis señales
                    biomédicas)
                </address>
                </li>
            </ul>
        </li>
    </ul>
</li>
</ul>
</li>
</ul>
<p align="justify"><!--webbot bot="Navigation" s-
orientation="horizontal"
s-rendering="graphics" s-type="global" b-include-home="FALSE"
b-include-up="TRUE" u-page s-target --></p>
<p>&nbsp;</p>
</body>
</html>

```

6.3 PROCESOS DE GESTIÓN

6.3.1 Con la comunidad investigativa y otras (al exterior de la universidad)

- ✓ Facilitadores en la realización del convenio interinstitucional (E.S.E. San Francisco de Villa de Leiva – Universidad Santo Tomas Tunja).
- ✓ Dialogo sostenido con la Dra. Jenny Pierotty en representación del Dr. Álvaro Cuervo Payeras Subgerente Científico. (I.P.S. Fundación Clínica Santa Catalina).
- ✓ Dialogo sostenido con la Dra. Milena Ortega Subgerente del ESE Hospital Regional de Chiquinquirá, en representación del Dr. Henry Arguello Gerente, en las instalaciones de la entidad. Quienes están interesados en hacer parte del grupo de investigación y de acordar un convenio de cooperación interinstitucional.
- ✓ Visita de observación y preacuerdo de convenio interinstitucional ESE Hospital Regional de Chiquinquirá y USTA Tunja, realizada en compañía de los ingenieros Camilo Ernesto Pardo Beainy y Luis Fredy Sosa Quintero.
- ✓ Salida de Campo de prediagnostico de la ESE Hospital Regional de Chiquinquirá, realizada en compañía de los ingenieros integrantes del equipo de trabajo de VSC I+D. Con su respectivo informe.

6.3.2 Con la comunidad investigativa y otras (al interior de la universidad)

- ✓ Actualización de los datos del CVLAC y GrupLAC de COLCIENCIAS de forma exhaustiva
- ✓ Capacitación en el manejo del software del CVLAC y GrupLAC al Estudiante de 5 semestre de Ing. Electrónica, Fernando Ramírez.
- ✓ Moderación del Foro web VITAL_SIGNAL_USTA@gruposyahoo.com así como su actualización constante
- ✓ Creación de la página Web del grupo; lista para ser sometida a consideración por los integrantes del grupo y las directivas de la Universidad, así como la colaboración en el prediseño de la web del centro de investigaciones.
- ✓ Escritura y corrección de artículos para la publicación de nuestro magazine investigativo VSC I+D.

6.3.3 Formatos VSC

6.3.3.1 Formato de inscripción



Vital Signal & Control Medical Equipment
Investigation and Development
USTA



FOTO 3x4	Fecha: _____	Nº Inscripción: _____
	Nombre: _____	CC / TI: _____
	Ocupación: _____	Sexo: _____ Edad: _____ Semestre: _____
	Facultad: _____	Fecha Nacimiento: Día _____ Mes _____ Año _____
	Equipo de Trabajo: _____	Cel: _____
	E-MAIL: _____	Tel: _____
	Dirección: _____	Institución: _____

HORAS	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
7am-8am							
8am-9am							
9am-10am							
10am-11am							
11am-12pm							
12pm-1pm							
1pm-2pm							
2pm-3pm							
3pm-4pm							
4pm-5pm							
5pm-6pm							
6pm-7pm							
7pm-8pm							
8pm-9pm							
9pm-10pm							

Nota: Por favor diligencie el horario, colocando en los espacios correspondientes, la actividad que realiza y su lugar de desarrollo, al igual que los espacios disponibles para investigación, tiempo libre y privado.

Observaciones:

FIRMA

Nuestra Misión: "Salud Integral Para Todos"
 UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
 VITAL_SIGNAL_USTA@gruposyahoo.com
 Calle 19 N° 11-64 Teléfonos 7445847 – 7402611 Tunja, Boyacá

6.4 MAGAZÍN VSC

Este Magazin, está compuesto por trece artículos presentados al Centro de Investigaciones de la Universidad Santo Tomás (CIUSTA), en el mes de septiembre de 2005. Los títulos de estos artículos se relacionan a continuación:

- ✓ AUTOMATIZACIÓN APLICADA A BIOPROCESOS.
- ✓ COMUNICACIONES DE DATOS.
- ✓ CONSIDERACIONES MÉDICAS EN INCUBADORAS NEONATALES.
- ✓ DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PARA EL CONTROL DE MOVIMIENTOS DE UNA PLATAFORMA MÓVIL A PARTIR DE ELECTROOCULOGRAFÍA.
- ✓ EN MEDICINA: ¿ES MEJOR ADQUIRIR TECNOLOGÍA O GENERARLA?
- ✓ INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA DE UNA INCUBADORA NEONATAL.
- ✓ LA ELECTRÓNICA Y LA VIDA.
- ✓ LA RESPUESTA NATURAL DE UN CIRCUITO RLC.
- ✓ LAS BOMBILLAS INCANDESCENTES.
- ✓ LAS EMPRESAS SOCIALES DEL ESTADO DE BOYACÁ.
- ✓ LAS PUESTAS A TIERRA, PROTECCIÓN PARA VIDA HUMANA Y PROTECCIÓN PARA LOS EQUIPOS.
- ✓ SCADA APLICADO A PROCESOS HOSPITALARIOS.
- ✓ TECNOLOGÍA ASISTENCIAL.

6.5 ACTIVIDADES DE FORMACIÓN.

6.5.1 Cursos de Profundización Tomados

- ✓ USTA, Tunja. Profundización en Instrumentación Electrónica
- ✓ USTA, Tunja. Profundización en Instrumentación Electrónica especializada (en curso)
- ✓ USTA, Tunja. Diplomado en Currículo, competencias y evaluación interna y externa en la educación superior.

6.5.2 Cursos de Auto aprendizaje

- ✓ (En curso) MatLab 7.0 (software laboratorio de matemáticas) para su uso en aplicaciones de ingeniería y ramas afines.
- ✓ (En curso) LabView 7.1 Versión educativa (software de simulación e interfase de adquisición de datos para aplicaciones en ingeniería y ramas afines por programación gráfica)
- ✓ (En Curso) Metodología de la Investigación
- ✓ (Diseño, formulación, presentación, gestión y evaluación, de proyectos de investigación)

6.5.3 Cursos dictados

- ✓ Capacitaciones dictadas de: Básico de MatLab 5.1, Básico de Orcad PsPice e Introducción a Microcontroladores Motorola CPU-08. Dictados a los integrantes del grupo de investigación e interesados.

6.6 ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN.

6.6.1 Socializaciones

- ✓ Presentación del trabajo desarrollado, ante los Pares Académicos para la obtención del registro calificado de la facultad de Ing. Electrónica y Pares para la aprobación de la especialización en instrumentación electrónica.
- ✓ Visita del Consultor de Colciencias y exdirector de la misma institución. Dr. Campo Elías Bernal con el ánimo de impulsar el vínculo Universidad-Empresa y motivar los procesos de investigación que se desarrollan en el grupo.
- ✓ Presentación del trabajo desarrollado, ante el Ing. Miguel Ángel Trigos, Docente de la USTA Bucaramanga, quien a partir del trabajo expuesto propone un intercambio de las experiencias de investigación, ciencia y tecnología entre las cedes de la USTA (7 de octubre de 2005)
- ✓ Invitación por escrito a participación en el grupo de investigación a decanos, administrativos y docentes de la USTA Tunja, mayo de 2005.
- ✓ Participación en la feria de Expociencia y Expotecnología a realizarse en Corferias los días 11 al 22 de octubre de 2005 en Bogotá D.C.
- ✓ Participación en 2 Socializaciones de presentación de proyectos organizadas por el Centro de Investigaciones de la Universidad Santo Tomás (CIUSTA).

6.6.2 Congresos y Seminarios

- ✓ Participación como ponentes en la modalidad de Póster en el VI congreso Nacional de la Asociación Colombiana de Automática ACA. Ibagué (Tolima) Noviembre de 2004.
- ✓ Participación como ponentes en el II Congreso Colombiano de Bioingeniería e Ingeniería Biomédica, realizado en Bogota D.C. los días 27 y 28 de octubre de 2005.
- ✓ Participación como ponentes en el Primer Simposio Regional de Electrónica y aplicaciones Industriales, Ibagué (Tolima) Noviembre 3, 4 y 5 de 2005.
- ✓ Participación como ponentes en el Congreso Internacional de Nuevas Tecnologías, Bucaramanga (Santander) Mayo 24, 25 y 26 de 2006.
- ✓ Obtención de mención de honor en el Congreso Internacional de Nuevas Tecnologías, Bucaramanga (Santander) Mayo 24, 25 y 26 de 2006; por ocupar el tercer puesto en la socialización de trabajos de investigación.
- ✓ Ponencia en el II seminario de actualización en Ingeniería Electrónica – USTA-Tunja, Mayo 2005.
- ✓ Clasificación como ponentes en el congreso ANDESCON 2006, evento a realizarse entre el 8 y 10 de noviembre de 2006 en el Swissotel de Quito-Ecuador.
- ✓ Ponencia en el marco de la jornada Tomasina USTA-Tunja, Octubre 6 de 2005

6.6.3 Convenios y Asesorías

- ✓ Asesoría externa, continua y eficiente vía e-mail del Dr. Manuel Mauro Aceves Gómez, Neonatólogo e Intensivista Pediatra, Hospital de Ginecoobstetricia Centro Medico La Raza, Instituto Mexicano del Seguro Social, cuya asesoría es fundamental para este proyecto, ya que se desempeña como asesor de la compañía mexicana Arroba Ingeniería S.A. de C.V. fabricante de equipos y accesorios de incubación.
- ✓ Convenio Interinstitucional entre el ESE Hospital San Francisco de Villa de Leyva y la USTA Tunja.
- ✓ Convenio Interinstitucional entre el ESE Hospital Regional de Sogamoso y los investigadores del proyecto donde se recibe carcasa de incubadora, objeto de la investigación.
- ✓ Contacto con la Secretaría de Salud de Boyacá, quien ha facilitado estadísticas de la organización de las ESE del departamento entre otras informaciones.
- ✓ Contacto e intercambio de información con la Fundación Cardiovascular Bucaramanga.

- ✓ Dialogo preconvenio entre los investigadores y la Fundación Clínica Santa Catalina de Tunja.
- ✓ Dialogo preconvenio entre los investigadores y el ESE Hospital San Rafael de Tunja.
- ✓ *Dialogo preconvenio entre los investigadores y el ESE Hospital Regional de Chiquinquirá.*

7 CONCLUSIONES

Los sistemas SCADA, ofrecen una de las mejores y más económicas alternativas, para generar centros robustos de supervisión, control y adquisición de datos; lo cual, mejora sustancialmente los procesos de producción de cualquier tipo de organización, los índices de calidad, supervisión, mantenimiento, velocidad etc.

La instrumentación Virtual (VI), acompañada de un hardware mínimo (Sensores, tarjetas de adquisición, redes y controladores), y con el software de plataforma apropiado, puede convertir un PC de exigencias moderadas en un poderoso instrumento de medición de mucha precisión y fiabilidad.

Debido a las exigencias de seguridad que requiere un equipo de uso medico, se debe garantizar el óptimo funcionamiento del sistema, indicando permanentemente el estado de su operación.

En un sistema de medida, cuando se va a elegir el sensor, se deben tener en cuenta factores como: la magnitud a medir, las características de salida y alimentación, las características ambientales, entre otros factores.

Una variable lingüística, es una variable cuyos valores, pueden expresarse mediante términos del lenguaje natural y se representan mediante conjuntos difusos, caracterizados por funciones de pertenencia dentro del universo de discurso.

Un sistema difuso, está basado en el conocimiento. Se estructura en un conjunto de reglas simbólicas del tipo “si-entonces”, que utilizan términos del lenguaje natural para representar información vaga o imprecisa.

Las estrategias de control difuso, sensado y monitoreo, aplicadas a la temperatura ambiente y humedad relativa dentro de la incubadora neonatal, permiten que el sistema desarrollado, sea adaptable a múltiples procesos; disminuyendo costos de diseño y tiempos de implementación.

En un sistema de incubación neonatal, es de suma importancia, realizar un monitoreo constante de la temperatura, signos vitales y peso del recién nacido, así como una verificación continua del estado de los dispositivos actuadores y sensores del sistema; proporcionando las alarmas necesarias, para informar cualquier tipo de falla al personal calificado.

El diseño y la elaboración de protocolos de gestión administrativa; aplicados al control, la supervisión de procesos y las redes de comunicaciones, permiten realizar una distribución de tareas en los sistemas electrónicos, generando flexibilidad, adaptabilidad y seguridad modular. Esta estructura, admite además, la inclusión de nuevos módulos, tales como Electrocardiografía, Oximetría, Ritmo cardiaco, etc.

En un sistema de monitoreo de procesos clínicos, es importante generar una Interfase humano-maquina, que establezca un dialogo de fácil comprensión, con un lenguaje claro, gráfico y numérico, mediante teclados, pantallas LCD y PCs. Permitiendo así, una correcta manipulación, por parte del personal médico y de enfermería.

La generación de bases de datos de usuarios, así como la generación de reportes de fallas y mantenimiento, permiten crear la hoja de vida del equipo; almacenando de forma detallada, la información correspondiente al estado de los sensores, actuadores y demás elementos del sistema, permitiendo así, mejorar los procesos de mantenimiento preventivo y predictivo.

La creación de aplicaciones y sesiones de usuario, aumentan los niveles de seguridad de acceso, en dependencia al cargo y restricciones que tenga cada uno de los operarios del sistema. Esto permite, llevar un informe detallado de las manipulaciones realizadas en el proceso, teniendo en cuenta el usuario y el tipo de acción ejecutada.

8 RECOMENDACIONES

Diseñar e implementar aplicaciones robustas, prácticas y fiables, mediante SCADA, en más procesos hospitalarios y del entorno. Permitiendo así, una integración de los servicios, que provoque un mejoramiento en la calidad de la atención a los usuarios.

Crear grupos interdisciplinarios y transdisciplinarios de investigación, en las áreas de la bioingeniería y la ingeniería biomédica. Aprovechando los desarrollos de la electrónica, la medicina, el derecho, entre otras áreas.

Desarrollar sistemas fundamentados en valores y ética, dando prioridad a las necesidades del paciente, más que a las soluciones técnicas y/o administrativas, en las instituciones prestadoras de servicios de salud.

Procurar el mejoramiento de la tecnología, a partir del aprovechamiento de recursos locales, contribuyendo así, al surgimiento de las regiones, del país y del campo de la ingeniería.

Establecer un diálogo constante con grupos ya existentes, que se encuentren desarrollando aplicaciones en el área. Complementando así los procesos de investigación, por medio de un intercambio de experiencias, que lleven al crecimiento de la ciencia, la tecnología y la economía nacional y mundial.

9 BIBLIOGRAFÍA

- ACEVES GÓMEZ, Manuel M., "Control de la Temperatura Corporal en el Recién Nacido", México, Instituto Mexicano del Seguro Social, Páginas 1-15. <http://aroba-ingenieria.com/file/20010223122716.pdf>. Obtenido de Internet el 6 de Abril de 2005. 9:15 p.m.
- ALFARO, V.M. "Apuntes del curso IE-0432, Laboratorio de Control Automático".
- ARRIETA, O., "Comparación de los métodos de sintonización de controladores", Escuela Ingeniería Eléctrica, U. de Costa Rica, 2003.
- Biblioteca de Consulta Microsoft® Encarta® 2005. © 1993-2004 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.
- CORREA V, José Alberto, "Fundamentos de Pediatría". Tomo I. Medellín, Colombia. Corporación para investigaciones biológicas. 1999.
- GUTIÉRREZ JASSO, Luis "Neonatología Práctica". 4ed. México. El Manual Moderno, S.A. de C.V. 1995.
- Instituto Seccional de Salud de Boyacá, oficina de sistema integral de información.
- KUO, B. "Sistemas de Control Automático". Séptima edición. México. Editorial Prentice Hall. 1996.
- LORÍA, G. y MAZÓN. I. "Modelado y Análisis de Sistemas Dinámicos". Primera edición. San José, Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 1989. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- MAYA JIMÉNEZ, Daniel Adolfo, "Diseño y Construcción de una Cámara de Control de Temperatura Para Neonato", Páginas 21-30. http://www.datex-ohmeda.es/aula-bioingenieria/todos_los_articulos/colaboracion/Numero-09-Colaboracion-01.pdf. Obtenido de Internet el 4 de Octubre de 2004. 10:00 p.m.
- MOMPÍN POBLET, José "INTRODUCCIÓN A LA BIOINGENIERÍA". Barcelona, España. Marcombo, S.A. 1988.
- MORCILLO RUIZ, Pedro y CORREA RUEDA, Julian, "Comunicaciones Industriales". Madrid, España. Editorial Paraninfo; Thompson. 2000. ISBN: 84-283-2706-8

OGATA, K. "Discrete-Time Control Systems". 2nd ed. Pearson Education, 1995. ISBN: 0130342815.

PROAKIS, J; MANOLAKIS, D. "Digital signal processing". New Jersey. Pearson. (1996). ISBN: 0-13-394289-9.

RAZO, MUÑOS Carlos, "Como elaborar y asesorar una investigación de tesis". Editado por PEARSON educación Carlos Muñoz Razo.

SMITH, C; CORRIPIO, A. "Principles and practice of automatic process control". 2nd ed. United States of America. John Wiley & Sons. (1997). ISBN: 0-471-57588-7

ZHOE, K; DOYLE, J. "Essentials of robust control". Louisiana State University. EEUU. Prentice Hall. (2000).

Anexo A

CÓDIGO ASCII

HEX	OCT	DEC	ASCII	Msg
00	000	0	NUL	
01	001	1	SOH	GTL
02	002	2	STX	
03	003	3	ETX	
04	004	4	EOT	SDC
05	005	5	ENQ	PPC
06	006	6	ACK	
07	007	7	BEL	
08	010	8	BS	GET
09	011	9	HT	TCT
0A	012	10	LF	
0B	013	11	VT	
0C	014	12	FF	
0D	015	13	CR	
0E	016	14	SO	
0F	017	15	SI	
10	020	16	DLE	
11	021	17	DC1	LLO
12	022	18	DC2	
13	023	19	DC3	
14	024	20	DC4	DCL
15	025	21	NAK	PPU
16	026	22	SYN	
17	027	23	ETB	
18	030	24	CAN	SPE
19	031	25	EM	SPD
1A	032	26	SUB	
1B	033	27	ESC	
1C	034	28	FS	
1D	035	29	GS	
1E	036	30	RS	
1F	037	31	US	
20	040	32	SP	MLA0
21	041	33	!	MLA1
22	042	34	"	MLA2
23	043	35	#	MLA3
24	044	36	\$	MLA4
25	045	37	%	MLA5
26	046	38	&	MLA6
27	047	39	'	MLA7
28	050	40	(	MLA8
29	051	41	)	MLA9

HEX	OCT	DEC	ASCII	Msg
2A	052	42	*	MLA10
2B	053	43	+	MLA11
2C	054	44	,	MLA12
2D	055	45	-	MLA13
2E	056	46	.	MLA14
2F	057	47	/	MLA15
30	060	48	0	MLA16
31	061	49	1	MLA17
32	062	50	2	MLA18
33	063	51	3	MLA19
34	064	52	4	MLA20
35	065	53	5	MLA21
36	066	54	6	MLA22
37	067	55	7	MLA23
38	070	56	8	MLA24
39	071	57	9	MLA25
3A	072	58	:	MLA26
3B	073	59	;	MLA27
3C	074	60	<	MLA28
3D	075	61	=	MLA29
3E	076	62	>	MLA30
3F	077	63	?	UNL
40	100	64	@	MTA0
41	101	65	A	MTA1
42	102	66	B	MTA2
43	103	67	C	MTA3
44	104	68	D	MTA4
45	105	69	E	MTA5
46	106	70	F	MTA6
47	107	71	G	MTA7
48	110	72	H	MTA8
49	111	73	I	MTA9
4A	112	74	J	MTA10
4B	113	75	K	MTA11
4C	114	76	L	MTA12
4D	115	77	M	MTA13
4E	116	78	N	MTA14
4F	117	79	O	MTA15
50	120	80	P	MTA16
51	121	81	Q	MTA17
52	122	82	R	MTA18
53	123	83	S	MTA19

HEX	OCT	DEC	ASCII	Msg
54	124	84	T	MTA20
55	125	85	U	MTA21
56	126	86	V	MTA22
57	127	87	W	MTA23
58	130	88	X	MTA24
59	131	89	Y	MTA25
5A	132	90	Z	MTA26
5B	133	91	[	MTA27
5C	134	92	\	MTA28
5D	135	93	]	MTA29
5E	136	94	^	MTA30
5F	137	95	_	UNT
60	140	96	`	MSA0,PPE
61	141	97	a	MSA1,PPE
62	142	98	b	MSA2,PPE
63	143	99	c	MSA3,PPE
64	144	100	d	MSA4,PPE
65	145	101	e	MSA5,PPE
66	146	102	f	MSA6,PPE
67	147	103	g	MSA7,PPE
68	150	104	h	MSA8,PPE
69	151	105	i	MSA9,PPE
6A	152	106	j	MSA10,PPE
6B	153	107	k	MSA11,PPE
6C	154	108	l	MSA12,PPE
6D	155	109	m	MSA13,PPE
6E	156	110	n	MSA14,PPE
6F	157	111	o	MSA15,PPE
70	160	112	p	MSA16,PPD
71	161	113	q	MSA17,PPD
72	162	114	r	MSA18,PPD
73	163	115	s	MSA19,PPD
74	164	116	t	MSA20,PPD
75	165	117	u	MSA21,PPD
76	166	118	v	MSA22,PPD
77	167	119	w	MSA23,PPD
78	170	120	x	MSA24,PPD
79	171	121	y	MSA25,PPD
7A	172	122	z	MSA26,PPD
7B	173	123	{	MSA27,PPD
7C	174	124		MSA28,PPD
7D	175	125	}	MSA29,PPD
7E	176	126	~	MSA30,PPD
7F	177	127	DEL	



Anexo B

CARTAS DE PRESENTACIÓN

Señores:
ANDESCON
Quito Ecuador

Respetados,

Reciban un cordial saludo por parte del Semillero de Investigación en Electromedicina y Bioingeniería, VITAL SIGNAL & CONTROL MEDICAL EQUIPMENT I+D, de la Universidad Santo Tomas de Aquino de la ciudad de Tunja-Boyacá Colombia. Mediante la presente queremos hacer la presentación formal de los proyectos de investigación, "Diseño Y Desarrollo De Un Sistema SCADA Extensible A Procesos Hospitalarios, Con Aplicabilidad A Incubadoras Neonatales" y "Diseño E Implementación Del Sistema Electrónico, Para El Control De Movimientos De Una Plataforma Móvil A Partir De Electrooculografia", con los cuales pretendemos participar en congreso ANDESCON 2006 "Innovación tecnológica: Un reto para América Latina"

Con el desarrollo de estos trabajos se ha querido, suscitar interacción entre la academia y la problemática presente en el sector médico regional, donde se vislumbra la carencia de innovaciones tecnológicas que permitan el mejoramiento de la salud integral de las personas.

De ante mano agradecemos, la atención prestada. En espera de positivas noticias.

Atentamente,

ING. LUÍS FREDY SOSA QUINTERO

Director Semillero de Investigación

Nuestra Misión: "Salud Integral Para Todos"

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
VITAL_SIGNAL_USTA@gruposyaho.com
Calle 19 N° 11-64 Teléfonos 7445847 – 7402611 Tunja, Boyacá



Vital Signal & Control Medical Equipment
Investigation and Development
USTA



Tunja, 31 de diciembre de 2005

Doctora:
Milena Ortega Pinilla
Subdirectora Hospital Regional
Chiquinquirá.

Ref. Presentación del grupo de investigación en Bioingeniería e ingeniería Biomédica Vital Signal & Control Medical Equipment Investigation and Development USTA. (VSC& I+D).

Cordial saludo,

El centro de investigación en conjunto con la facultad de Ing. Electrónica de la Universidad Santo Tomas. Tiene el gusto de presentarle, el grupo interdisciplinario VSC& I+D. Conformado por docentes, estudiantes y administrativos de nuestras facultades y otras instituciones; en cabeza del Ingeniero Luis Freddy Sosa Quintero. Quienes desarrollan investigaciones referentes a la ingeniería aplicada en la medicina.

Conociendo de sus políticas institucionales, para aportar nuevas alternativas, que ofrezcan soluciones en un mundo necesitado de investigación, para la construcción de nuevo conocimiento en pro de la salud, le extendemos invitación para que se suscriba a este grupo como participe activo contribuyendo con su experiencia y profesión en el crecimiento integral del grupo y de nuestra sociedad, mediante la disposición de las instalaciones y equipos hospitalarios de la entidad que usted representa, con el fin de realizar estudios en ellos y de este modo generar soluciones a la problemática planteada y/o presente que se determine gracias a la realización de visitas de observación a su institución.

VSC& I+D en esta dinámica desea realizar una primera visita el día 12 de enero de 2006 a partir de las 8:00 a.m. (5 personas) con el fin de realizar la presentación formal del grupo, y realizar un diagnóstico preliminar, con el fin de proponer convenios de colaboración mutua.

Para mayor información puede comunicarse con:

Vital Signal & Control E-mail: VITAL_SIGNAL_USTA@gruposyaho.com
http://espanol.groups.yahoo.com/group/VITAL_SIGNAL_USTA/
Luis Fredy Sosa Q. Cel. 3153137381 mail luisfredysosa@yahoo.com
Camilo Pardo B. Cel. 3005675925 mail camilo_e_p@yahoo.es
Milton Forero Cel. 3106992362 mail milton_forero2000@yahoo.es

Cordialmente:

Milton Forero L.
Relaciones públicas VSC&

Nuestra Misión: "Salud Integral Para Todos"

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
VITAL_SIGNAL_USTA@gruposyaho.com
Calle 19 N° 11-64 Teléfonos 7445847 – 7402611 Tunja, Boyacá



Tunja, 26 de Octubre de 2005

Padre
SAMUEL ELÍAS FORERO BUITRAGO, O.P.
Vicerrector Académico
Universidad Santo Tomas
Ciudad

Respetado Padre;

Respetuosamente, me dirijo a Usted, con el fin de darle a conocer los nombres de los estudiantes elegidos por el grupo de investigación Vital Signal & Control M.E I+D, para representar a la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja en el primer simposio regional de electrónica y aplicaciones industriales a realizarse en la ciudad de Ibagué los días 3, 4 y 5 de noviembre del presente año. Los estudiantes elegidos son Camilo Ernesto Pardo Beainy por parte del trabajo titulado "Diseño y Desarrollo de un sistema SCADA extensible a procesos hospitalarios, con aplicabilidad a incubadoras neonatales" y Gustavo Enrique Ramírez Fuentes por parte del trabajo titulado "Diseño e implementación de un sistema para el control de movimientos de una plataforma móvil a partir de electrooculografía". Dicha elección se realizó teniendo en cuenta el amplio manejo de los temas a tratar.

Agradeciendo su atención.

Atentamente,

Fabián Rolando Jiménez López
Docente Facultad de Ing. Electrónica USTA-Tunja.

Nuestra Misión: "Salud Integral Para Todos"



Tunja, 19 de octubre de 2005

Señores:

Concejo Facultad de Ing. Electrónica
Universidad Santo Tomas
Tunja.

Cordial saludo,

Por medio de la presente, el grupo de investigación interdisciplinario **Vital Signal & Control Medical Equipment Investigation and Development USTA. (VSC I+D)**; le solicita autorización para:

1. Realizar un ciclo de mini-cursos para toda la comunidad universitaria interesada, en temas relacionados con las investigaciones y afines, que se desarrollan en el grupo **VSC I+D**.
2. Para cada curso; realizar la convocatoria pública dentro de las instalaciones de la Universidad, mediante la fijación de publicidad, y el uso de la emisora interna.
3. Que por medio de comunicaciones se impriman a color, para cada curso las convocatorias en dos pliegos de papel Bond.
4. La entrega de un certificado de participación a los asistentes de los mini-cursos, avalada por la USTA, el Centro de investigaciones, La facultad y el grupo **VSC I+D**.
5. El Cobro de dos mil pesos MTC. (\$ 2000) por participante a cada curso con el fin de sufragar gastos del certificado.
6. El préstamo del salón de audiovisuales # 1 y/o el laboratorio B de Ing. Electrónica según el horario del curso (disponibilidad ya verificada).
7. Usar de forma continua y permanente la tercera parte de la cartelera del hall que de cafetería conduce al edificio San Alberto Magno, con el fin de fijar información y publicidad pertinente a los grupos de investigación de electrónica.

Cordialmente:

VoBo

VoBo

Milton Forero López
Relaciones públicas
VSC I+D

Luis Fredy Sosa Q
Director **VSC I+D**

Nilce Ariza Barbosa
Directora CIUSTA

Nuestra Misión: "Salud Integral Para Todos"

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
VITAL_SIGNAL_USTA@gruposyyahoo.com
Calle 19 N° 11-64 Teléfonos 7445847 – 7402611 Tunja, Boyacá



Tunja, 09 de septiembre de 2005.

Doctora:

Nilce Ariza Barbosa

Directora del centro de investigaciones Universidad Santo Tomas
CIUSTA

Ref. Participación en el II Congreso de Bioingeniería e Ingeniería Biomédica.

Cordial saludo profesora Nilce, la presente tiene como objeto informar que nos ha llegado el ofrecimiento para asistir al **II Congreso de Bioingeniería e Ingeniería Biomédica** que se desarrollara en la Ciudad de Bogotá los días 26, 27 y 28 de octubre del presente año. El equipo de trabajo de **Vital Signal & Control Medical Equipment Investigation and Development USTA. (VSC& I+D)** se encuentra interesado en asistir a este encuentro ya que lo considera importante para los procesos de investigación y de creación de redes de trabajo en el campo de la biomédica, por tal razón solicitamos un apoyo institucional para asistir al mencionado evento.

Los participantes serán: **Viviana Salamanca Sierra, Camilo Ernesto Pardo Beainy, Milton Forero López y Luis Fredy Sosa Quintero**, anexamos el comunicado que nos llego con la ficha de inscripción.

Vital Signal & Control mail VITAL_SIGNAL_USTA@gruposyaho.com
http://espanol.groups.yahoo.com/group/VITAL_SIGNAL_USTA/

Luis Fredy Sosa Q.	Cel. 3153137381	mail luisfredysosa@yahoo.com
Camilo Pardo B.	Cel. 3005675925	mail camilo_e_p@yahoo.es
Viviana Salamanca S.	Cel. 3108521015	mail viviana_s_s@yahoo.es
Milton Forero López.	Cel. 3106992362	mail milton_forero2000@yahoo.es

Agradeciendo la atención prestada nos despedimos de usted, confiados de una respuesta positiva.

LUÍS FREDY SOSA QUINTERO
DIRECTOR VSC& I+D

Nuestra Misión: "Salud Integral Para Todos"

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
VITAL_SIGNAL_USTA@gruposyaho.com
Calle 19 N° 11-64 Teléfonos 7445847 – 7402611 Tunja, Boyacá



Tunja, 05 de septiembre de 2005

R.P. Carlos Ariel Betancurt O.P.
Vicerrector Administrativo
Universidad Santo Tomas

Cordial saludo,
Por medio de la presente, el grupo de investigación interdisciplinario Vital Signal & Control Medical Equipment Investigation and Development USTA. (VSC I+D); le solicita autorización para el préstamo del auditorio San Raimundo de Peñafort, el día jueves 08 de septiembre de 2005, de 6:30 p.m. a 9:00 p.m. con el fin de desarrollar una reunión informativa y de convocatoria para la vinculación de personas interesadas en trabajar en el grupo investigación que nosotros integramos.

Vital Signal & Control mail: VITAL_SIGNAL_USTA@gruposyahoo.com
http://espanol.groups.yahoo.com/group/VITAL_SIGNAL_USTA/
Luis Fredy Sosa Q. Cel. 3153137381 mail luisfredysosa@yahoo.com
Camilo Pardo B. Cel. 3005675925 mail camilo_e_p@yahoo.es
Milton Forero Cel. 3106992362 mail
milton_forero2000@yahoo.es

Cordialmente:

Milton Forero López
Relaciones públicas VSC I+D

Nuestra Misión: "Salud Integral Para Todos"

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
VITAL_SIGNAL_USTA@gruposyahoo.com
Calle 19 N° 11-64 Teléfonos 7445847 – 7402611 Tunja, Boyacá



Vital Signal & Control Medical Equipment
Investigation and Development
USTA



28 de Febrero de 2005

Doctora:
Elicenia Vallejo
Directora Hospital San Francisco E.S.E.
Villa de Leiva

Asunto: Establecer convenio de Inter.-institucional, Hospital San Francisco-USTA Tunja.

Cordial saludo,

El grupo de investigación: Vital Signal I+D inscrito al (CIUSTA) centro de investigaciones de la Universidad Santo Tomas Tunja, en la línea de investigación de control e instrumentación; se complace en dirigirse a usted, distinguiendo su valiosa labor en pro de la salud de la región, augurándole éxitos en el desempeño de sus actividades diarias.

Vital Signal I+D esta conformado por estudiantes de diferentes disciplinas del conocimiento, que se encuentra desarrollando una investigación aplicada, sobre la utilización de la tecnología en equipos médicos, actualmente en lo referente a incubadoras para neonatos y con proyección a otros equipos de uso medico hospitalario.

Teniendo en cuenta que:

En Boyacá no existe información de la administración de la tecnología aplicada a equipos e instalaciones hospitalarias en incubación para neonatos y otros equipos.

Desconociendo los factores que influyen en su funcionamiento; como: operadores, mantenimiento, tecnología, costos, utilización de los recursos de ultima generación; además no existen equipos de incubación diseñados e instrumentados con recursos e ingenio de la región, que cuenten con las herramientas necesarias y adecuadas para garantizar la seguridad del paciente, que facilite la operatividad o manipulación del equipo, el monitoreo practico de las variables involucradas y el estado del equipo, con la señalización pertinente que informe las anomalías presentes en el sistema. Disminuyendo costos y problemáticas sociales adyacentes, mejorando la calidad en el servicio hospitalario.

Es por esto que nos permitimos solicitarle a usted, se vincule a esta investigación mediante la disposición de las instalaciones y equipos hospitalarios de la entidad que usted representa, con el fin de realizar estudios en ellos y de este modo generar soluciones a la problemática planteada y/o presente. En compensación a esto el Grupo **Vital Signal I+D** brindara accesoria y mantenimiento tanto preventivo como correctivo, teniendo en cuenta los resultados de la investigación y las limitaciones del grupo.

Este convenio podrá ser sujeto a cambios, de acuerdo con las partes y tendrá como vigencia el término de la investigación

Atentamente:

Milton Forero López.
Investigador Representante

Nuestra Misión: "Salud Integral Para Todos"

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
VITAL_SIGNAL_USTA@gruposyahoo.com
Calle 19 N° 11-64 Teléfonos 7445847 – 7402611 Tunja, Boyacá

Anexo C

DATOS DE LOS AUTORES

	Viviana Salamanca Sierra: --Investigadora-- Ing. Electrónica. Universidad Santo Tomás Tunja – Boyacá – Colombia. Áreas de actuación: Instrumentación Electrónica, Electrónica Industrial, Sistemas y Controles Electrónicos. Integrante grupo de investigación VSC I+D. E-mail: viviana.salamanca@ustatunja.edu.co, viviana_salamanca@hotmail.com
	Camilo Ernesto Pardo Beainy: --Investigador-- Ing. Electrónico. Universidad Santo Tomás Tunja – Boyacá – Colombia. Áreas de actuación: Electromedicina, Procesamiento digital de señales, Control e Instrumentación. Integrante grupo de investigación VSC I+D. E-mail: cpardo@ustatunja.edu.co, camilo_e_p@hotmail.com
	Milton Forero López: --Investigador-- Ing. Electrónico. Universidad Santo Tomás Tunja – Boyacá – Colombia. Áreas de actuación: Instrumentación virtual y Electrónica, Sistemas Electrónicos de Medida. Integrante grupo de investigación VSC I+D. E-mail: milton.forero@ustatunja.edu.co, milton_forero2000@yahoo.es
	Luís Fredy Sosa Quintero: --Director-- Ingeniero Electrónico. Universidad Santo Tomas, Especialista en Gerencia de Instituciones de Educación Superior, Aspirante a Magíster en Educación, Coordinador del área de Circuitos y Computadores Facultad de Ingeniería Electrónica Universidad Santo Tomás Tunja –Boyacá – Colombia. Áreas de actuación: Circuitos Eléctricos, Magnéticos y Electrónicos, Medidas Eléctricas, Magnéticas y Electrónicas; Instrumentación Electrónica, Sistemas Eléctricos de Potencia, Telecomunicaciones y Educación. Director grupo de investigación VSC I+D. E-mail: lsosa@ustatunja.edu.co, luisfredysosa@yahoo.com

Anexo D

LISTADO DE INTEGRANTES DE VSC

Ingeniería Electrónica	Nombre	Descripción	Proyectos	Datos Personales
1. Ingeniera	Angélica Maria Salazar Madrigal	Ing. Electrónica, Especialista en Telecomunicaciones móviles, Docente Universidad Santo Tomas, Tunja Areas (Comunicaciones)	Asesora	Cel: 3002062103 e-mail: angesamad@yahoo.com asalazar@ustatunja.edu.co
2. Ingeniero	Edward Wilder Caro Anzola	Ing. Electrónico, Especialización en gerencia de ingeniería hospitalaria (en curso), Especialización en Instrumentación Electrónica (en curso), Docente Universidad Santo Tomas, Tunja. Medica e Instrumentación Electrónica)	Director del equipo de trabajo: PRÓTESIS. Asesor	Cel: 3103234282 e-mail: edwardcaro@latinmail.com ecaro@ustatunja.edu.co
3. Ingeniero	Fabían Rolando Jiménez	Ing. Electrónico, Especialista en Automatización Industrial, Maestría en Automatización y Control (en curso)	Director del equipo de trabajo: OCULA. Asesor	Cel: 3107637838 e-mail: fabianrijimenezl@yahoo.com fjimenez@ustatunja.edu.co
4. Ingeniero	Luis Fredy Sosa Quintero	Ing. Electrónico, Especialista en Gerencia de Instituciones de Educación Superior, Especialista en Gerencia de Proyectos, Maestría en Educación (en curso). Decano Facultad de Ingeniería Electrónica Universidad Santo Tomas, Tunja.	Director del equipo de trabajo: SCADA Hospitalario Asesor	Cel: 3153137381 e-mail: luisfredysosa@yahoo.com lsosa@ustatunja.edu.co
5. Ingeniero	Oscar Eduardo Umaña Méndez.	Ing. Electrónico, Magister en Administración de empresas, Docente Universidad Santo Tomas, Tunja	Asesor	Cel: 3104794443 e-mail: ingoeum@hotmail.com oumana@ustatunja.edu.co

6. Ingeniero	Oscar Oswaldo Rodríguez	Ing. Electrónico, Especialista en Instrumentación Electrónica; docente de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC	Asesor	Cel: 3103418290 e-mail: oordriguezd@unal.edu.co orodriguez@sogamoso.uptc.edu.co
7. Estudiante	Andrea Catalina Alvarado	VI Semestre	Coinvestigadora Secretaría Grupo VSC	Cel: 3152409985 e-mail: cat19_98@hotmail.com
8. Estudiante	Alejandra Sepúlveda Figueroa.	IV Semestre.	Coinvestigadora	Cel: 3103412852 e-mail: aleja068@yahoo.com
9. Estudiante	Andrea Nayibe Castañeda	VI Semestre	Coinvestigadora	Cel: 3152160332 e-mail: andrea_nayibel7@yahoo.com
10. Estudiante	Camilo Ernesto Pardo Beainy	Coordinador de laboratorios de electrónica USTA Tunja, En trabajo de grado, Asesor proyectos programa Ondas COLCIENCIAS, Desempeño en áreas de Gestión, LabView, Microcontroladores, Simulación electrónica.	Investigador SCADA Hospitalario	Cel: 3005675925 e-mail: camilo_e_p@hotmail.com opardo@ustatunja.edu.co
11. Estudiante	Diego Ivan Oliveros Acosta	III Semestre	Investigador PRÓTESIS	Cel: 3002920660 e-mail: diego.ivan@gmail.com
12. Estudiante	Edgar Andrés Gutiérrez Cáceres	VI Semestre	Coinvestigador	Cel: 3118349032 e-mail: gubic18@hotmail.com
13. Estudiante	Gustavo Enrique Ramirez Fuentes	En trabajo de grado	Investigador OCULA	Cel: 3112731012 e-mail: Kitavo@hotmail.com gusatavo.ramirez@ustatunja.edu.co
14. Estudiante	Javier Enrique Díaz Cortés	Medico Cirujano Universidad Nacional de Colombia, estudiante de V semestre Ing. Electrónica	Investigador PRÓTESIS	Cel: 3002326137 - 3114659127 e-mail: javierdiazmd@gmail.com javierdiazmd@hotmail.com javierdiazmd@yahoo.es

15. Estudiante	Adriana del Pilar Noguera Torres	VIII Semestre.	Investigadora de un Prototipo de estimulador tras craneal por corriente directa con monitoreo remoto	Cel: 3002212618 e-mail: adriana.noguera@santoto.ustatunja.edu.co
16. Estudiante	Juan Carlos Guerrero Morales	VIII Semestre.	Investigador de un Prototipo de estimulador tras craneal por corriente directa con monitoreo remoto	Cel: 3124521551 e-mail: juan.guerrero@santoto.ustatunja.edu.co
17. Estudiante	Lina Tatiana Naranjo Guió	V Semestre.	Coinvestigadora	Cel: 3112408836
18. Estudiante	Manuel Eduardo Herrera Jiménez.	V Semestre.	Coinvestigador	e-mail: linistatis@yahoo.es Cel: 3158873738
19. Estudiante	Milton Forero López	En trabajo de grado, Asesor proyectos programa Ondas COLCIENCIAS, Desempeño en áreas de Gestión, LabView, Microcontroladores, Simulación electrónica.	Investigador SCADA Hospitalario	Cel: 3106992362 e-mail: milton_forero2000@yahoo.es milton_forero@hotmail.com milfo@terra.com
20. Estudiante	Nelly Carolina Velandia Rodríguez.	VI semestre	Coinvestigadora	Cel: 3115604725 e-mail: nallykrito@yahoo.com
21. Estudiante	Oscar Javier Otero Murillo	En trabajo de grado, Sonido e iluminación inteligente, DSP, Uc, Wavelets, Fuzzy, Neural Nets, Neuro Fuzzy, Identificación de sistemas, Matlab.	Investigador OCULA	Cel: 3003116639 - 3105787969 e-mail: ojo_78@yahoo.com.mx javier_otero78@hotmail.com

22. Estudiante	Samanda Tatiana Ramos	VI semestre	Coinvestigadora	Cel: 3005716712 e-mail: samytatis@yahoo.com samytatis@hotmail.com
23. Estudiante	Viviana Salamanca Sierra	En trabajo de grado, Desempeño en áreas de Gestión, LabView, Microcontroladores, Simulación electrónica.	Investigadora SCADA Hospitalario	Cel: 3108521015 e-mail: viviana_salamanca@hotmail.com
24. Estudiante	Andrés Felipe Suárez Corredor	VI semestre	Coinvestigador	Cel: 312258344 e-mail: daytonaaf@hotmail.com
25. Estudiante	Miguel Ángel Samacá Contreras	VIII Semestre.	Investigador de un Prototipo de estimulador tras craneal por corriente directa con monitoreo remoto	Cel: 3103493434 e-mail: miguel.samaca@santoto.ustatunja.edu.co
26.	Diana Yadhí Riscanevo Espitia	VIII Semestre.	Investigadora PRÓTESIS	Cel: 3115253148 e-mail: dianariscanevo07@hotmail.com
27.	Javier Fernando Botia Valderrama	VIII Semestre.	Investigador WAVELETS	Cel: 3002212618 e-mail: javi02018@gmail.com
Derecho	Nombre	Descripción	Proyectos	Datos Personales
28. Abogado	Ciro Nolberto Güechea Medina	Abogado. Especialista en Derecho Administrativo, Especialista en Derecho Administrativo de Salamanca, Maestría en Derecho Procesal, Maestría en Derecho Administrativo, Doctorado en Derecho Administrativo. Decano Facultad de Derecho, Universidad Santo Tomas, Tunja.	Director del equipo de trabajo: RESPONSABILIDAD MEDICA. Responsabilidad en Actos Terroristas. Responsabilidad del Estado en contratación administrativa por actos de corrupción. Asesor.	Cel: 3153169291 e-mail: cguecha@ustatunja.edu.co

29. Abogado	Julio Antonio Ramírez Villate	Abogado. Docente Facultad de Derecho, Universidad Santo Tomas, Tunja.	Investigador RESPONSABILIDAD MÉDICA	Cel: 3124804005
30. Estudiante	Fernando Gamboa	IX semestre	Investigador RESPONSABILIDAD MÉDICA	Cel: 3114549923
31. Estudiante	Cristina Barón	IX semestre	Investigadora RESPONSABILIDAD MÉDICA	Cel: 3002750562 e-mail: cristinabaron@gmail.com
32. Estudiante	Diana Pardo	IX semestre	Investigadora RESPONSABILIDAD MÉDICA	Cel: 3124493493 e-mail: dianitapardo20@yahoo.com
Ciencias Naturales	Nombre	Descripción	Proyectos	Datos Personales
33. Médico.	Donnald Alexander Lopez	Medico y Cirujano Universidad Militar Nueva Granada.	Asesor	Tel: (8)7431544
Ciencias Básicas	Nombre	Descripción	Proyectos	Datos Personales
34. Licenciado.	Jairo Guasgüita	Lic. en Matemáticas, Especialista en estadística, Magister en Estadística.	Director del equipo de trabajo: WAVELETS Asesor	Cel: 3003601079
35. Licenciado.	Jorge Alberto Aguirre	Lic. en Matemáticas	Asesor	Cel: 3002140623

ÍNDICE

A

ABIOIN, 30, 40
 ACA, 44
 ambiente, 28, 32, 33, 39, 42, 43, 46, 48, 49, 51, 52, 53,
 55, 56, 57, 59, 75, 77, 80, 81, 85, 90, 138, 147, 165,
 166, 173, 175, 194, 209, 230, 237, 255, 257, 258
 autómatas, 28, 60, 63, 68, 88, 91
 Automatización, 22, 42, 43, 44

B

Biocibernética, 39
 Bioelectrónica, 39
 bioinformática, 39
 Bioingeniería, 22, 23, 27, 40, 41, 57, 273, 305, 306, 309
 BIOINGENIERÍA, 38, 54, 274, 302
 Generalidades, 38
 Bioinstrumentación, 39
 Biomecánica, 39, 40
 Biónica, 39

C

CIM, 19, 22, 24, 29, 62, 89, 143, 144, 145, 146, 147,
 189, 239, 274
 Resumen, 22
 ciudades
 Duitama, 31
 Sogamoso, 31
 Tunja, 31
 CONTROL, 19, 32, 60, 98, 214, 255, 256, 257, 273,
 276, 305
 Servo, 20
 controlador, 54, 55, 76, 82, 98, 102, 104, 105, 106, 107,
 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117,
 119, 172, 195, 196, 201, 206, 207, 208
 controladores, 24, 28, 60, 63, 86, 91, 98, 99, 101, 102,
 104, 108, 111, 114, 115, 117, 119, 145, 195, 301
 CRT, 19, 66

D

DERMATOLOGÍA, 19
 difuso, 27, 118, 119, 120, 121, 123, 124, 195, 196, 197,
 201, 207, 208
 dinamómetro, 71

E

Error, 69, 196, 245, 268
 Evaluación, 42
 Exactitud, 70, 101, 163, 165, 167, 168

G

GASTROENTEROLOGÍA, 19

H

HUMEDAD RELATIVA, 275
 del aire, 55
 glosario, 19
 importancia, 56
 humidificación, 56

I

incubadora, 20, 31, 51, 53, 57, 58, 59, 163, 165, 170,
 172, 216, 260, 313, 314, 315, 316
 Incubadora, 22, 56, 57, 58, 59, 60, 163, 232, 254, 255,
 256, 260
 ingeniería Biomédica, 29, 41, 306
 instrumentación, 23, 24, 28, 29, 30, 31, 34, 35, 37, 60,
 63, 67, 68, 86, 98, 163, 175, 176, 177, 178, 181,
 187, 194, 258, 262, 263, 274, 311, 313

J

JUSTIFICACIÓN, 34
 Aporte al Conocimiento, 36
 Comunicaciones, 35
 Control, 35
 Enfermedades, 34
 Impacto Económico, 36
 instrumentación, 35

L

LAN, 19, 90
 LCD, 19, 62, 66, 212, 224, 228
 LED, 19, 64, 65, 66
 LIPOLISIS, 19
 Logo, 275

M

MAXILOFACIAL, 19
mecanismo, 20, 48, 55, 80, 102, 196, 245
Medición, 42
METABOLISMO BASAL, 19
MONITOR, 19
monitoreo, 22, 25, 26, 28, 29, 31, 32, 35, 37, 45, 55, 57,
60, 61, 62, 64, 65, 68, 80, 136, 143, 147, 148, 149,
194, 212, 213, 216, 218, 222, 239, 240, 241, 242,
246, 250, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 262,
263, 311, 315, 316
MORBILIDAD, 20
MORTALIDAD, 20, 138

N

NATALIDAD, 20, 138
neonato, 23, 32, 37, 46, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 56,
57, 59, 147, 165, 166, 169, 173, 180, 184
NEUMOLOGÍA, 20
NEUROCIRUGÍA, 20
NEUROLOGÍA, 20
NOREPINEFRINA, 20

O

OBJETIVOS, 37
Específicos, 37
General, 37
OFTALMOLOGÍA, 20
ORTOPEDIA, 20
OTORRINOLARINGOLOGÍA, 20

P

patrón, 45, 64, 71, 214, 215
PEDIATRÍA, 20, 47, 301
PERTURBACIONES
Externas, 275
Internas, 20
PROBLEMA
Delimitación
Ambiental, 33
Física
Etapa
Control y Procesamiento, 32
Instrumentación, 32
Monitoreo, 32
Geográfica, 33
Descripción, 31
Planteamiento, 31
PSICOMETRÍA, 20

R

Rango, 69, 77, 165, 167, 168
regulación, 23, 24, 48, 49, 52, 54, 55, 67, 88, 104, 110,
111, 115, 120, 125, 134, 157, 163
Repetibilidad, 70
Resolución, 69, 163
RESUMEN, 22

S

SCADA, 1, 22, 24, 28, 38, 45, 60, 61, 62, 63, 86, 87,
88, 89, 143, 147, 148, 240, 257, 262, 266, 274, 282,
283, 305, 307
Sensibilidad, 70, 164
sensor, 20, 59, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 76, 78, 79, 80, 81,
82, 83, 106, 137, 163, 165, 166, 168, 169, 170, 171,
175, 176, 177, 178, 196, 254, 255, 257, 263
servomecanismo, 71, 99, 111, 112, 115
Span, 69, 165, 167, 168, 170
supervisión, 24, 27, 28, 60, 62, 63, 64, 65, 98, 120, 143,
145, 147, 212, 213, 215, 218, 239, 240, 242, 255,
257, 260, 262, 263, 264

T

temperatura, 19, 20, 23, 28, 31, 37, 39, 43, 47, 48, 49,
50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 72, 74, 75, 76, 77,
78, 79, 80, 81, 109, 111, 147, 157, 164, 165, 166,
167, 168, 170, 172, 173, 180, 182, 183, 184, 187,
188, 194, 195, 196, 242, 254, 255, 257, 258, 259
termorregulación, 49, 50, 54, 55, 56
TOMOGRFÍA, 20
TRAUMATOLOGÍA, 20

U

UROLOGÍA, 20

V

valores lingüísticos, 196, 197, 201
VI, 21, 44, 86, 243, 244, 245, 247, 249, 250, 251, 252,
261, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 285, 314, 315,
316
virtual, 24, 66, 86, 90, 243, 312
VSC I+D USTA, 41

W

WAN, 21, 90