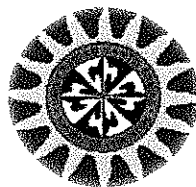


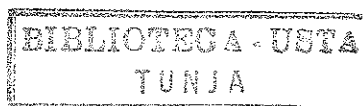
TIE
C68
2009

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN
ELECTRÓNICA PARA LOS MODULOS ROBOTICO
CARTESIANO Y ARTICULADO**

0 8 4 8



**MARY YOHANNA CRUZ GUERRERO
DIANA LORENA MORALES GUERRERO**



**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
TUNJA
2009**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN
ELECTRÓNICA PARA LOS MODULOS ROBOTICOS
CARTESIANO Y ARTICULADO**

**MARY YOHANNA CRUZ GUERRERO
DIANA LORENA MORALES GUERRERO**

Trabajo de monografía que presenta los resultados
de la investigación realizada para obtener
el título de Ingeniero Electrónico

Director
Oscar Eduardo Umaña Méndez
MsC. Ingeniero Electrónico

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
TUNJA
2009**

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

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Tunja, 17, Julio, 2009

DEDICATORIA

Mary Cruz.

He trabajado con esmero y dedicación en mi tesis, la cual no hubiese sido posible de realizar sin el apoyo de mi maravillosa familia, quien se ha convertido en una fuente constante de energía y motivación. A mi papá José Guillermo quien me ha enseñado a ser una persona perseverante, a mi mamá Mary Luz quien en su diario vivir ha cultivado en mí el amor y el respeto a Dios, a mi hermana Ibeth Yadira que en su corta experiencia me ha enseñado el valor para afrontar las situaciones difíciles con entereza y ver lo positivo de lo que suceda. En especial a mi abuelita María Leonor quien me animó en mis momentos de soledad y tristeza, que me inspiro para mirar siempre adelante y superarme en todas mis áreas, de corazón dedico este logro a ella con quien me hubiese gustado compartir esta etapa de mi vida.

Diana Morales

Día a día se culminan sueños, proyectos, metas y cada unas de ellas son motivadas por seres especiales que existen en nuestras vidas, dedico este trabajo a mis padres María Teresa Guerrero y Edgar Morales por enseñarme que jamás hay que rendirse ante ninguna dificultad y brindarme la posibilidad de seguir fomentando mis conocimientos, a mis hermanos y sobrino Jorge, Sebastian, Osman, Marcela y Juan David por ser mi apoyo constante, a Fabi por estar con amor junto a mí en la batalla de la vida y ser mi mejor consejero, y especialmente a mi bebe Juan Pablo que cambio mi vida demostrándome que la fortaleza es la más grande de sus cualidades.

AGRADECIMIENTOS

A Dios...

Por darnos la oportunidad de fortalecer nuestros conocimientos y no dejarnos desfallecer en los momentos de dificultades, mostrándonos el camino más apropiado, siempre apoyándonos como equipo de trabajo.

A Nuestras Familias...

Mary Cruz

*Mary Luz Guerrero, José Guillermo Cruz, Ibeth Yadira Cruz,
Francisco Cruz.*

Diana Morales

*Fabián Jiménez, Juan Pablo Jiménez, María Teresa Guerrero,
Edgar Morales, Marcela, Osman, Juan Sebastián,
Jorge Esteban y Juan David Morales.*

Gracias por aguantarnos, tolerar nuestros malos genios, brindarnos soluciones prácticas, enseñarnos el diario vivir, fomentar el espíritu de mujeres emprendedoras y capaces de afrontar nuevos retos.

Al Centro de Investigaciones de la Universidad Santo Tomás Tunja CIUSTA y a la Facultad de Ingeniería Electrónica...

*Doctor Galo Numpaque Acosta, Ing. Luis Fredy Sosa Quintero,
Ing. Adolfo Ávila Barón, Ing. Edward Caro Anzola, Ing. William Álvarez Castañeda,
Ing. Ricardo Casallas Gutiérrez, Ing. Camilo Pardo Beainy,
Ing. Milton Forero López, Ing. Angélica Salazar Madrigal, Ing. Eduardo Avendaño,
Ing. Edgar Gutiérrez, Ing. Carlos Cardona Coy, Ing. Fabián Chaparro,
Ing. Mónica Páez, Patricia Cárdenas y en especial al
Ing. Oscar Eduardo Umaña Méndez y al Ing. Fabián Jiménez López.*

Por ser nuestras guías y ejemplos, siempre manifestando sus ideas que son nuestro soporte cognitivo, porque creemos en nuestros maestros son ellos los gestores del saber.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	18
GLOSARIO.....	20
PROLOGO.....	23
INTRODUCCION.....	25
1. ANTECEDENTES.....	28
1.1 PROBLEMÁTICA.....	28
1.1.1 Planteamiento.....	28
1.1.2 Descripción.....	28
1.1.3 Delimitación.....	29
1.1.3.1 Física.....	29
1.2 JUSTIFICACION.....	29
1.2.1 Impacto Económico.....	30
1.2.2 Aporte al conocimiento.....	30
1.3 OBJETIVOS.....	31
1.3.1 General.....	31
1.3.2 Específicos.....	31
2. MARCO PRELIMINAR.....	33
2.1 INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA.....	33
2.1.1 Generalidades.....	33
2.1.2 Disciplinas.....	33
2.1.3 Evolución.....	34
2.1.4 Antecedentes Regionales, Nacionales y Mundiales.....	34
2.2 ROBOTICA.....	37
2.2.1 Generalidades.....	37
2.2.2 Disciplinas.....	37
2.2.3 Evolución.....	38
2.2.4 Antecedentes Regionales, Nacionales y Mundiales.....	38
3. MARCO TEORICO.....	41
3.1 INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA.....	41
3.1.1 Definición.....	41
3.1.1.1 Tipos de instrumentación.....	42
3.1.2 Sensores.....	42
3.1.2.1 Definición.....	42
3.1.2.1 Clasificación.....	42
3.1.3 Actuadores.....	43
3.1.3.1 Definición.....	43
3.1.3.2 Clasificación.....	44
3.1.4 Amplificadores.....	44
3.1.4.1 Definición.....	44

3.1.4.2	Clases de Amplificadores.....	44
3.1.5	<i>Acoples</i>	49
3.1.5.1	Definición.....	49
3.1.5.2	Clases de acoples.....	50
3.1.6	<i>Filtros</i>	53
3.1.6.1	Definición.....	53
3.1.6.2	Clases de filtros.....	53
3.1.7	<i>Multiplexores</i>	56
3.1.7.1	Definición.....	56
3.1.7.2	Clases de multiplexores.....	56
3.1.8	<i>Puente H</i>	60
3.1.8.1	Definición.....	60
3.1.8.2	Descripción de Puente H.....	60
3.1.9	<i>Fuentes de alimentación</i>	61
3.1.9.1	Definición.....	61
3.1.9.2	Clases de fuentes de alimentación.....	62
3.2	ESTRUCTURA MECANICA DEL ROBOT	63
3.2.1	<i>Condiciones básicas de Operación</i>	64
3.2.1.1	Los eslabones y Junturas.....	64
3.2.1.2	Los Grados de Libertad.....	64
3.2.1.3	La orientación Eslabón.....	65
3.2.1.4	El Punto de Centro de herramienta TCP(Top Center Point).....	66
3.2.1.5	El espacio de trabajo.....	66
3.2.1.6	La velocidad.....	66
4.	DESCRIPCIÓN DE LOS MÓDULOS ROBÓTICOS CARTESIANO Y ARTICULADO	66
4.1	MODULO ROBOTICO CARTESIANO	67
4.1.1	<i>Estructura mecánica</i>	67
4.1.1.1	Los eslabones y Junturas.....	67
4.1.1.2	Los Grados de Libertad.....	68
4.1.1.3	La orientación Eslabón.....	68
4.1.1.4	El Punto de centro de herramienta (TCP).....	69
4.1.1.5	El espacio de trabajo.....	69
4.1.1.6	La velocidad.....	69
4.1.2	<i>Sensores</i>	71
4.1.3	<i>Actuadores</i>	76
4.2	MODULO ROBOTICO ARTICULADO	79
4.2.1	<i>Estructura mecánica</i>	79
4.2.1.1	Los eslabones y juntas.....	79
4.2.1.2	Los Grados de Libertad.....	80
4.2.1.3	La orientación Eslabón.....	80
4.2.1.4	El Punto de Centro de herramienta (TCP).....	81
4.2.1.5	El espacio de trabajo.....	81
4.2.1.6	La velocidad.....	82
4.2.2	<i>Sensores</i>	82

4.2.3	Actuadores.....	85
5.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA PARA ADQUISICIÓN DE LAS SEÑALES DE LOS SENSORES.....	88
5.1	DISEÑO DE LA INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA PARA LA ADQUISICIÓN DE SEÑALES.....	88
5.1.1	Entradas análogas de 0 a 5Vdc.....	89
5.1.1.1	Polarización Sensores de Posición (Potenciómetros).....	90
5.1.1.2	Polarización Sensores de Posición (Encoder Incremental).....	91
5.1.1.3	Sensores de Velocidad Angular (Motogenerador).....	94
5.1.2	Multiplexación de entradas análogas.....	95
5.1.2.1	Descripción multiplexor análogo.....	95
5.1.2.2	Simulación multiplexor análogo.....	96
5.1.2.3	Diseño de niveles lógicos para selección de entradas del MCP506A.....	97
5.1.3.	Amplificación de señales análogas.....	104
5.1.3.1	Amplificador Seguidor.....	105
5.1.3.2	Amplificador No Inversor.....	107
5.1.4	Optoacoplamiento Análogo.....	109
5.1.5	Filtro Pasa Bajo.....	111
5.1.6	Convertor de frecuencia a voltaje.....	114
5.1.7	Implementación del prototipo de instrumentación para la adquisición de señales del Modulo Robótico Articulado.....	116
5.1.8	Implementación del prototipo de instrumentación para la adquisición de señales del Modulo Robótico Cartesiano.....	117
5.1.9	Diseño e implementación de fuente de alimentación regulada de 5Vdc, +12Vdc y -12Vdc.....	118
6.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA PARA LA DISTRIBUCIÓN DE LAS SEÑALES HACIA LOS ACTUADORES.....	120
6.1	DISEÑO DE LA INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA PARA LA DISTRIBUCION DE SEÑALES.....	120
6.1.1	Distribución de las señales.....	121
6.1.2	Optoacoplamiento.....	121
6.1.3	Preaccionamiento de los actuadores.....	122
7.	DISEÑO DE HERRAMIENTAS DE SOPORTE PARA APLICACIONES CON LOS MÓDULOS ROBÓTICOS.....	125
7.1	DISEÑO DEL CONTROL PWM CON DSP.....	125
7.1.1	Definición de PWM (Modulación por ancho de pulsos).....	125
7.1.2	Definición de servomotores.....	126
7.1.2.1	Funcionamiento.....	127
7.1.3	Procedimiento de creación de la aplicación.....	131
7.2	ADQUISICIÓN DE DATOS DE SENSORES DE POSICIÓN POTENCIÓMETROS.....	141

7.2.1	Valores de variación de voltaje y resistencia con respecto al ángulo o posición.....	141
7.2.2	Descripción de la adquisición de los datos de sensores de posición.....	147
8.	CONCLUSIONES.....	158
9.	RECOMENDACIONES.....	160
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	162
ANEXOS		

LISTAS DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1. Clasificación del sensor según la magnitud física a detectar.....</i>	43
<i>Tabla 2. Descripción de terminales del encoder EE-SX493.....</i>	92
<i>Tabla 3. Tabla de Verdad del Multiplexor MPC506A.....</i>	95
<i>Tabla 4. Características Técnicas del AO LF353.....</i>	105
<i>Tabla 5. Características Técnicas del Optoacoplador 4N25.....</i>	109
<i>Tabla 6. Características Técnicas del conversor frecuencia voltaje.....</i>	114
<i>Tabla 7. Características Técnicas de los reguladores de voltaje utilizados en la fuente.....</i>	118
<i>Tabla 8. Características técnicas de transistor 2N3055.....</i>	122
<i>Tabla 9. Estados lógicos de giro motores DC.....</i>	123
<i>Tabla 10. Valores de variación de voltaje y resistencia con respecto al ángulo o posición.....</i>	141
<i>Tabla 11. Descripción modulo análogo de la tarjeta de adquisición de datos NI USB- 6009.....</i>	148

LISTAS DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Configuracion amplificador comparador.....	44
Figura 2.	Configuracion amplificador seguidor.....	45
Figura 3.	Configuracion amplificador inversor.....	45
Figura 4.	Configuracion amplificador no inversor.....	46
Figura 5.	Configuracion amplificador sumador inversor.....	47
Figura 6.	Configuracion amplificador restador.....	47
Figura 7.	Configuracion amplificador integrador ideal.....	48
Figura 8.	Configuracion amplificador derivador ideal.....	49
Figura 9.	Circuito equivalente de un optoacoplador.....	51
Figura 10.	Acople con fototiristor.....	52
Figura 11.	Filtro pasa-altas pasivo.....	54
Figura 12.	Circuito de filtro pasa banda.....	54
Figura 13.	Filtro pasa bajas.....	55
Figura 14.	Filtro pasa altas.....	55
Figura 15.	Filtro pasa banda.....	56
Figura 16.	Interruptores analógicos multiplexor.....	57
Figura 17.	Multiplexor diferencial.....	57
Figura 18.	Multiplexor digital.....	59
Figura 19.	Circuito de Puente H.....	60
Figura 20.	Circuito de Puente H.....	61
Figura 21.	Fuente conmutada.....	62
Figura 22.	Fuente regulada.....	63
Figura 23.	Eslabones y Junturas.....	64
Figura 24.	Grados de libertad.....	65
Figura 25.	Posicionamiento de herramienta en el espacio.....	65
Figura 26.	Punto de centro de herramienta.....	66
Figura 27.	Eslabones en el modulo robótico cartesiano.....	67
Figura 28.	Junturas en el modulo robótico cartesiano.....	68
Figura 29.	Grados de libertad del modulo robótico cartesiano.....	68
Figura 30.	Orientación de eslabones del modulo robótico cartesiano.....	69
Figura 31.	Punto de centro de herramienta del modulo robótico cartesiano.....	69
Figura 32.	Espacio de trabajo del modulo robótico cartesiano.....	70
Figura 33.	Sensor fin de curso eje X modulo robótico cartesiano.....	71
Figura 34.	Sensor encoder incremental de 110 pasos eje X modulo robótico cartesiano.....	71
Figura 35.	Sensor Motogenerador de 500mV eje X modulo robótico cartesiano.....	72
Figura 36.	Sensor fin de curso eje Y modulo robótico cartesiano.....	72

Figura 37.	Sensor encoder incremental 110 pasos eje Y modulo robótico cartesiano.....	73
Figura 38.	Sensor Motogenerador eje Y modulo robótico cartesiano.....	73
Figura 39.	Sensor fin de curso eje Z modulo robótico cartesiano.....	74
Figura 40.	Sensor encoder incremental eje Z modulo robótico cartesiano..	74
Figura 41.	Sensor fin de curso eje pich modulo robótico cartesiano.....	75
Figura 42.	Sensor encoder 29 pasos eje pich modulo robótico cartesiano.	75
Figura 43.	Sensor posición pinza pivote modulo robótico cartesiano.....	76
Figura 44.	Motor de transmisión eje X modulo robótico cartesiano.....	76
Figura 45.	Motor de transmisión eje Y modulo robótico cartesiano.....	77
Figura 46.	Motor de transmisión eje Z modulo robótico cartesiano.....	77
Figura 47.	Motor de transmisión eje pich modulo robótico cartesiano.....	78
Figura 48.	Servomotor pinza pivote modulo robótico cartesiano.....	78
Figura 49.	Eslabones en el modulo robótico articulado.....	79
Figura 50.	Junturas en el modulo robótico articulado.....	79
Figura 51.	Grados de libertad del modulo robótico articulado.....	80
Figura 52.	Orientación de los eslabones del modulo robótico articulado....	80
Figura 53.	Punto de centro de herramienta del modulo robótico articulado.....	81
Figura 54.	Espacio de trabajo del modulo robótico articulado.....	81
Figura 55.	Sensor de posición base del modulo robótico articulado.....	82
Figura 56.	Sensor de posición hombro del modulo robótico articulado.....	83
Figura 57.	Sensores fines de curso hombro del modulo robótico articulado.....	83
Figura 58.	Sensor de posición codo del modulo robótico articulado.....	84
Figura 59.	Sensor de posición muñeca del modulo robótico articulado.....	84
Figura 60.	Sensor de posición servomotor del modulo robótico articulado.	85
Figura 61.	Motor de transmisión base del modulo robótico articulado.....	85
Figura 62.	Motor de transmisión hombro del modulo robótico articulado...	86
Figura 63.	Motor de transmisión codo del modulo robótico articulado.....	86
Figura 64.	Motor de transmisión Muñeca del modulo robótico articulado...	87
Figura 65.	Diagrama de bloques instrumentación para adquisición de señales.....	89
Figura 66.	Circuito de polarización de sensores de posición (potenciómetros).....	90
Figura 67.	Sensor de posición encoder incremental SPX5123-1.....	92
Figura 68.	Sensor de posición encoder incremental SX493.....	92
Figura 69.	Configuración interna encoder EE-SX493.....	92
Figura 70.	Polarización encoder EE-SX493.....	93
Figura 71.	Canales A y B del encoder incremental.....	93
Figura 72.	Señales desfasadas 90° de canales A y B del encoder incremental.....	93
Figura 73.	Motogenerador modulo robótico cartesiano eje Y.....	95
Figura 74.	Diagrama Funcional del MPC506A.....	95
Figura 75.	Simulación del multiplexor análogo MPC506A.....	96

Figura 76.	Señal generada de la simulación del multiplexor análogo MPC506A.....	97
Figura 77.	Puertos habilitados para generación de niveles lógicos del MUX.....	98
Figura 78.	Diagrama de flujo programación del μ C.....	99
Figura 79.	Diagrama de flujo rutina de retardo 1seg.....	99
Figura 80.	Inicios de memorias y asignación de librerías.....	98
Figura 81.	Inicio de programa principal.....	100
Figura 82.	Espera para orden de inicio de multiplexación.....	100
Figura 83.	Rutina de multiplexación.....	101
Figura 84.	Deshabilitación de multiplexación.....	101
Figura 85.	Rutina de retardo de 1 segundo.....	102
Figura 86.	Multiplexor MPC506A con los niveles lógicos habilitados en el JK3.....	103
Figura 87.	Circuito Prototipo de multiplexor con niveles lógicos.....	104
Figura 88.	Circuito Prototipo de multiplexor con niveles lógicos.....	104
Figura 89.	Circuito simulado del amplificador seguidor.....	106
Figura 90.	Circuito prototipo del amplificador seguidor.....	106
Figura 91.	Señal generada del amplificador seguidor.....	107
Figura 92.	Circuito simulado del amplificador no inversor.....	108
Figura 92a.	Circuito prototipo del amplificador no inversor.....	109
Figura 93.	Señal generada del amplificador no inversor.....	108
Figura 93a.	Señal generada del amplificador no inversor, salida y entrada..	109
Figura 94.	Configuración del optoacoplamiento.....	110
Figura 95.	Circuito prototipo de optoacoplamiento 4N25.....	111
Figura 96.	Señal generada del circuito prototipo de optoacoplamiento 4N25.....	111
Figura 97.	Señal generada del filtro pasa bajas a 60Hz.....	112
Figura 98.	Señal generada del filtro pasa bajas a 200Hz.....	113
Figura 99.	Circuito prototipo filtro pasa bajo.....	113
Figura 100.	Señal generada circuito prototipo filtro pasa bajo a 60Hz y 1KHz.....	113
Figura 101.	Señal de frecuencia del sensor encoder SX493.....	115
Figura 102.	Configuración del conversor frecuencia a voltaje LM2907.....	115
Figura 103.	Señal generada del conversor frecuencia a voltaje LM2907.....	116
Figura 104.	Instrumentación para la adquisición de señales del modulo robótico articulado.....	116
Figura 105.	Instrumentación para la adquisición de señales del modulo robótico cartesiano.....	117
Figura 106.	Circuito prototipo de instrumentación modulo robótico cartesiano.....	117
Figura 107.	Diseño de fuente +5Vdc, +12Vdc y -12Vdc.....	118
Figura 108.	Circuito prototipo de fuente +5Vdc, +12Vdc y -12Vdc.....	119

Figura 109.	Imagen generada 3D en multisim de fuente +5Vdc, +12Vdc y -12Vdc.....	119
Figura 110.	Circuito Impreso de fuente +5Vdc, +12Vdc y -12Vdc.....	119
Figura 111.	Diagrama de bloques instrumentación para la distribución de señales.....	121
Figura 112.	Simulación de optoacoplamiento para distribución de señales a los actuadores.....	122
Figura 113.	Circuito prototipo de preaccionamiento de actuadores.....	124
Figura 114.	Circuito prototipo de implementación de preaccionamiento de actuadores.....	124
Figura 115.	Una señal de onda cuadrada mostrando el ciclo de trabajo D....	125
Figura 115a	Servomotor de Pinza Pivote de Robot Articulado.....	126
Figura 116.	Ejemplo de Señal de Servomotor con PWM.....	127
Figura 117.	Señal de Servomotor con Grados y tiempo.....	128
Figura 118.	Ubicación de las piezas en el servomotor.....	129
Figura 119.	Ubicación en 0°.....	129
Figura 120.	Ubicación 90°.....	130
Figura 121.	Ubicación 180°.....	130
Figura 122.	Grafica de grados.....	130
Figura 123.	Ventana principal de Code Warrior IDE.....	131
Figura 124.	Ventana NEW de Code Warrior ID con la elección de Project....	131
Figura 125.	Ventana NEW PROJET de Code Warrior ID con la elección del tipo de Procesador.....	132
Figura 126.	Ventana Procesador Experto.....	132
Figura 127.	Ventana de BEAN SELECTOR para elegir categorías y adicionar los iconos del PWM.....	133
Figura 128.	Ventana del Bean Selector para elegir PWM.....	133
Figura 129.	Ventana del Bean Selector PWM.....	134
Figura 130.	Items Bean Selector.....	134
Figura 131.	Ventana de configuración del periodo de la señal PWM.....	135
Figura 132.	Ventana de configuración de los métodos.....	137
Figura 133.	Programa que genera señal PWM.....	138
Figura 134.	Programa que habilita el bean.....	138
Figura 135.	Programa que configura nuevos ciclos de trabajo al 20, 40, 60 y 80%.....	139
Figura 136.	Programa del retardo.....	139
Figura 137.	Señal PWM con diferentes configuraciones de ciclo de trabajo..	139
Figura 138.	Asignación de pines en el puerto GPIOB J18 para la salida del canal 0 del PWM.....	140
Figura 139.	Distribución del puerto GPIOB del DSP.....	140
Figura 140.	Grafica de Desplazamiento Vs Voltaje.....	142
Figura 141.	Grafica de Desplazamiento Vs Voltaje con aproximación de funciones trigonométricas.....	142
Figura 142.	Imagen de resultante en Matlab de aproximación de funciones con cftool.....	142

Figura 143.	Grafica de Desplazamiento Vs Resistencia.....	144
Figura 144.	Modelo de la función de Desplazamiento Vs Resistencia en cftool.....	144
Figura 145.	Grafica Desplazamiento Vs Resistencia del prototipo con modelo aproximado de la función.....	144
Figura 146.	Grafica de Desplazamiento Vs Corriente.....	145
Figura 147.	Modelo de la función de Desplazamiento Vs Resistencia en cftool.....	146
Figura 148.	Grafica Desplazamiento Vs Corriente del prototipo con modelo aproximado de la función.....	146
Figura 149.	Imagen tarjeta de adquisición NI USB-6009.....	147
Figura 150.	Inicio de software Measurement & Automation Explorer.....	148
Figura 151.	Ventana Devices and Interfaces software Measurement & Automation explorer.....	149
Figura 152.	NI-DAQmx Devices.....	149
Figura 153.	Ventana habilitación tarjeta NI USB-6009 para realización de panel de prueba.....	150
Figura 154.	Test de prueba para NI USB-6009.....	150
Figura 155.	Instrumento Virtual DAQ Assistant.....	151
Figura 156.	Configuración del DAQ Assistant como entrada análoga.....	151
Figura 157.	Configuración del DAQ Assistant.....	151
Figura 158.	Instrumentos virtuales para configuración del Offset.....	152
Figura 159.	Configuración con matemática para obtener la posición angular.....	152
Figura 160.	Reconstrucción de la señal eje X (Posición Angular) y eje Y (resistencia).....	153
Figura 161.	Escribe los datos en un archivo.....	153
Figura 162.	Generación de la derivada de la posición.....	153
Figura 163.	Diagrama de bloques general de la aplicación.....	154
Figura 164.	Tiempo Vs Resistencia.....	154
Figura 165.	Tiempo Vs Grados Angulares.....	155
Figura 166.	Grados angulares Vs Resistencia.....	155
Figura 167.	Derivada de la posición, Velocidad.....	156
Figura 168.	Angulo Vs Resistencia en Excel.....	156
Figura 169.	Tiempo Vs Angulo en Excel.....	157
Figura 170.	Tiempo Vs Resistencia en Excel.....	157

LISTAS DE ANEXOS

ANEXO A (MANUAL DE OPERACIÓN MODULOS ROBOTICOS CARTESIANO Y ARTICULADO)

ANEXO B (ARTICULO "Análisis Matemático Aplicado al Diseño de Sistemas de Instrumentación Electrónica para Adquisición de Señales en Módulos Robóticos")

ANEXO C (Hojas técnicas LF353, 4N25, LM2907, 2N3055, MPC506, MC68HC908JK3, EE-SX493, L298, LM7805, LM7812, LM7912, 2N3906, 2N3904).

ANEXO D (Simulaciones de los circuitos diseñados).

RESUMEN

En este documento se presentan los resultados obtenidos del proyecto de investigación adjunto al Grupo de Investigación en Instrumentación y Control GINSCON de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomas Tunja, denominado "Diseño e Implementación de la Instrumentación Electrónica para los Módulos Robóticos Cartesiano y Articulado", en donde se planteo el estudio, caracterización de sensores y actuadores de estos módulos robóticos albergados en el Laboratorio de Investigación de la Facultad y el subsecuente estudio, diseño e implementación del sistema de instrumentación electrónica para permitir que las señales eléctricas normalizadas provenientes de las diferentes variables que intervienen en el sistema sean adquiridas desde los sensores y distribuidas hacia los actuadores a través de una tarjeta de adquisición para ser procesadas, visualizadas y controladas utilizando instrumentación virtual y las técnicas y estrategias de control.

Esta investigación se desarrollo explorando los conocimientos de las diferentes áreas de la instrumentación y control para dar solución a la necesidad de "hacer visibles" las variables presentes en los módulos robóticos que hacen posible ampliar el desarrollo de aplicaciones en campos de profundización de ingeniería electrónica tales como la instrumentación industrial, la instrumentación virtual, el control automatizado, el control inteligente, las redes industriales de comunicación, entre otros para el fomento de desarrollo de proyectos, experiencias de laboratorio y aplicativos académicos e investigativos al interior de la Facultad de Ingeniería Electrónica.

En el desarrollo de este trabajo se planteo la manipulación de las variables de entrada que intervienen en los módulos robóticos, principalmente físicas mecánicas tales como posición, desplazamiento y velocidad provenientes de sensores como potenciómetros lineales, motogeneradores y encoders principalmente; y las variables de salida para energizar los diferentes actuadores como motores DC, servomotores y dispositivos de preaccionamiento. De esta forma, se realizo el diseño e implementación de bloques funcionales para la instrumentación electrónica de señales de entrada y salida de acuerdo a las especificaciones eléctricas establecidas para entregarlas y distribuirlas de manera apropiada.

Para el diseño de cada uno de los sistemas de instrumentación se hizo una caracterización de las características estáticas y la naturaleza de operación de cada uno de los elementos sensores y actuadores, para proponer, analizar y

seleccionar la técnica de instrumentación que se ajusto a su acondicionamiento y así cumplir con las especificaciones de adquisición y distribución de señales.

Posteriormente se planteó el esquema de bloques funcionales de cada sistema para diseñar, simular, ajustar, montar e implementar en forma definitiva el prototipo final, remitiéndose continuamente a conceptos fundamentales teóricos, de análisis matemático, de orden tecnológico, experimentales y metodológicos que permitieron la selección adecuada de componentes electrónicos y dispositivos semiconductores que integran el sistema prototipo desarrollado, así como su disposición, configuración y función, y por lo tanto sustentar con fundamentos técnicos la implementación objetiva y eficiente del sistema.

De esta manera se recopiló una base valiosa de información que reúne los conceptos teóricos de los sistemas de instrumentación utilizados, así como los procedimientos teóricos y experimentales realizados para entregar un resultado de un sistema de instrumentación electrónica que responde a las expectativas planteadas por el proyecto.

GLOSARIO

Acondicionamiento: Tomar una señal de entrada (sensor) para posteriormente amplificarla, filtrar y adaptarla a una etapa posterior.

Acople: Consiste en aislar señales cuando se tienen diferencias de potencial elevadas o cuando la naturaleza de las señales acopladas difieren.

Actuador: Elemento que ejecuta una acción, según aplicación y sistema de mando.

Amplificador: Dispositivo electrónico que permite aumentar la amplitud, o potencia, de una señal eléctrica según se requiera.

Artrópodos: Invertebrado que posee un exoesqueleto (esqueleto externo), un cuerpo segmentado, y extremidades articuladas llamadas apéndices.

Automatización: Es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

BJT: Transistor de unión bipolar (Bipolar Junction Transistor), es un dispositivo electrónico de estado sólido, que permite controlar el paso de la corriente a través de sus terminales.

Cmos: (Complimentary Metal Oxide Semiconductor), semiconductor complementario de óxido metálico, es el tipo de material usado en la construcción del chip.

Conmutador: Es tipo de dispositivo eléctrico que permite modificar el camino que deben seguir una señal eléctrica.

Demodulador: Consiste en un conjunto de técnicas utilizadas para recuperar la información transportada por una onda portadora, que en el extremo transmisor había sido modulada con dicha información.

Demultiplexar: Presenta un único canal de entrada que permite seleccionar múltiples salidas mediante un sistema de control.

Diafonía: Transferencia indebida de energía de un circuito de transmisión perturbador a otro denominado perturbado.

DSP: (Digital Signal Processor), Procesador Digital de Señal, es un sistema basado en un microprocesador que posee un juego de instrucciones, un hardware y un software.

Encoder: Circuito integrado codificador de datos o palabras.

Eslabón: Miembro estructural sólido de un robot.

Filtrado: Circuito que discrimina determinada frecuencia.

Fotodiodo: Es un semiconductor, sensible a la incidencia de la luz visible o infrarroja.

Fototransistor: Transistor sensible a la luz, normalmente a los infrarrojos.

Galga: Un sensor basado en el efecto piezorresistivo.

Hexápodos: Animal que tiene 6 patas.

Hidráulica: Es una rama de la física y la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los fluidos.

Instrumentación: Acondicionamiento necesario de una señal o para la distribución de señales.

JFET: Transistor de efecto de campo de canal P.

Juntura: Es un acoplamiento móvil entre los eslabones de la estructura mecánica del robot.

Micromáquinas: Es la integración de sensores y actuadores en un volumen reducido.

Miniaturización: Proceso tecnológico mediante el cual se reduce el tamaño de los dispositivos electrónicos.

Modulador: Dispositivo electrónico que varía la forma de onda de una señal de acuerdo a una técnica específica, para poder ser enviada por un canal de transmisión hasta un dispositivo que incorpore un demoduladores.

Motogenerador: Es un motor que mediante una energía mecánica, produce energía eléctrica.

Multiplexar: Técnica que permite transmitir diferentes comunicaciones a través de un único canal.

Optoacoplador: Aislador acoplado ópticamente, es un dispositivo de emisión y recepción de luz, funciona como un interruptor excitado mediante la luz.

Optoacoplamiento: Elemento que permite aislar sistemas de potencia de circuitos de control.

Palé: Armazón de madera, plástico u otros materiales.

Paletización: Es la acción y efecto de disponer mercancía sobre un palé para su almacenaje y transporte.

Piezorresistivo: Es la propiedad de algunos materiales conductores y semiconductores, cuya resistencia cambia cuando se los somete a un esfuerzo mecánico (tracción o compresión) que los deforma.

PWM: Modulación por ancho de pulsos (Pulse-Width Modulation) de una señal o fuente de energía modificando el ciclo de trabajo de una señal periódica.

Rectificación: Conversión de corriente alterna a continua.

Robot: Máquina controlada por ordenador y programada para moverse, manipular objetos y realizar trabajos a la vez que interacciona con su entorno

Sensor: Dispositivo que captura señales del medio, para entregar un valor en un equivalente a una tensión.

Servomotor: Motor que contiene un sistema de control de posición.

Transistor Darlington: Es un dispositivo semiconductor que combina dos transistores bipolares conectados en cascada.

TTL: (Transistor-Transistor Logic). Lógica de transistor a transistor empleado en circuitos de lógica digital.

PROLOGO

EL HOMBRE DESDE SUS INICIOS HA SIDO ESCLAVO DE LA CURIOSIDAD Y COMO TAL SIEMPRE HA DESEADO CONOCER A FONDO TODO LO QUE SUCEDE A SU ALREDEDOR, EN EL PRINCIPIO MEDIANTE SUS SENTIDOS: EL OLFATO, EL TACTO, LA VISTA, EL GUSTO Y EL OIDO.

DADO QUE EN OPORTUNIDADES CORRIA RIEZGOS AL EFECTUAR LA OBSERVACION DIRECTA, FUE BUSCANDO LA FORMA DE DETECTAR LAS ALTERACIONES DE LAS DIFERENTES VARIABLES QUE LE RODEABAN, MEDIANTE PROLONGACIONES DE SUS SENTIDOS, DANDO ORIGEN A LA SENSORICA, EN PRINCIPIO DE UNA FORMA ARTESANAL, PERO LOGRANDO CON EL DESARROLLO DE LA CIENCIA MEJORAS IMPRESIONANTES, HASTA LLEGAR EN NUESTRA ERA A DISPONER DE TRANSDUCTORES, SENSORES, TARJETAS DE ADQUISICION DE DATOS, SISTEMAS DE PROCESAMIENTO DE SEÑALES Y ACTUADORES APLICABLES EN TODOS LAS LABORES COTIDIANAS.

ESTE CUMULO DE CONOCIMIENTOS HA PERMITIDO EL DESARROLLO DE, ENTES ELECTROMECHANICOS CAPACES DE DESEMPEÑAR DE MANERA EFICIENTE Y EFICAZ TODAS AQUELLAS LABORES, QUE POR TEDIOSAS O PELIGROSAS, EL SER HUMANO NO DESEA EJECUTAR, ES ASI COMO LOS ROBOTS HAN HECHO PRESENCIA EN NUESTRO MUNDO, ALCANZANDO GRADOS DE OPERACIÓN Y PERFECCIONAMIENTO NO PREDECIBLES.

EL TRABAJO DE INVESTIGACION DENOMINADO "DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LA INSTRUMENTACION ELECTRONICA PARA LOS MODULOS ROBOTICOS CARTESIANO Y ARTICULADO" HA SIDO TOMADO COMO BASE PARA LA ADECUACION DE DOS, DE LOS TRES ROBOTS, ADQUIRIDOS POR LA FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA DE LA UNIVERSIDAD SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA PARA PERMITIR EL USO PLENO DE ELLOS COMO HERRRAMIENTAS DIDACTICAS EN EL MEDIO EDUCATIVO .

EL OBJETIVO PRINCIPAL FUE ESTUDIAR, DISEÑAR E IMPLEMENTAR LA INSTRUMENTACION ELECTRONICA PARA LOS MODULOS ROBOTICOS, CON EL PROPOSITO DE SER UTILIZADOS EN APLICACIONES RELACIONADAS CON LOS DIFERENTES CAMPOS DE LA ELECTRONICA; EMPLEANDO LOS FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA INSTRUMENTACION A LA VEZ QUE HACIENDO USO DE LAS HERRAMIENTAS ESPECIALIZADAS DE PROGRAMACION Y ELABORACION DE CIRCUITOS ELECTRONICOS.

EL PROCESO DE LA INVESTIGACION DE POR SI EXIGENTE Y LABORIOSO, LLEVA A LA ADECUACION NO SOLO DE SISTEMAS DE ADQUISICION DE DATOS, SI NO AL DESARROLLO DE ACTIVIDADES PARALELAS, INDISPENSABLES PARA LA SOLUCION DE LA PROBLEMÁTICA PROPIA DEL TRATAMIENTO DE VARIABLES.

EN ESTE CASO ESPECIFICO LAS MAGNITUDES TRATADAS, TALES COMO: POSICION LINEAL, POSICION ANGULAR, VELOCIDAD LINEAL, VELOCIDAD ANGULAR, LIMITES DE RECORRIDO, Y SENTIDO DE DESPLAZAMIENTO, SIN DEJAR A UN LADO LA CONVERSION DE DICHAS VARIABLES FISICAS, A LAS BASICAS DE LA ELECTRONICA :TENSION, CORRIENTE ELECTRICA Y RESISTENCIA, HAN PERMITIDO A LAS AUTORES, EL DESARROLLO DE APLICACIONES DE LAS MATEMATICAS AVANZADAS, DE USO COMUN EN LA INGENIERIA ELECTRONICA, PARA LLEGAR A RESULTADOS TANGIBLES, PRACTICAMENTE VERIFICABLE.

EL DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES PROPIAS DE LA INGENIERIA ELECTRONICA PROPICIARON EL USO DE LAS HERRAMIENTAS MATEMATICAS, PARTIENDO DESDE LA BASICA LEY DE OHM, LAS LEYES DE KIRCHHOFF PARA LA TENSION Y LA CORRIENTE ELECTRICA, LA TRANSFORMADA DE FOURIER, LA TRANSFORMADA DE LAPLACE HASTA EL EMPLEO DE LOS PAQUETES DE DISEÑO Y SIMULACION COMO LABVIEW Y MATLAB PARA LA OBTENCION DE RESULTADOS CIENTIFICAMENTE SOPORTADOS.

LA CULMINACION DE LA LABOR SE ALCANZO CON EL DESARROLLO TOTAL DE LOS CIRCUITO PROTOTIPO DE INSTRUMENTACION Y CONTROL; Y LA PRUEBA REAL APLICADA AL ROBOT CARTESIANO CON RESULTADOS SATISFACTORIOS.

EL TRABAJO REALIZADO NO ES EL FINAL DEL CAMINO, POR EL CONTRARIO PERMITIRA A FUTUROS INVESTIGADORES, TOMARLO COMO PUNTO DE PARTIDA PARA LA GENERACION DE DESARROLLOS ACORDES CON LOS AVANCES DE LA ELECTRONICA PROYECTANDO LA LABOR HACIA NUEVAS APLICACIONES.

OSCAR EDUARDO UMAÑA MENDEZ
INGENIERO ELECTRONICO

INTRODUCCION

El proyecto "Diseño e Implementación de la Instrumentación Electrónica para los Módulos Robóticos Cartesiano y Articulado", nació al interior del grupo de investigación COINTEC integrado actualmente a GINSCON, como una Iniciativa de trabajo para dar solución a la necesidad de habilitar estos módulos robóticos para ser utilizados y explotados adecuadamente en el desarrollo de experiencias de laboratorio tanto académicas como investigativas en las asignaturas relacionadas con la Instrumentación y el Control tanto en el programa académico de Ingeniería Electrónica como en el de la Especialización en Instrumentación Electrónica, contando con un sistema de instrumentación capaz de entregar y distribuir apropiadamente los datos presentes para ser posteriormente adquiridos, registrados, analizados y procesados.

Este proyecto permite que algunas prácticas de laboratorio realizadas en las asignaturas de control e instrumentación en la facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás, se puedan realizar con las herramientas adecuadas para dar la profundización necesaria a conceptos teóricos y prácticos con el propósito de proponer soluciones a necesidades de sistemas de control en procesos del sector industrial relacionados con robótica y también para permitir la exploración de nociones teóricas e investigativas que sin plantas físicas implementadas sería imposible de tratar.

En este contexto la Instrumentación Electrónica es el soporte de este trabajo y como es conocido, esta área es un elemento esencial de la Ingeniería Electrónica ya que permite el desarrollo de la práctica científica de los sistemas de medición, seguimiento, supervisión y procesamiento en el ámbito industrial, médico y comercial y además proporciona los medios para realizar la medición de la calidad y cantidad de variables, productos y procesos para ser evaluados y controlados.

De igual manera la instrumentación electrónica es la base de todas las actividades científicas y de ingeniería y su uso y sofisticación se sigue desarrollando al servicio de las necesidades actuales. Por lo tanto, existe una gran demanda de actividades académicas e investigativas en una amplia gama de campos, desde la producción de instrumentos y sensores, hasta aplicaciones complejas de ingeniería aeroespacial o automotriz.

Este campo refleja la necesidad de la enseñanza e investigación en actividades de diseño, desarrollo y aplicación de sistemas de instrumentación junto con el apoyo y soporte de laboratorios y programas académicos sobre muchos aspectos de la electrónica entre los que se destacan el procesamiento de señales, la medición de señales físicas, la adquisición y distribución de señales, la sensorica especializada y la instrumentación medica e industrial, entre otras.

Es aquí donde el desarrollo e implementación de un sistema de instrumentación para los módulos robóticos permite solventar los inconvenientes que se han tenido en el uso de los mismos y cobra gran importancia desde el punto de vista tecnológico y académico porque el presente trabajo de investigación presenta una solución viable a esta problemática y adicionalmente da a conocer y servirá como fuente de divulgación al interior y exterior de la universidad.

El trabajo aquí presentado, está estructurado de manera de que el lector adquiera las nociones que le permitan entender a cabalidad el desarrollo del proyecto. Sin embargo, cabe destacar que si el lector es lo suficientemente conocedor del tema, perfectamente puede obviar los capítulos que contengan información que considere ya conocida, y continuar con los aspectos relevantes de diseño e implementación sin que se pierda la linealidad o coherencia de la información que se desea mostrar.

A continuación se explicará de manera breve la información contenida en cada uno de los capítulos del presente trabajo: El Capítulo I contiene la información importante relacionada con las características fundamentales de la investigación aquí desarrollada. Es conveniente que este capítulo sea leído cuidadosamente de modo que el lector entienda bien los antecedentes y objetivos perseguidos en esta tesis, así como también el alcance y limitaciones de la misma.

El Capítulo II desarrolla un marco preliminar de las generalidades, disciplinas, reseña y antecedentes de la Instrumentación Electrónica y la Robótica. El Capítulo III trata sobre los conceptos y nociones teóricas elementales de instrumentación en las cuales se basó el desarrollo del proyecto entre los que se destacan los Tipos de Instrumentación, fundamentos de Sensores, Actuadores, Amplificadores, Acoples, Filtros, Multiplexores, Puente H, y Fuentes de alimentación. De igual manera se expone las características fundamentales de la Estructura Mecánica del Robot.

El Capítulo IV explica la descripción de los módulos robóticos cartesiano y articulado en cuanto a su estructura mecánica, eslabones, juntas, grados de libertad, espacio de trabajo y la caracterización de sus respectivos elementos sensores y actuadores.

En el Capítulo V se desarrolla el diseño e implementación de la instrumentación electrónica para adquisición de las señales de los sensores presentes en los módulos robóticos, teniendo en cuenta las especificaciones deseadas de adquisición, el planteamiento del diagrama funcional de instrumentación, la selección y diseño de componentes para cada etapa de instrumentación acompañado de su respectivo análisis matemático, la simulación, montaje de prototipo, pruebas y puesta a punto, y el diseño de los circuitos impresos respectivos para realizar la implementación definitiva.

El Capítulo VI contiene información relacionada con el diseño e implementación de la instrumentación electrónica para la distribución de las señales hacia los actuadores instalados en los módulos robóticos, y de igual manera, considerando las especificaciones deseadas de distribución, el planteamiento del diagrama funcional de instrumentación, la selección y diseño de componentes para cada etapa de instrumentación acompañado de su respectivo análisis matemático, la simulación, montaje de prototipo, pruebas y puesta a punto, y el diseño de los circuitos impresos respectivos para realizar la implementación definitiva.

A continuación en el Capítulo VII se describe y propone el diseño de herramientas de soporte para aplicaciones con los módulos robóticos que permiten explorar instrumentos tecnológicos como la tarjeta de adquisición USB6009 de National Instruments® y el Procesador Digital de Señales 56F8323 de Freescale Motorola® para su uso e interfaz con los sistemas robóticos para su posterior control y supervisión.

Finalmente, se exponen las conclusiones y recomendaciones finales del proyecto que servirán como sustento de análisis y crítica del proyecto realizado y como soporte para el mejoramiento y optimización del sistema.

Adicionalmente, el presente trabajo cuenta con una serie de Anexos, a través de los cuales se pretende dar mayor soporte a la investigación, y a su vez sirven para que el lector interesado pueda ampliar sus conocimientos sobre el material aquí mostrado, tales como los Archivos de Simulación de los sistemas de instrumentación, las hojas técnicas de componentes y dispositivos electrónicos utilizados, el manual de operación del sistema de instrumentación electrónica de los módulos robóticos, Normas Técnicas de instrumentación y video de operación.

1. ANTECEDENTES

1.1 PROBLEMÁTICA

1.1.1 *Planteamiento.*

¿Es necesario diseñar e implementar la instrumentación electrónica para sensores y actuadores de los módulos robóticos cartesiano y articulado adquiridos por la facultad de ingeniería electrónica?

1.1.2 *Descripción.*

Tomando como referencia los espacios que brinda la Universidad Santo Tomas Seccional Tunja en cuanto al ámbito investigativo y desarrollo académico, se ha encontrado la necesidad de proyectar a la sociedad los conocimientos adquiridos en la etapa de formación integral del futuro Ingeniero Electrónico, buscando aportar soluciones a problemáticas de diferentes campos disciplinares utilizando, en este caso, el área de la instrumentación para potencializar las aplicaciones de módulos existentes en la universidad que no han sido explotados.

La utilización de los Robots en el ámbito industrial facilita los procesos de trabajo ya que estos están acondicionados para realizar diversidad de tareas que en la actualidad los seres humanos no deberían ejecutar por su seguridad o por su bienestar. Los robots se pueden implementar en aplicaciones donde se realice la manipulación de herramientas, piezas y su desplazamiento en espacios específicos, los cuales normalmente requieren de precisión y esfuerzo humano. Lo anterior permite cualificar una producción o un proceso a gran escala por su elevado grado de exactitud.

La Universidad ha adquirido unos módulos robóticos cartesiano y articulado con el propósito de ser utilizados en actividades investigativas y académicas de pregrado y postgrado, los cuales cuentan con dispositivos sensores y actuadores para ser operados, pero carecen de los sistemas de instrumentación y acondicionamiento de señales eléctricas para poder ser manipulados y controlados.

Basado en lo anterior se busca proporcionar un aporte a la investigación desde el punto de vista del diseño e implementación de los sistemas de instrumentación de estos módulos, con la intención de dar paso a la generación de nuevas propuestas de trabajos de investigación y de aula, enfocadas en el campo del control electrónico y la comunicación industrial. Adicionalmente, se conseguirá que estas herramientas terminadas puedan ser utilizadas en proyectos de aula tanto de pregrado como de posgrado para realizar experiencias de control, instrumentación y comunicaciones.

1.1.3 Delimitación

1.1.3.1 Física

La instrumentación electrónica de estos módulos toma las señales de entrada de los sensores de posición, estas señales son acondicionadas para ser adquiridas por un sistema de control que puede ser asistido por un ordenador, este acondicionamiento trata de amplificadores, filtros, aislamientos, esto con el fin de optimizar una señal para ser utilizada. Y de esta manera garantizar el buen funcionamiento de futuras aplicaciones y la protección de los sistemas de adquisición que se pudiesen utilizar.

1.2 JUSTIFICACION

Los módulos robóticos (Cartesiano y Articulado) adquiridos por la facultad de ingeniería electrónica no han sido utilizados apropiadamente para ser aplicados en espacios académicos e investigativos, en los cuales se ve la necesidad de emplearse para mejorar el aprendizaje de conceptos y conocimientos propios de la disciplina.

El desarrollo del trabajo propuesto dará paso al diseño de nuevas experiencias y sistemas electrónicos que permitirán adelantar proyectos encaminados en áreas como la automatización de procesos y la robótica entre otros, que facilitaran la generación de productos académicos e investigativos para beneficio de la Facultad de Ingeniería Electrónica.

La realización de este proyecto permite utilizar de manera adecuada los recursos de la Facultad de Ingeniería Electrónica como los módulos (cartesiano y articulado), esto con el fin de minimizar los costos no solo para la facultad sino también para los estudiantes, ya que son herramientas que se han adquirido pero no han sido explotados ni implementados debido a la deficiencia en instrumentación para ponerlos en marcha. Si se logra implementar la instrumentación electrónica para estos módulos, se verán reflejadas nuevas aplicaciones en la línea de instrumentación, además de generar un espacio hacia el desarrollo que promueva ideas innovadoras.

Adicionalmente, este proyecto propone desarrollar y continuar motivando una cultura investigativa por parte de los proponentes del proyecto, así como el enriquecimiento de la línea de investigación de instrumentación industrial con que cuenta la universidad, para el desarrollo de nuevas tecnologías por medio de la investigación aplicada para la solución de problemas propios del entorno.

De igual manera, este proyecto se vincula a las actividades del grupo de investigación GINSCON (Grupo de Investigación en Instrumentación y Control) cuyo fin es fortalecer los procesos de investigación de la Facultad, con miras a

difundir la producción investigativa en seminarios, congresos, eventos científicos y tecnológicos en el área de la electrónica y realizar publicaciones que puedan ser divulgadas en revistas de interés investigativo.

También es importante establecer que con este proyecto se da la oportunidad a los estudiantes de Ingeniería Electrónica para que con sus conocimientos adquiridos y con su trabajo investigativo, contribuyan al mejoramiento y adecuación tecnológica de los recursos de laboratorio con que cuenta la Facultad, brindando soluciones a necesidades que muy seguramente, una vez resueltas, redundaran en el bienestar, mejoramiento y calidad académica de las actividades que la universidad se propone.

1.2.1 Impacto Económico

La inversión que se realizó para la ejecución del proyecto de investigación es menor a la que se pudiera invertir en la compra de estos sistemas en el mercado convencional, esto es debido a que se diseñaron e implementaron los circuitos con componentes asequibles y de costos moderados, inclusive algunos adquiridos como muestras, asegurando un desempeño apropiado y robusto. De igual manera el trabajo intelectual del desarrollo de los diseños fue efectuado por los autores sin incurrir en gastos adicionales. Esta situación garantiza que el costo económico global del proyecto sea lucrativo para la Universidad Santo Tomas Seccional Tunja, teniendo un valor académico elevado por el aporte técnico, tecnológico y documental a la solución a una problemática.

1.2.2 Aporte al conocimiento

- ✓ Construcción del estado de arte para la problemática ya delimitada, referente a metodologías de diseños para la implementación de sistemas de instrumentación electrónica.
- ✓ Generación de conocimientos práctico-teóricos en el manejo y mantenimiento de dichos módulos robóticos.
- ✓ Elaboración del diseño e implementación de sistemas de instrumentación para módulos robóticos aplicable a cualquier otro sistema sensor/actuador con los parámetros establecidos.
- ✓ Generación de artículo, ponencia y conferencia que alimentan la producción intelectual del Grupo de Investigación en Instrumentación y Control GINSCON.
- ✓ Generación de documento final, manual de usuario y aplicativos con herramientas tecnológicas para la utilización en actividades académicas en pregrado, postgrado e investigación en áreas como Robótica, Control e Instrumentación.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

Diseñar e implementar la instrumentación electrónica para los módulos robóticos cartesiano y articulado, con el fin de ser utilizados en aplicaciones relacionadas con los campos de la electrónica, empleando los fundamentos teóricos de la instrumentación y haciendo uso de herramientas especializadas de software y hardware electrónico.

1.3.2 Específicos

- ✓ Recopilar y seleccionar la información referente a sistemas de instrumentación electrónica para la adquisición, distribución y acondicionamiento de señales.
- ✓ Adquirir y examinar la documentación técnica de los dispositivos sensores y actuadores presentes en los Módulos de robótica cartesiano y articulado, analizando y documentando sus características estáticas, dinámicas y de operación.
- ✓ Establecer las técnicas de instrumentación apropiadas para acondicionar las señales de los transductores de entrada y de salida.
- ✓ Seleccionar los dispositivos electrónicos análogos y digitales apropiados para proponer el diseño de los sistemas de instrumentación a construir.
- ✓ Diseñar los sistemas de instrumentación electrónica con las especificaciones y parámetros requeridos para los módulos de robótica.
- ✓ Simular y ajustar los circuitos de instrumentación diseñados para verificar su correcto funcionamiento empleando herramientas de software electrónico especializado.
- ✓ Implementar y ajustar los sistemas de instrumentación previamente simulados.
- ✓ Elaborar los circuitos impresos de instrumentación que fueron diseñados, para su montaje definitivo.
- ✓ Evaluar el desempeño y operación de los sistemas de instrumentación implementados realizando un protocolo de pruebas.
- ✓ Redactar y realizar el manual de funcionamiento de los módulos robóticos para los futuros usuarios, teniendo en cuenta su instrumentación y documentación.

- ✓ Publicar un artículo referente a la producción intelectual del proyecto para ser socializado en eventos académicos de electrónica.
- ✓ Culminar satisfactoriamente el estudio de pregrado en Ingeniería Electrónica mediante la opción de Trabajo de Grado con un proyecto de investigación.

2. MARCO PRELIMINAR

2.1 INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

2.1.1 Generalidades

La instrumentación estudia los circuitos y subsistemas electrónicos que permiten servir como interfaz entre los sistemas físicos, sistemas digitales y sistemas analógicos. Esta disciplina se fundamenta en la captación de variables físicas utilizando sensores y transductores, que posteriormente son convertidas en variables eléctricas para ser manipuladas y procesadas por sistemas electrónicos, de control y comunicaciones entre otros. Las señales eléctricas se convierten en información digital que ingresa hacia los sistemas digitales, mediante los sistemas de adquisición de señales (o datos), y la salida de información digital procesada por los sistemas digitales se entrega en forma apropiada mediante los sistemas distribución y acondicionamiento de señales.

El objetivo de la instrumentación electrónica es el diseño y análisis de sistemas de adquisición y distribución de señales (SAS, Sistemas de Adquisición de Señales, SDS, Sistemas de Distribución de Señales), a partir de dispositivos tales como circuitos integrados especializados bien sean analógicos o digitales. Un campo temático de la instrumentación corresponde al procesamiento de señales, que permite analizar, transformar, operar y manipular a las señales de entrada provenientes de los sensores que interactúan con el medio, con el uso de funciones específicas para ser adaptadas y transmitidas como señales de salida hacia los dispositivos actuadores.

La instrumentación electrónica se centra en el uso de amplificadores de instrumentación, amplificadores de muestreo y retención, filtros analógicos y digitales, tanto lineales como no lineales, circuitos de corrección de derivas, circuitos moduladores y demoduladores, circuitos multiplexores y demultiplexores, convertidores analógico digital y digital analógico, optoacopladores y relés de estado sólido, dispositivos conmutadores de potencia, dispositivos sensores, dispositivos actuadores como motores de corriente alterna y corriente continua, motores paso a paso, y los sistemas procesadores de señales digitales, entre otros.

2.1.2 Disciplinas

Para la manipulación de los circuitos empleados en la instrumentación se debe tener claridad sobre el tipo de señal a manipular y el tratamiento que requiere para su posterior aplicación, es allí donde el cálculo y trigonometría facilitan la conceptualización de las variables, proporcionando soluciones teóricas que

pueden ser corroboradas en el software de simulación y desde luego implementadas.

Además la física permite comprender las leyes básicas (ley de ohm y ley de Kirchhoff) junto con los fenómenos de inducción, resistividad y capacitancia. De esta manera se adquiere un conocimiento teórico-experimental sobre el funcionamiento de los dispositivos, la física cuántica es otra de las disciplinas que generó un nuevo concepto de percepción, permitiendo diseñar estructuras de tipo NP (Negativo Positivo), para dar paso a los transistores y circuitos integrados, facilitando la creación de nuevos dispositivos que incursionan en nuevas áreas.

2.1.3 Evolución

Todas las facetas de la sociedad se han visto afectadas por los descubrimientos en el mundo de las innovaciones electrónicas que surgen a una velocidad cada vez mayor, esto ha permitido abrir paso a un rompecabezas de múltiples piezas que facilita el camino hacia una solución posible, es allí donde se resalta la importancia de la instrumentación electrónica de un sistema como base fundamental para el desarrollo de las etapas de control y comunicación.

En busca de mejoras se ha buscado implementar dispositivos compactos para aplicaciones específicas. Es así como la era de la electrónica comenzó a abrirse paso mediante el uso de los tubos de vacío los cuales permitieron desarrollar los primeros radios, televisores y computadores de gran volumen, buscando soluciones en cuanto a innovación de sistemas menos robustos se desarrolló el transistor de contacto de punto en investigaciones realizadas por los físicos William Shockley, John Bardeen y Walter H. en el año de 1947 en los laboratorios de Bell Telephone, este descubrimiento proporcionó un elemento clave que produjo un efecto cascada ya que permitió el desarrollo de circuitos integrados reduciendo espacio y ampliando sus aplicaciones a áreas como la medicina, industria, informática e industria militar. Es de resaltar que desde los inicios de la electrónica se ha manipulado la instrumentación, ya que siempre se está buscando capturar señales físicas a través de los sensores que posteriormente son acondicionadas para una siguiente etapa, de igual manera los actuadores reciben señales (voltaje, corriente) que van desde dispositivos de control, que desde luego no funcionarían sin un buen sistema de instrumentación.

2.1.4 Antecedentes Regionales, Nacionales y Mundiales.

A nivel regional se destacan desarrollos en Instrumentación Electrónica para Robots en la Escuela de Ingeniería Electrónica de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y a nivel nacional se destacan desarrollos en este campo liderados por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia como se describe a continuación.

Regionales:

Con base a la demanda de diseños novedosos en la región de Boyacá, se ve la necesidad de generar mecanismos de instrumentación convencional para el acondicionamiento de señales en el campo industrial, es por eso que la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia en su Sede de Sogamoso ha enfocado las aplicaciones de la instrumentación en el desarrollo de módulos robóticos en el grupo de investigación en Robótica y¹ Automatización Industrial GIRA el cual ha definido las siguientes líneas de investigación:

Robótica industrial: La investigación en este campo se enfoca hacia el diseño y la construcción de robots dedicados a la producción de bienes o servicios tales como manipuladores de base móvil o fija, transportadores, robots de servicio y brazos robóticos de propósito especial. Este tipo de robots se caracterizan por su robustez, confiabilidad y precisión de movimientos.

Robótica móvil inteligente: Está relacionada con el diseño y construcción de pequeños robots que tengan la capacidad de desplazarse por diferentes terrenos y cumplir una tarea determinada. Con esta línea se busca incorporar esta tecnología en varios sectores de aplicación como la industria, el sector minero, la educación, sistemas de vigilancia, protección y exploración.

Nacionales:

Universidad Nacional de Colombia UN:

El Grupo de investigación en Nuevas Tecnologías en Diseño² y Manufactura – Automatización DIMA UN de la Universidad Nacional por medio de aplicativos en realidad virtual, telecontrol y supervisión por Internet, ha desarrollado herramientas para el modelado de máquinas, simulación experimental y aplicaciones en realidad virtual, con el aporte y experiencia en este campo de los grupos de trabajo IMAGINE de la Universidad de los Andes y GIISOFT – GITEM (Grupo de Investigación en Ingeniería de Software - Grupo de Investigación en Tecnologías para la Manufactura) de la Universidad Autónoma de Occidente, también con el desarrollo de software que permita la accesibilidad de la Celda de Manufactura Flexible del Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad Nacional de Colombia (CMF-UNAL) en la plataforma RENATA (Red Nacional Académica de Alta Tecnología de Colombia), con el apoyo de la empresa ROBOTICA ID, en la instrumentación para la accesibilidad de Celda de Manufactura Flexible de la Universidad Nacional en RENATA.

¹ [www.uptc.edu.co/Grupo Gira](http://www.uptc.edu.co/Grupo_Gira)

² www.renata.edu.co/.../55-accesibilidad-a-las-celdas-de-manufactura

Universidad de Antioquia:

³La universidad de Antioquia mediante un proyecto de investigación está trabajando en el Diseño e implementación de un sistema de control de acceso por medio de tarjetas inteligentes.

El vertiginoso avance de la tecnología, hace posible el desarrollo de sistemas modernos que mejoran la seguridad y el control en recintos cerrados. Mediante este proyecto se presenta el diseño y la implementación de un sistema electrónico que permite el ingreso de personas a un lugar específico mejorando, de forma considerable, su seguridad.

Universidad del Valle:

El grupo de investigación GICI (grupo de investigación en control industrial), se creó con el fin de aportar soluciones de instrumentación electrónica en el área industrial es por ello que se ha desarrollado el proyecto ⁴"Plataforma de Experimentación en Informática Industrial", que da inicio a varios proyectos en el área de educación y en la línea de investigación en Educación en Ingeniería.

Mundiales:

La competencia en los ⁵mercados obliga a una constante mejora en la calidad y la fiabilidad de los productos. El aumento de la demanda para la automatización, seguridad y confort da lugar a nuevas aplicaciones para sistemas de instrumentación. Para mantenerse al día con las nuevas exigencias, el diseño de sistemas de instrumentación ha proporcionado nuevos enfoques y soluciones que se benefician con las recientes investigaciones de la ciencia y la tecnología.

Los sistemas de instrumentación se fundamentan en la interacción de la estructura del sensor, funcionalidad de los actuadores, la tecnología de fabricación de dispositivos, funcionalidad y algoritmos de procesamiento de señales. En consecuencia la evolución de la tecnología de instrumentación para sensores y actuadores permite el progreso técnico en múltiples campos como la industria, la medicina y la fisiología.

Los avances en la tecnología de sensores han hecho posible la creación de micro tecnologías. Estas nuevas ofrecen tecnologías de alto volumen con sistemas de dimensiones pequeñas, bajo consumo de energía, y mayor fiabilidad. Estos microsistemas de instrumentación integran sensores, actuadores, mecánico, electrónico y de unidades. Los sistemas de Micromáquinas hoy son ya componentes inherentes en automóviles, las impresoras a color, teléfonos móviles y los sistemas médicos. En las Micromáquinas es común encontrar sensores de presión, velocidad angular y sensores de aceleración.

³ www.microe.udea.edu.co/proyectorgrado/carolina

⁴ <http://gici.univalle.edu.co/index.html>

⁵ www.eletric80.com/.../Eletric80-CompanyPresentation-ES

Las tendencias de desarrollo de la tecnología de instrumentación van de la mano con los aspectos económicos, de mercado, en general las solicitudes de los clientes, y requisitos específicos según se plantee el objetivo.

Tendencia en miniaturización: Es una estrategia de éxito en tecnologías modernas que ha ganado importancia en todos los campos de aplicaciones, donde las estructuras más pequeñas y con mayor precisión se están aceptando en el mercado de productos individuales. La tendencia a la miniaturización sucede dentro de las nanotecnologías, que abrirá el acceso a dimensiones más pequeñas.

Evolución de los Sistemas inalámbricos: Con la gran cantidad de componentes, que son indispensables para el logro de la funcionalidad requerida, el cableado eléctrico de los sistemas distribuidos espacialmente se vuelve complejo y causa dificultades en el manejo del sistema. El uso de sistemas inalámbricos implica una comodidad y conduce a una considerable reducción de costos. Facilitando la comunicación entre los sensores de ultrasonidos o infrarrojos. Por ejemplo, los dispositivos de ondas acústicas de superficie pueden ser utilizados para identificación de objetos y para la medición de propiedades físicas, químicas y biológicas.

2.2 ROBÓTICA

2.2.1 Generalidades

Un robot está constituido por: estructura mecánica, transmisiones, sistema de accionamiento, sistema sensorial, sistema de control y elementos terminales. Las altas prestaciones que se exigen a los robots han motivado que en ellos se empleen elementos con características específicas.

Mecánicamente, un robot está formado por una serie de elementos o eslabones unidos mediante articulaciones que permiten un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos. La constitución física de la mayor parte de los robots industriales guarda cierta similitud con la anatomía del brazo humano, por lo que en ocasiones, para hacer referencia a los distintos elementos que componen el robot, se usan términos como cuerpo, brazo, codo y muñeca.

2.2.2 Disciplinas

Los robots manejan un campo interdisciplinario que va desde los componentes mecánicos, hidráulicos, eléctricos hasta la tecnología de sensores, sistemas de computadoras e inteligencia artificial. A nivel matemático se requiere claridad sobre teoría matricial, probabilidades, programación de computadoras y análisis matemático.

2.2.3 Evolución

⁶La palabra robot viene del vocablo checo *robota*, "servidumbre", "trabajo forzado" o "esclavitud", especialmente los llamados "trabajadores alquilados" que vivieron en el Imperio Austrohúngaro hasta 1848.

Desde la generalización del uso de la tecnología en procesos de producción con la Revolución Industrial se intentó la construcción de dispositivos automáticos que ayudaran o sustituyeran al ser humano. Entre ellos destacaron los Jaquemarts, muñecos de dos o más posiciones que golpean campanas accionados por mecanismos de relojería.

Robots equipados con una sola rueda fueron utilizados para llevar a cabo investigaciones sobre conducta, navegación y planeo de ruta. Cuando estuvieron listos para intentar nuevamente con los robots caminantes, comenzaron con pequeños hexápodos y otros tipos de robots de múltiples piernas. Estos robots imitaban insectos y artrópodos en funciones y forma. Como se ha hecho notar anteriormente, la tendencia se dirige hacia ese tipo de cuerpos que ofrecen gran flexibilidad y han probado adaptabilidad a cualquier ambiente. Con más de 4 piernas, estos robots son estáticamente estables lo que hace que el trabajar con ellos sea más sencillo. Sólo recientemente se han hecho progresos hacia los robots con locomoción bípeda.

En el año 2002 Honda y Sony, comenzaron a vender comercialmente robots humanoides como "mascotas". Los robots con forma de perro se encuentran, sin embargo, en una fase de producción muy amplia, el ejemplo más notorio ha sido Aibo de Sony.

2.2.4 Antecedentes Regionales, Nacionales y Mundiales.

Regionales

En el departamento de Boyacá específicamente en el municipio de Sogamoso, la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), mediante el Grupo de ⁷Investigación en Robótica y Automatización Industrial (GIRA), de la Escuela de Ingeniería Electrónica, pone en marcha proyectos relacionados con robótica e instrumentación. Este grupo de investigación GIRA actualmente está realizando un proyecto denominado: "Diseño e implementación de un prototipo robótico móvil orugado multipropósito todo terreno" (Proyecto Raptter). Este prototipo se limita al diseño e implementación de una plataforma robótica móvil, como punto de partida en el desarrollo de robots todo terreno.

⁶ <http://es.wikipedia.org/wiki/Cybertech>

⁷ www.uptc.edu.co/fsog_escuela_ingenieria_electronica

Sus componentes internos son una combinación de metales en distintas calidades que le dan mayor resistencia y versatilidad al robot. Así mismo, Raptter es de tipo orugado, lo que le confiere gran habilidad para recorrer terrenos difíciles y con pendientes pronunciadas.

Nacionales

Universidad Nacional de Colombia UN: Dos de los prototipos desarrollados, diseñados y contruidos por investigadores del grupo ⁸DIMA de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia han desarrollado dos módulos robóticos como son SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm), es un robot que reconoce letras y formas tridimensionales, útil en la selección de piezas para ensamble, y GANTRY, es un autómata que dosifica material granulado en empresa de cereales.

Estas máquinas se proyectan para ser utilizadas en áreas como la medicina, la manufactura y la impresión. Al Robot SCARA le fue implementada inteligencia artificial, por lo cual, puede aplicarse en fábricas de producción en línea como las de cervezas y gaseosas. Este autómata es capaz de identificar la forma geométrica y la posición en que vienen los productos sobre la banda. Dicho reconocimiento le permite tomar los objetos y ubicarlos en una línea de empaque predeterminada.

Robots en el Ejército Nacional: La Jefatura de Educación y Doctrina y la Dirección de Instrucción y Entrenamiento JEDOC, siguiendo los lineamientos del Comandante del Ejército y consientes de los valiosos beneficios en el mediano y largo plazo, decidieron apostarle a un proyecto del ⁹Departamento de Ciencia y Tecnología con el que se espera diseñar e implementar un pequeño vehículo, con capacidad de suministrar información visual en tiempo real a una estación de control remota, y con la adaptación de un brazo robótico para la manipulación de artefactos explosivos. El prototipo será diseñado por un grupo de trabajo integrado por miembros del Ejército y de la Universidad Militar Nueva Granada.

La finalidad es la aplicación del procesamiento de señales permite desarrollar sistemas capaces de entablar relaciones más estrechas con el ambiente que los rodea. La finalidad de cada uno de los sistemas es enlazar la teoría del procesamiento de las señales con el control aplicado a un móvil capaz de acomodarse a un ambiente controlado.

⁸ www.agenciadenoticias.unal.edu.co/un_mundo/2008/20080311.html

⁹ www.cemil.mil.co/?idcategoria=193522

Internacionales

Robots en el campo de combate: El Ejército de Estados Unidos desplegó en Irak 18 robots conocidos con el nombre de ¹⁰“Sword” (espada), estos son la cumbre de la evolución en la robótica aplicada a la guerra, capaces de disparar desde una ametralladora hasta un lanzagranadas de 40 milímetros o sistemas de misiles múltiples, llevan cámaras de cualquier combinación, térmicas, de visión nocturna, zoom y de angular amplio.

Los “Swords” no son robots totalmente autónomos, son controlados por un operador en una pequeña estación remota que se puede ubicar a una distancia de hasta un kilómetro. El costo inicial de cada robot fue de alrededor de 230.000 dólares, pero a pesar de que aun es un precio alto, algunos analistas aseguran que no se compara con el costo psicológico, político y económico que significa perder un soldado en el campo de combate.

¹⁰ www.ejercito.mil.co/?idcategoria=193451

3. MARCO TEORICO

3.1 INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

3.1.1 Definición

La instrumentación es una rama de la electrónica que estudia los circuitos y subsistemas electrónicos que permiten servir como interfaz entre los sistemas físicos, digitales y analógicos. Esta disciplina se fundamenta en la captación de variables físicas utilizando sensores y transductores, que posteriormente son convertidas en variables eléctricas para ser manipuladas y procesadas por dispositivos electrónicos, de control y comunicaciones entre otros. Las señales eléctricas se convierten en información digital que ingresa hacia los circuitos digitales, mediante una adquisición de señales (o datos), y la salida de información digital procesada por los dispositivos digitales se entrega en forma apropiada mediante los procesos de distribución y acondicionamiento de señales.

El objetivo de la instrumentación electrónica es el diseño y análisis de sistemas de adquisición y distribución de señales (SAS, Sistemas de Adquisición de Señales, SDS, Sistemas de Distribución de Señales), a partir de dispositivos tales como circuitos integrados especializados bien sean analógicos o digitales. Un campo temático de la instrumentación corresponde al procesamiento de señales, que permite analizar, transformar, operar y manipular a las señales de entrada provenientes de los sensores que interactúan con el medio, con el uso de funciones específicas para ser adaptadas y transmitidas como señales de salida hacia los dispositivos actuadores.

La instrumentación electrónica se centra en el uso de amplificadores de instrumentación, amplificadores de muestreo y retención, filtros analógicos y digitales, tanto lineales como no lineales, circuitos de corrección de derivas, circuitos moduladores y demoduladores, circuitos multiplexores y demultiplexores, convertidores analógico digital y digital analógico, optoacopladores y relés de estado sólido, dispositivos conmutadores de potencia, dispositivos sensores, dispositivos actuadores como motores de corriente alterna y corriente continua, motores paso a paso, y los sistemas procesadores de señales digitales, entre otros.

3.1.1.1 Tipos de Instrumentación

Instrumentación Convencional

La instrumentación electrónica convencional reúne todos los componentes electrónicos que bajo alguna configuración cumplen con una tarea específica, esto asegura que todo el sistema sea de buena calidad, pero de altos costos, determinando que cada uno de los dispositivos utilizados tenga un fin para un único propósito. Esto permite al diseñador especializar las técnicas de adquisición y distribución de señales. Esta instrumentación convencional con el paso de los años ha sido reemplazada por la instrumentación virtual.

Instrumentación Virtual

La instrumentación virtual es un modulo de software que intenta simular cada uno de los aspectos funcionales del instrumento real basándose en todos los dispositivos físicos que pueden ser accesibles para el ordenador como tarjetas de adquisición, tarjeta *DSP* (Digital Signal Processor), instrumentos accesibles vía *GPIB* (General-Purpose Instrumentation Bus), *VXI* (VME extensions for Instrumentation), *RS-232* (Recommended Standard 232), etc. Cuando se ejecuta un programa que representa un instrumento virtual, el usuario ve en la pantalla el panel que correspondería al instrumento físico y que permite la visualización y control.¹¹

3.1.2 Sensores

3.1.2.1 Definición

Un sensor es un dispositivo capaz de convertir el valor de una magnitud física en una señal eléctrica codificada ya sea en forma analógica o digital.¹²

3.1.2.2 Clasificación

En la tabla I se clasifican los sensores según la magnitud física a detectar, es así como se caracterizan los sensores a nivel general, describiendo la magnitud detectada, el sensor y características en general.

¹¹ Instrumentación Virtual, Alfaomega.

¹² Automatas Programables, 113.

Tabla 1. Clasificación del sensor según la magnitud física a detectar.

MAGNITUD DETECTADA	SENSOR	CARACTERISTICAS
Posición lineal o angular.	Potenciómetro Encoder Sincron y resolver	Analógico Digital Analógico
Pequeños desplazamientos o deformaciones	Transformador diferencial Galgas extensométrica	Analógico Analógico
Velocidad lineal o angular	Dinamo tacométrica Encoder Detector inductivo u óptico	Analógico Digital Digital
Aceleración	Acelerómetro Sensor de velocidad + calculador	Analógico Digital
Fuerza y Par	Medición indirecta (galgas o trafos diferenciales)	Analógico
Presión	Membrana + detector de desplazamiento Piezoeléctricos	Analógico Analógico
Caudal	De turbina Magnéticos	Analógico Analógico
Temperatura	Termopar Resistencias PT100 Resistencias NTC Resistencias PTC Bimetálicos	Analógico Analógico Analógico Todo - nada Todo - nada
Sensores de presencia o proximidad	Inductivos Capacitivos Ópticos Ultrasónicos	Todo - nada o Analógico Todo - nada Todo - nada o Analógico Analógico
Sensores táctiles	Matriz de contactos Matriz capacitiva piezoeléctrica u óptica Piel artificial	Todo - nada Todo - nada Analógico
Sistemas de visión artificial	Cámaras de video y tratamiento imagen Cámaras CCD	Procesamiento digital por puntos o píxel

Fuente. BALCELLS, Josep y ROMERAL, José Luis, "Autómatas Programables", pag. 114, Barcelona, España. Editorial Marcombo. 1997. ISBN: 84-267-1089-1

3.1.3 Actuadores

3.1.3.1 Definición

Los actuadores son dispositivos o subsistemas que se encargan de regular la potencia de una planta o de un automatismo. El accionamiento puede estar bajo el control de la parte de mando o puede requerir algún pre-accionamiento para amplificar la señal de mando.

3.1.3.1 Clasificación

En la clasificación de los actuadores se puede nombrar dependiendo del tipo de energía empleada en el accionamiento según esto se puede diferenciar:

✓ <i>Accionamientos Eléctricos:</i>	Relés y contactores Servomotores de CC Servomotores de CA Motores paso a paso
✓ <i>Accionamientos Hidráulicos y Neumáticos:</i>	Válvulas Servo válvulas Cilindros Sujeción por vacío Bombas y motores hidráulicos

3.1.4 Amplificadores

3.1.4.1 Definición

El amplificador de instrumentación se puede definir que es un dispositivo creado a partir de amplificadores operacionales. Está diseñado para tener una alta impedancia de entrada y un alto rechazo al modo común (CMRR). Se puede construir a base de componentes discretos o se puede encontrar encapsulado. La ganancia de un amplificador se obtiene, dependiendo de la configuración, de una relación del voltaje de salida con respecto al voltaje de entrada.

3.1.4.2 Clases de Amplificadores

Los amplificadores se pueden configurar de diferentes maneras como pueden ser:

Amplificador Comparador

Esta es una aplicación sin la realimentación. Compara entre las dos entradas y saca una salida en función de qué entrada sea mayor. Se puede usar para adaptar niveles lógicos.

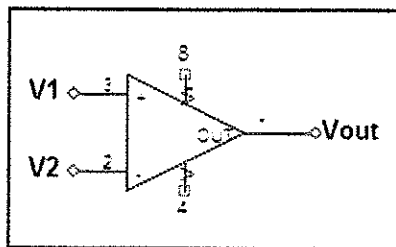


Figura 1. Configuración amplificador comparador.
Fuente. Autores

La salida dependerá de los voltajes V_1 y V_2 .

$$V_{out} = \begin{cases} V_{S+} V_1 > V_2 \\ V_{S-} V_1 < V_2 \end{cases} \quad (1)$$

Amplificador Seguidor

Es aquel circuito que proporciona a la salida la misma tensión que a la entrada, se usa como un buffer, para eliminar efectos de carga o para adaptar impedancias (conectar un dispositivo con gran impedancia a otro con baja impedancia y viceversa). Como la tensión en las dos patillas de entradas es igual:

$$\begin{aligned} V_{out} &= V_{in} \\ Z_{in} &= \infty \end{aligned} \quad (2)$$

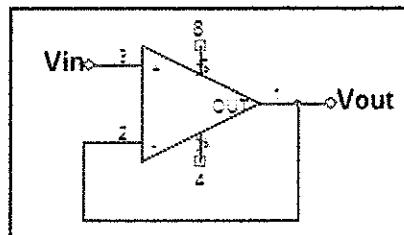


Figura 2. Configuración amplificador seguidor.
Fuente. Autores

Amplificador Inversor

Se denomina inversor ya que la señal de salida es igual a la señal de entrada (en forma) pero la señal se verá afectada por el signo contrario al signo de voltaje de entrada.

$$V_+ = V_- = 0 \quad (3)$$

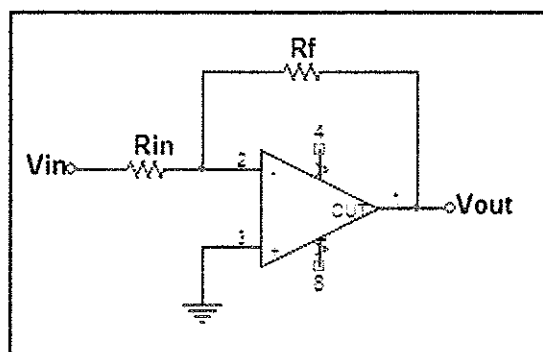


Figura 3. Configuración amplificador inversor.
Fuente. Autores

El análisis de corrientes es el siguiente:

$$\frac{V_{in}-0}{R_{in}} = -\frac{V_{out}-0}{R_{in}} \quad (4)$$

Por lo cual se puede controlar la impedancia de entrada mediante la elección de R_{in} . De esta configuración se puede hacer el análisis del amplificador derivador, integrador y sumador.

Amplificador no inversor

El amplificador no inversor se caracteriza por que el voltaje de entrada y el de salida tienen la misma fase y varía la amplitud dependiendo de la ganancia que se calcule, esta ganancia depende de un arreglo de resistencias en la entrada negativa del buffer.

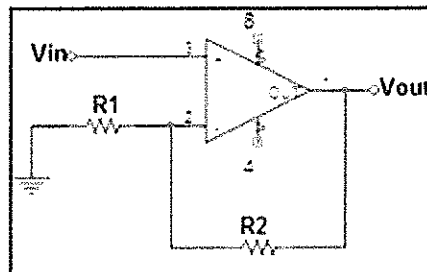


Figura 4. Configuración amplificador no inversor.
Fuente. Autores

Y se puede obtener el valor del voltaje de salida de la siguiente manera:

$$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (5)$$

Amplificador Sumador inversor

El amplificador sumador inversor se describe porque su voltaje de salida está con cambio de signo con respecto a la entrada además se denomina sumador por que el voltaje de salida es la suma de las corrientes de cada una de las resistencias de entrada multiplicada por la resistencia de realimentación.

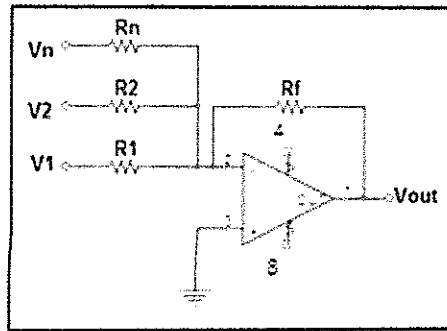


Figura 5. Configuración amplificador sumador inversor.
Fuente. Autores

Y se puede obtener el valor del voltaje de salida con la ecuación:

$$V_{out} = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_n}{R_n} \right) \quad (6)$$

Amplificador Restador

El amplificador restador se caracteriza por que el valor del voltaje de salida es igual al voltaje aplicado a la entrada no inversora menos el voltaje aplicado de entrada de la inversora. La variación de signo del voltaje de salida con respecto al voltaje de entrada estará dada por el valor de voltaje de entrada inversora ya que si este valor es mayor que el voltaje de entrada no inversora la salida será negativa.

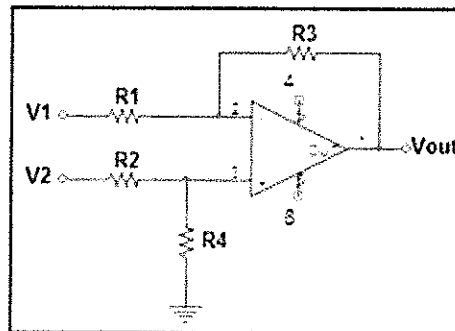


Figura 6. Configuración amplificador restador.
Fuente. Autores

El voltaje de salida del amplificador se describe como:

$$V_{out} = V_2 \left(\frac{(R_3 + R_1)R_4}{(R_4 + R_2)R_1} \right) - V_1 \left(\frac{R_3}{R_1} \right) \quad (7)$$

Amplificador Integrador Ideal

Un circuito integrador realiza un proceso de suma llamado "integración". La tensión de salida del circuito integrador es proporcional al área bajo la curva de entrada (onda de entrada), para cualquier instante de tiempo¹³.

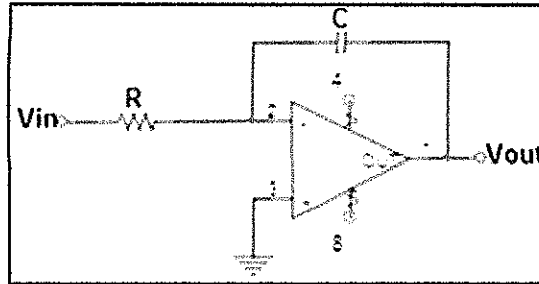


Figura 7. Configuración amplificador integrador ideal.
Fuente. Autores

El voltaje de salida se representa por la integración del voltaje de entrada relacionado con el filtro RC que varía en el tiempo.

$$V_{out} = \int_0^t -\frac{V_{in}}{RC} dt + V_{inicial} \quad (8)$$

El integrador no se usa en la práctica de forma discreta ya que cualquier señal pequeña de DC en la entrada puede ser acumulada en el capacitor hasta saturarlo por completo. Este circuito se usa de forma combinada en sistemas retroalimentados que son modelos basados en variables de estado (valores que definen el estado actual del sistema) donde el integrador conserva una variable de estado en el voltaje de su capacitor⁸.

Amplificador Derivador ideal

Un derivador ideal produce un voltaje de salida proporcional a las variaciones del voltaje de entrada en el tiempo, entregando un voltaje de salida instantáneo que se relaciona con la derivada del voltaje de entrada. El circuito básico que realiza esta función requiere de un amplificador operacional, un capacitor de entrada y una resistencia de retroalimentación, como se muestra en la Figura 8.

¹³ A. Pertence J.: "Amplificadores operacionales y filtros activos. Teoría, proyectos y aplicaciones prácticas". McGraw-Hill. 1990.

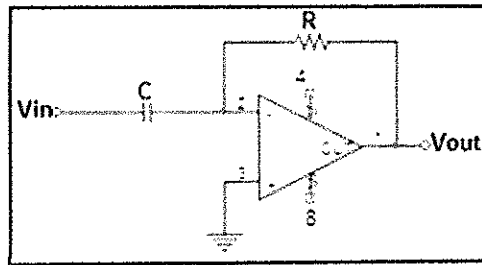


Figura 8. Configuración amplificador derivador ideal.
Fuente. Autores

La ecuación característica de este amplificador se muestra enseguida.

$$V_{out} = -RC \frac{dV_{in}}{dt} \quad (9)$$

Este circuito se utiliza para detectar flancos de subida y bajada de una señal provocando una mayor diferenciación en los flancos de entrada y salida de la señal que, es donde la variación con el tiempo t se hace más notoria. Estas zonas de la señal son además las que corresponden a las altas frecuencias, mientras que las zonas planas están compuestas por frecuencias más bajas¹⁴.

3.1.5 Acoples

3.1.5.1 Definición

El acople consiste en aislar señales cuando se tienen diferencias de potencial elevadas o cuando la naturaleza de las señales acopladas difieren. Esto sucede cuando se tienen subsistemas de alimentación independientes. El aislamiento se hace necesario en casos especiales, como los aparatos electromédicos que entren en contacto con el paciente, o los utilizados en las atmósferas explosivas. Es además una precaución habitual en un sistema donde en los receptores puede haber eventualmente conexiones poco ortodoxas.

Las señales normalmente se aíslan mediante un optoacoplador, que consiste en un diodo emisor de infrarrojos y un fotodetector (fotodiodo o fototransistor). Todos los optoacopladores son intrínsecamente unidireccionales y esto impide que las posibles interferencias en el circuito de la salida pasen hacia el de entrada.

¹⁴ R. F. Coughlin and F. F. Driscoll: "Operational Amplifier and Linear Integrated Circuits". Fifth Edition, Prentice-Hall. 1998.

3.1.5.2 Clases de Acoples

Acoples ópticos

Diodos electroluminiscentes (LED):

(Light Emitting Diode) es una unión *pn* polarizada directamente donde la recombinación de huecos y electrones en la unión produce luz con una eficiencia elevada. La recombinación de huecos inyectados hacia la zona *n* con los electrones que allí abundan, y de electrones inyectados a la zona *p* con los huecos que están presentes, se produce en cualquier unión *pn*.

En los optoacopladores y sistemas ópticos en general la radiación emitida por la fuente debe estar adaptada a la sensibilidad del detector y es importante que este sea de silicio ya que facilita su integración.

La característica V-I de un LED es similar a la de un diodo de silicio, pero su tensión de umbral es más alta (1.0V frente a 0.6V) y la tensión de ruptura es mucho menor (3V a 6V frente a más de 30V).

Fotodiodos

Cuando incide un haz de luz sobre una unión *pn* los fotones incidentes producen pares electrón hueco. Si la energía de los fotones es mayor que la anchura de la banda prohibida, los electrones y huecos se difunden en la banda respectivamente hacia la zona *n* y *p* y aparece la tensión V_{oc} a través de la unión en circuito abierto. Para el Si (Silicio) la longitud de la onda de los fotones debe ser menor a 1100nm¹⁵. La corriente generada por un haz incidente es:

$$I_p = \beta q R_t \quad (10)$$

Donde:

β = es la absorbancia electrón-hueco

q = carga del electrón

R_t = Numero de fotones absorbidos.

Fototransistores:

Es un transistor *npn* cuya base es la zona *p*, tiene un área grande para la unión base colector y su comportamiento es como un buen fotodiodo. Básicamente consiste en un diodo entre base y colector, cuya corriente es amplificada por el transistor. Luego la corriente de colector viene dada por:

¹⁵ Adquisición y Distribución de Señales de Pallas Areny

$$I_c = I_p(1 + h_{FE}) \approx I_p h_{FE} \quad (11)$$

Donde:

h_{FE} Es la ganancia de corriente del transistor en configuración de emisor común. Esta amplificación no es lo suficientemente alta por lo que se dispone de configuraciones Darlington que ofrecen corrientes de colector mayores.

Optoacopladores:

Un optoacoplador, también llamado optoaislador o aislador acoplado ópticamente, es un dispositivo de emisión y recepción de luz que funciona como un interruptor excitado mediante la luz. La mencionada luz es emitida por un diodo LED que satura un componente optoelectrónico, normalmente en forma de fototransistor. De este modo se combinan en un solo dispositivo semiconductor, un fotoemisor y un fotorreceptor cuya conexión entre ambos es óptica. Estos elementos se encuentran dentro de un encapsulado que por lo general es del tipo DIP (Dual in-line package).

Su funcionamiento se puede ver en la Figura 9, la tensión de la fuente de la izquierda y la resistencia en serie establecen una corriente en el LED emisor cuando se cierra el interruptor S_1 . Si dicha corriente proporciona un nivel de luz adecuado, al incidir sobre el fototransistor lo saturará, generando una corriente en R_2 . De este modo la tensión de salida será igual a cero con S_1 cerrado y a V_2 con S_1 abierto¹.

Si la tensión de entrada varía, la cantidad de luz también lo hará, lo que significa que la tensión de salida cambia de acuerdo con la tensión de entrada. De este modo el dispositivo puede acoplar una señal de entrada con el circuito de salida.

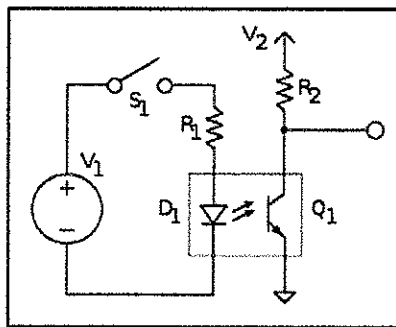


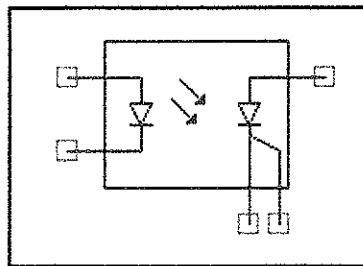
Figura 9. Circuito equivalente de un optoacoplador.
Fuente. Adquisición y Distribución de Señales de Pallas Areny.

Aislamientos para control de potencia:

La potencia de salida de los optoacopladores es muy limitada. Su corriente máxima de salida es de hasta unos $150mA$, de allí la necesidad de emplear otro tipos de acople para tensiones más elevadas para controlar la potencia conmutando la conexión de la fuente.

Acopladores con fototiristores y fototriacs

Un fototiristor es un tiristor apartado que se dispara (conduce) al incidir en el luz que genere pares electrón-hueco. Para un fototiristor de silicio indica que la luz debe ser visible o infrarrojo cercano. Su construcción es similar a la de un tiristor normal, pero está diseñado de forma que su corriente de disparo de puerta sea muy pequeña; así aumenta su sensibilidad óptica. Un optoacoplador con fototiristor o fototriac está formado por un LED y un fototiristor o fototriac, separados por una resina transparente como se ve en la figura 10 facilitando la radiación del LED.



*Figura 10: Acople con fototiristor
Fuente: Autores*

Acoples magnéticos:

Si se considera el transformador desde una de las bobinas, a la que se aplica la tensión alterna, dicha bobina se llama devanado primario, en tanto a la acoplada se le llama devanado secundario.

Los transformadores pueden destinarse a la alimentación del equipo o pueden ser de acoplamiento, consiste en un fenómeno físico por el cual el paso de una corriente eléctrica variable en el tiempo por una bobina produce una diferencia de potencial entre los extremos de las demás bobinas del circuito. Cuando este fenómeno se produce de forma indeseada se denomina diafonía. Las tensiones inducidas en cada bobina por acoplamiento magnético con las demás serán del mismo sentido que la tensión de la propia bobina, por lo que se sumarán a esta.

El valor de la tensión inducida en una bobina es proporcional a la corriente de la bobina que la induce y al denominado coeficiente de inducción mutua, representado con la letra M , que viene dado por la expresión:

$$M = K * \sqrt{L_1 * L_2} \quad (12)$$

Donde K es el coeficiente de acoplamiento que varía entre 0 (no existe acoplamiento) y 1 (acoplamiento perfecto) y L_1 y L_2 las inductancias de las dos bobinas.

Relés de estado sólido

Es un conmutador basado en semiconductores que ofrece aislamiento eléctrico entre circuitos de control (entrada) y circuitos de carga (salida) sin elementos móviles ni contactos. Realiza la misma función que un relé electromecánico, pero al no tener partes móviles su vida es más larga, no produce ruido acústico, su velocidad de conmutación es mucho mayor, tiempos de nanosegundos a microsegundos, en comparación al relé de partes móviles que maneja una velocidad de milisegundos, es inmune a vibraciones y choques mecánicos, es más pequeño y pesa menos. La potencia necesaria para su activación es mucho menor, con modelos directamente compatibles con familias lógicas TTL (Transistor-Transistor Logic) y CMOS (Metal Óxido Semiconductor Complementario)¹⁰.

3.1.6 Filtros

3.1.6.1 Definición

Es todo dispositivo o subsistema que modifica señales de acuerdo con la frecuencia o criterio. Los filtros se emplean para reducir interferencias, por ejemplo la de la red eléctrica (50Hz), para reducir ancho de banda del sistema, y el ruido, además de evitar el mezclado heterodino "aliasing", para atenuar selectivamente componentes, como por ejemplo los circuitos de audio.

3.1.6.2 Clases de Filtros

Filtros pasivos:

Están formados por combinaciones serie o paralelo de elementos resistivos, inductivos y capacitivos. Existen los siguientes tipos de filtros:

Pasa-altas:

¹⁶Presenta una conexión de la salida, la cual en vez de tomarse del condensador se toma de la resistencia lo cual provoca que en vez de dejar pasar las

¹⁶ www.electronicafacil.net/tutoriales/Filtros-pasivos.html

frecuencias bajas pasen las frecuencias altas, el circuito se puede ver en la Figura 11.

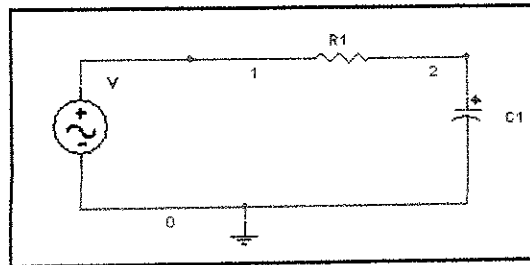


Figura 11. Filtro pasa-altas pasivo

Fuente. www.electronicafacil.net/tutoriales/Filtros-pasivos.html

Pasa bajas:

Su funcionamiento es a base de un condensador y resistencia, este filtro tiene configuración de la Figura 11 permitiendo el paso de frecuencias por debajo de f_c . Conforme se aumenta la frecuencia de la fuente el condensador disminuye su impedancia, con lo que el voltaje que disipa disminuye, hasta tender a cero.

La frecuencia de corte viene dada por:

$$f_c = \frac{1}{RC2\pi} \quad (13)$$

Pasa bandas:

Este es un filtro que se compone de un filtro pasa bajas y uno pasa altas conectados en cascada como se analiza en la Figura 12. Los componentes se deben de seleccionar para que la frecuencia de corte del filtro pasa altas sea menor que la del filtro pasa bajas.

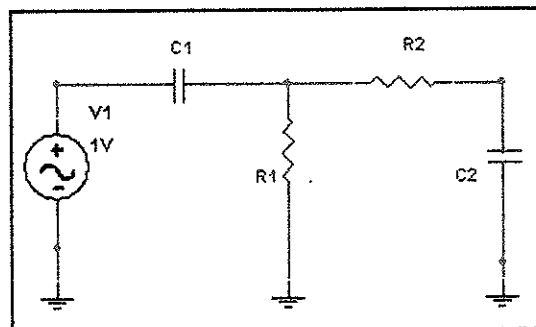


Figura 12. Circuito de filtro pasa banda

Fuente. www.electronicafacil.net/tutoriales/Filtros-pasivos.html

Las frecuencias de corte se pueden calcular con la ecuación 13. La característica más importante de este circuito es el ancho de banda que se permitirá pasar, el ancho de banda es igual a la resta de las frecuencias de corte.

Filtros activos:

Emplean componentes de ganancia mayor que 1. Los filtros activos resistivo capacitivos RC se realizan con amplificadores operacionales. De igual manera que los filtros pasivos estos se pueden clasificar en pasa bajas, pasa altas y pasa banda.

Pasa-baja:

Permite el paso de las frecuencias menores que cierta frecuencia ω_c , denominada frecuencia de corte (o frecuencia superior de corte) y bloquea las mayores, en la Figura 13 se ve la configuración circuito de pasa bajas. Donde su ecuación viene dada por:

$$\omega_c = \frac{1}{RC2\pi} \quad (14)$$

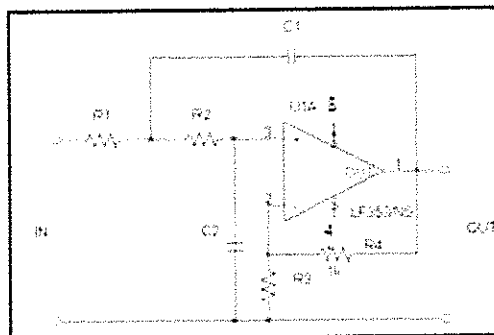


Figura 13. Filtro pasa bajas
Fuente. Autores

Pasa Altas:

Permite el paso de las frecuencias mayores a la ω_c (frecuencia de corte o inferior de corte) y bloquea las menores. El circuito se muestra en la Figura 14.

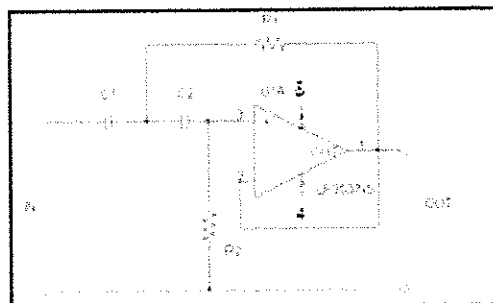


Figura 14. Filtro pasa altas.
Fuente. Autores

Donde:

$$R1 = \frac{1}{C1} \quad (15)$$

$$R2 = \frac{1}{C2} \quad (16)$$

Pasa banda:

Permite el paso de las frecuencias comprendidas entre la de corte inferior y de corte superior, bloqueando las restantes es la combinación de un filtro pasa bajas y pasa altas, la configuración del circuito viene dada en la Figura 15.

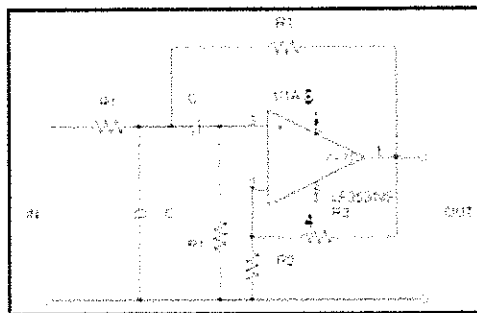


Figura 15. Filtro pasa banda
Fuente. Autores

3.1.7 Multiplexores

3.1.7.1 Definición

El multiplexor es un dispositivo que emplea mecanismos que se ven utilizados en comunicaciones y operaciones de entrada y salida para transmitir simultáneamente a través de un único canal o una sola línea varias señales diferentes.¹⁷ Para mantener la integridad de cada una de las señales a lo largo del canal, el multiplexado permite separarlas por tiempo, espacio o frecuencia.

3.1.7.2 Clases de multiplexores

Multiplexores analógicos:

El multiplexor analógico está constituido por una serie de entradas/salidas conectadas a una línea común de entrada/salida. Unas entradas de selección determinan cuál es la entrada que se conectará a la salida. Desde el punto de vista interno el multiplexor está formado por un conjunto de interruptores analógicos como se ve en la Figura 16, de tal manera que en cada instante sólo uno de ellos puede estar cerrado.

¹⁷ www.Multiplexores%20Analógicos.pdf

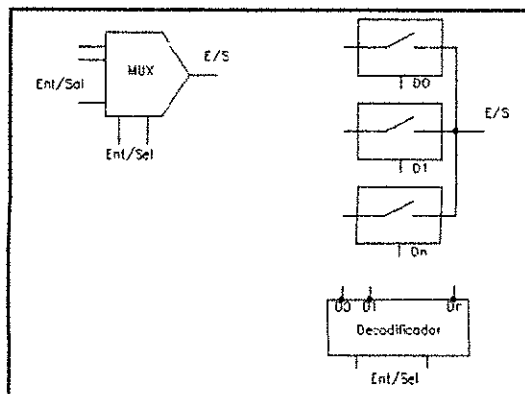


Figura 16. Interruptores analógicos multiplexor
Fuente. www.Multiplexores%20Analógicos.pdf

Las entradas de selección actúan sobre un decodificador digital, cuyas salidas rigen los diferentes interruptores analógicos, de tal forma que en cada momento eligen el interruptor que debe ser cerrado. La principal ventaja que presentan los multiplexores analógicos, frente a los digitales, es su carácter bidireccional, lo que le permite que cada terminal del multiplexor lo use como entrada o como salida y el manejo de señales analógicas en vez de digitales.

¹²Al analizar el multiplexor desde el punto de vista ideal, se dispone de n entradas de selección que podrá disponer de hasta 2^n canales de entrada. La mayoría de los multiplexores comerciales son de cuatro u ocho canales, es decir, de dos o tres entradas de selección.

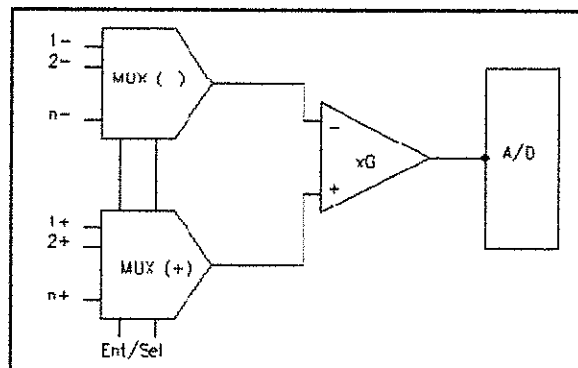


Figura 17: Multiplexor diferencial
Fuente. www.Multiplexores%20Analógicos.pdf

Cuando se configuran dos multiplexores como en la Figura 17 se le da el nombre de *multiplexor diferencial*, como se observa en uno de ellos se colocan las entradas - de las señales, mientras que en el otro, y con el mismo orden, se colocan las entradas + de esas mismas señales. De esta forma, al tener comunes las entradas de selección, para una combinación dada de estas entradas, llegarán al amplificador operacional los dos hilos que contienen a la señal elegida.

Parámetros característicos:

Resistencias de los interruptores:

R_{ON} es la resistencia que ofrece el interruptor en régimen estacionario cuando se encuentra en conducción (interruptor cerrado). Análogamente se definiría R_{OFF} como la resistencia que presenta el interruptor en régimen estacionario cuando se encuentra en corte (interruptor abierto).

Intensidades parásitas:

Al usar interruptores basados en transistores de efecto de campo JFET (Junction Field-Effect Transistor), o celdas CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), aparecen capacidades parásitas, lo cual se traduce en el paso de intensidad de un lado a otro del interruptor, por tanto se dan unas medidas de la imperfección del interruptor cuando éste se encuentra abierto. Estas intensidades se miden utilizando un circuito de prueba indicado por el propio fabricante.

Diafonía:

Diafonía es una forma de interferencia causada por las señales en las cercanías de conductores y es producida por el acoplamiento, la transferencia de energía eléctrica entre los conductores.

OFF de aislamiento:

Es el parámetro que da información de la parte de señal que llega a salida cuando el MUX no está habilitado y por tanto independientemente de que esté una u otra entrada habilitada, están todos los interruptores abiertos.

Parámetros dinámicos:

Tiempo de transición:

¹²Se define como el tiempo que transcurre entre el 50% del cambio en la entrada y el 90% del cambio en la salida. Para medirlo se realiza el circuito de prueba en el que se cambia mediante un pulso de la entrada 1 a la 8 y el cambio es entre -10 y +10 V.

Tiempo de apertura:

Indica el tiempo debido al mecanismo de conmutación y no al cambio de magnitud en la señal. En el comportamiento general de los multiplexores, éstos se encuentran habilitados siempre, de manera que sólo se tiene que tener en cuenta, para un muestreo rápido, el tiempo de transición.

Tiempo en ON de habilitación:

$t_{on(EN)}$ será el tiempo que transcurre desde que el habilitador está a 1 hasta que la salida alcanza el 90% de su valor.

Tiempo en OFF de habilitación:

$t_{off(EN)}$ será el tiempo que transcurre desde que el habilitador está a 0 hasta que la salida alcanza el 10% de su valor.

Multiplexores Digitales:

Un multiplexor o selector de datos es la versión electrónica de un conmutador rotatorio de un sentido ver Figura 18. Su funcionamiento es similar al analógico, pero difiere en que maneja datos digitales.

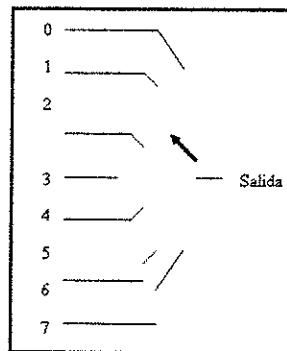


Figura 18: Multiplexor digital

Fuente. www.Multiplexores%20Analógicos.pdf

Las ocho entradas están a la izquierda y la única salida está a la derecha. Un dato de entrada se transfiere a través de los contactos del conmutador rotatorio. Análogamente con un multiplexor los datos de entrada se transfieren a través de los circuitos del selector. La selección del dato se hace girando mecánicamente el rotor del conmutador rotatorio. En el selector de datos la posición del dato se selecciona colocando el número binario adecuado en las entradas de selección de datos. El selector de datos permite que los datos fluyan solamente de la entrada a la salida, mientras que el conmutador rotatorio permite que los datos fluyan en ambas direcciones. Un selector de datos puede considerarse como un conmutador rotatorio de una dimensión.

3.1.8 Puente H

3.1.8.1 Definición

El puente H es básicamente un sistema de conmutación controlado por dos señales digitales de baja potencia.¹⁸ Cuando el sistema detecta un 1 digital en una de sus dos entradas de control y un cero en la otra, este conecta el motor a la fuente de alimentación con determinada polaridad, si la señal de control que estaba en 1 pasa a cero y la de cero a uno el Puente H conecta la carga conectada con la polaridad invertida facilitando así el giro en sentido contrario.

3.1.8.2 Descripción de Puente H:

El Puente H consta de 4 transistores *NPN* y *PNP* (par complementario). Notando que cuando se coloca "1" en las bases de T_1 T_3 y "0" en T_2 T_4 , se establece un sentido de circulación de corriente I_L como la indicada en la Figura 19.

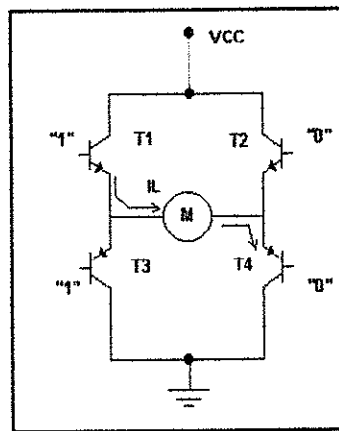


Figura 19: Circuito de Puente H
Fuente: www.puentehtransistorbroad-revision.com

Mientras que si se coloca "0" en las bases de T_1 T_3 y "1" en T_2 T_4 , se establece un sentido de circulación de corriente I_L contrario. Se puede controlar el sentido de giro del motor M .

¹³Típicamente $T_1 = T_2$ y $T_3 = T_4$, V_L (tensión de trabajo del motor) e I_L son datos. Para el objetivo de conmutación se implementa un motor cuya V_L sea inferior a V_{CC} , por lo tanto los *BJT* (Bipolar Junction Transistor) podrán trabajar en la zona activa, y en ellos caerá la diferencia de tensiones entre V_{CC} y V_L . Se notará que el V_{CE} y V_{EC} de los *BJT* sean lo más bajas posibles, asegurando de este modo la menor disipación de potencia. Sabiendo que la potencia viene dada por:

¹⁸ www.puentehtransistorbroad-revision.com

$$P_T = I_C \times V_{CE} \quad (17)$$

Como los "1" y "0" los deberá asignar un circuito digital se tendrá que agregar transistores adicionales al circuito para manejar las corrientes de bases de los T_1 - T_2 - T_3 - T_4 .

Circuito Darlington:

Se emplea para aumento de corrientes: Como se analiza en la Figura 20, los T_A y T_B conforman un par Darlington, el H_{FE} (Forward Current Gain) equivalente es aproximadamente el producto de los H_{FEs} . Las bases de los T_A requieren corrientes que son posibles de entregar por circuitos digitales como compuertas o puertos.

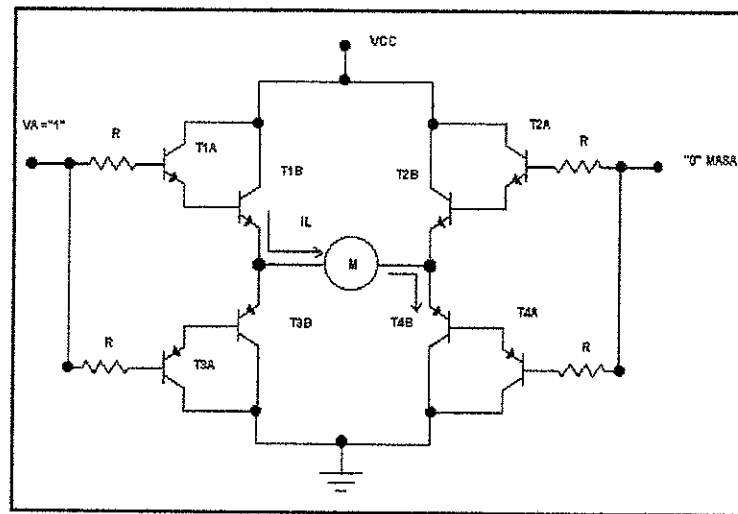


Figura 20. Circuito de Puente H
Fuente. www.puentehtransistorbroad-revision.com

3.1.9 Fuentes

3.1.9.1 Definición

Es un elemento activo que es capaz de generar una diferencia de potencial entre sus terminales o proporcionar una corriente eléctrica a un circuito para emplearlo según las condiciones que requiera determinado circuito para su objetivo específico.

3.1.9.2 Clases de fuentes

Fuentes conmutadas:

Las fuentes conmutadas fueron desarrolladas inicialmente para aplicaciones militares y aeroespaciales en los años 60, por ser inaceptable el peso y volumen de las lineales, se han desarrollado desde entonces diversas topologías y circuitos de control.

Rectificación y filtro de entrada:

Las fuentes conmutadas son convertidores cc-cc, por lo que la red debe ser previamente rectificada y filtrada con una amplitud de rizado aceptable. La mayoría de las fuentes utilizan el circuito de la Figura 21 para operar desde 90 a 132 Vac o de 180 a 260 Vac según sea la posición del conmutador.

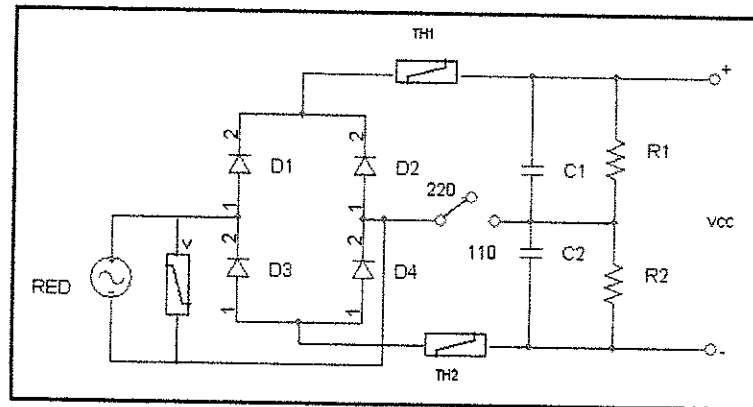


Figura 21. Fuente conmutada
Fuente. Autores

En la posición de abierto se configura como rectificador de onda completa obteniéndose aproximadamente 310 Vcc desde la red de 220 Vac. En la posición de cerrado el circuito funciona como rectificador doblador de tensión, obteniéndose también 310 Vcc a partir de 110 Vac.

Fuentes reguladas:

Cuando se tiene una tensión continua disponible a la salida del filtro del rectificador puede que no sea lo suficientemente buena, debida al rizado, o que varíe su valor ante determinado tipo de perturbaciones, como variaciones de la tensión de entrada, de la carga o de la temperatura.¹⁰ La regulación o estabilización se hace necesaria para conseguir que la tensión continua a utilizar sea lo más constante posible. En la Figura 22 se muestra el diagrama de bloques de la fuente regulada.

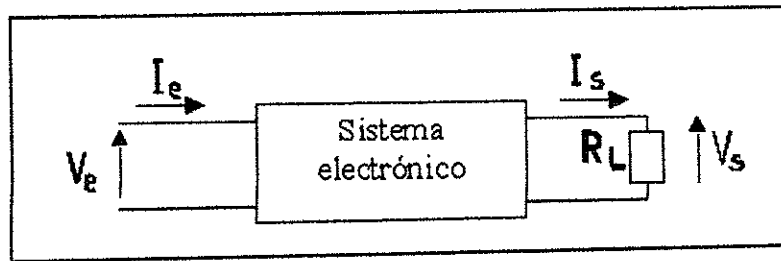


Figura 22. Fuente regulada
Fuente. Adquisición y Distribución de Señales de Pallas Areny

Las ecuaciones características son:

$$\Delta V_S/V_S < \Delta V_e/V_e \quad (18)$$

$$\Delta I_S/I_S < \Delta I_e/I_e \quad (19)$$

Además de la clasificación en fuentes de corriente y fuentes de tensión, cabe distinguir dos tipos:

Fuentes estabilizadas:

Consiguen la estabilización de la magnitud de salida (tensión ó corriente) utilizando directamente la característica no lineal de un dispositivo electrónico.

Fuentes reguladas:

Consiguen la estabilización de la magnitud de salida mediante un sistema de control o de realimentación negativa que corrige automáticamente dicha magnitud de salida.

3.2 ESTRUCTURA MECANICA DEL ROBOT

Un robot está constituido por: estructura mecánica, transmisiones, sistema de accionamiento, sensorial, de control y elementos terminales.

Mecánicamente, un robot está formado por una serie de elementos o eslabones unidos mediante articulaciones que permiten un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos. La constitución física de la mayor parte de los robots industriales guarda cierta similitud con la anatomía del brazo humano, por lo que en ocasiones, para hacer referencia a los distintos elementos que componen el robot, se usan términos como cuerpo, brazo, codo y muñeca.

Para el movimiento de cada articulación puede ser de desplazamiento, de giro, o de una combinación de ambos. De este modo son posibles los seis tipos diferentes de articulaciones. Cada uno de los movimientos independientes que puede realizar cada articulación con respecto a la anterior, se denomina grado de libertad. El número de grados de libertad del robot viene dado por la suma de los grados de libertad de las articulaciones que lo componen.

El empleo de diferentes combinaciones de articulaciones en un robot, da lugar a diferentes configuraciones, con características a tener en cuenta tanto en el diseño y construcción del robot como en su aplicación.

Las combinaciones más frecuentes son con tres articulaciones y son las más importantes a la hora de posicionar su herramienta en un punto en el espacio. Puesto que para colocar un cuerpo de cualquier manera en el espacio son necesarios seis parámetros, tres para definir la posición y tres para la orientación lo que generaría seis grados de libertad.

3.2.1 Condiciones básicas de Operación

3.2.1.1 Los eslabones y Junturas

Los eslabones son los miembros estructurales sólidos de un robot, y las juntas son los acoplamientos movibles entre ellos.

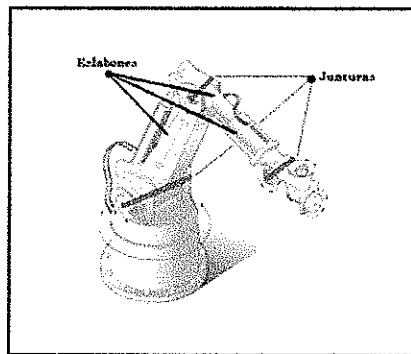


Figura 23. Eslabones y Juntas.
Fuente: www.kalipedia.com

3.2.1.2 Los Grados de Libertad

Cada uno de los movimientos independientes (giros y desplazamientos) que puede realizar cada articulación con respecto a la anterior. Son los parámetros que se precisan para determinar la posición y la orientación del elemento terminal del manipulador. Cada junta en el robot introduce un grado de libertad. Cada GDL pueden ser un deslizador, el tipo rotatorio, u otro de actuador. Los robots tienen 5 o 6 grados de libertad típicamente. Robots de 5 GDL o mas permiten el posicionamiento en el espacio 3D.

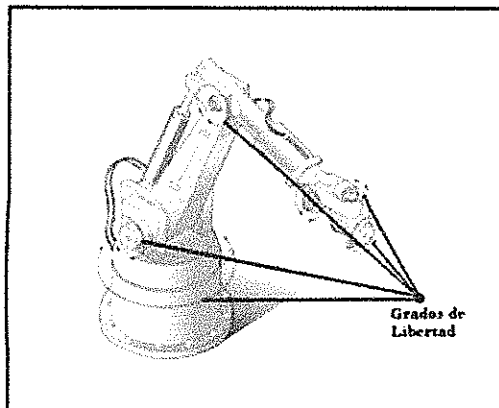


Figura 24. Grados de libertad.
Fuente. www.kalipedia.com

Un mayor número de grados de libertad conlleva un aumento de la flexibilidad en el posicionamiento del elemento terminal. Aunque la mayoría de las aplicaciones industriales requieren 6 GDL, como las de la soldadura, mecanizado y paletización, otras más complejas requieren un número mayor, tal es el caso en las labores de montaje. Si se trabaja en un entorno con obstáculos, el dotar al robot de grados de libertad adicionales le permitirá acceder a posiciones y orientaciones de su extremo a las que, como consecuencia de los obstáculos, no hubieran llegado con seis grados de libertad.

Otra situación frecuente es dotar al robot de un grado de libertad adicional que le permita desplazarse a lo largo de un carril aumentando así el volumen del espacio al que puede acceder. Tareas más sencillas y con movimientos más limitados, como las de la pintura y paletización, suelen exigir 4 o 5 GDL.

3.2.1.3 La orientación Eslabón

Básicamente, si la herramienta se sostiene a una posición fija, la orientación determina qué dirección puede apuntarse. En la Figura 25 se nota como la herramienta puede posicionarse a cualquier orientación en el espacio.

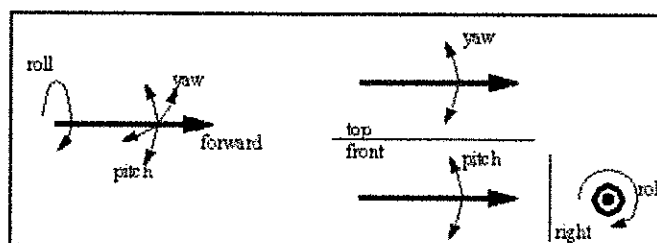


Figura 25. Posicionamiento de herramienta en el espacio.
Fuente. <http://proton.ucting.udg.mx/materias/robotica/r166/r66/r66.htm>

3.2.1.4 El Punto de Centro de herramienta TCP(Top Center Point)

El punto de centro de herramienta se localiza en el robot. Típicamente el TCP se usa al referirse a la posición de los robots, así como el punto focal de la herramienta. (Por ejemplo el TCP podría estar en la punta de la soldadura). El TCP puede especificarse en el cartesiano, cilíndrico, esférico, etc, coordenadas que dependen del robot.

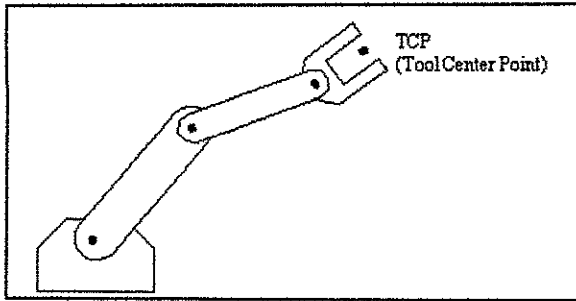


Figura 26. Punto de centro de herramienta.
Fuente. www.udg.mx

3.2.1.5 El espacio de trabajo

El robot tiende a tener una geometría fija, y limitada. El espacio de trabajo es el límite de posiciones en espacio que el robot puede alcanzar. Para un robot cartesiano (como una grúa arriba) los espacios de trabajo podrían ser un cuadrado, para los robots más sofisticados los espacios podrían ser de una forma esférica.

3.2.1.6 La velocidad

Se refiere a la velocidad máxima que es alcanzable por el TCP, o por las juntas individuales. Este valor no es exacto en la mayoría de los robots, y variará encima del espacio de trabajo como la geometría del robot cambia (y de los efectos dinámicos). El número reflejará a menudo la velocidad más segura máxima posible. Algunos robots permiten la máxima tasa de la velocidad (100%) para ser aprobado, pero debe tenerse con él, gran cuidado.

4. DESCRIPCIÓN DE LOS MÓDULOS ROBÓTICOS CARTESIANO Y ARTICULADO

4.1 MODULO ROBOTICO CARTESIANO

4.1.1 Estructura mecánica

4.1.1.1 Los eslabones y Junturas.

Teniendo como base el concepto de eslabones y junturas descrito en el ítem 3.2.1.1 ahora se detallan en la estructura mecánica del modulo robótico cartesiano. Los eslabones de este modulo se pueden ver en la figura 27. Donde se relaciona que los eslabones son las estructuras donde se desplaza el robot en el eje X, Y y Z.

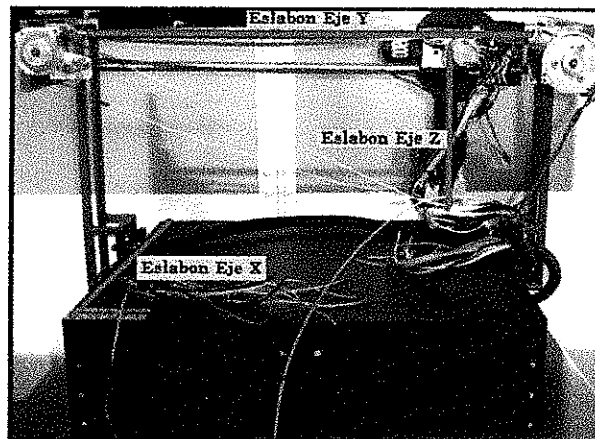


Figura 27. Eslabones en el modulo robótico cartesiano.
Fuente. Autores.

Así mismo las junturas se pueden caracterizar en el modulo robótico cartesiano con los motores de cada uno de los ejes, estas junturas se pueden ver en la figura 28. Las junturas que se tienen en este modulo son cinco, juntura Eje Pich, Eje X, Y, Z y Pinza Pivote.

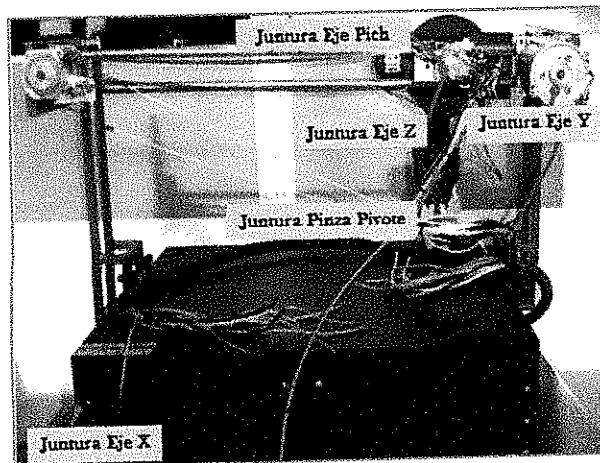


Figura 28. Juntas en el modulo robótico cartesiano.
Fuente. Autores.

4.1.1.2 Los Grados de Libertad

El modulo robótico cartesiano tiene cinco grados de libertad los cuales describen los diferentes movimientos que este modulo pueda realizar en el espacio de trabajo. Este modulo cuenta con los GDL nombrados en la figura 29, se tiene eje X, Y, Z, pich y pinza pivote.

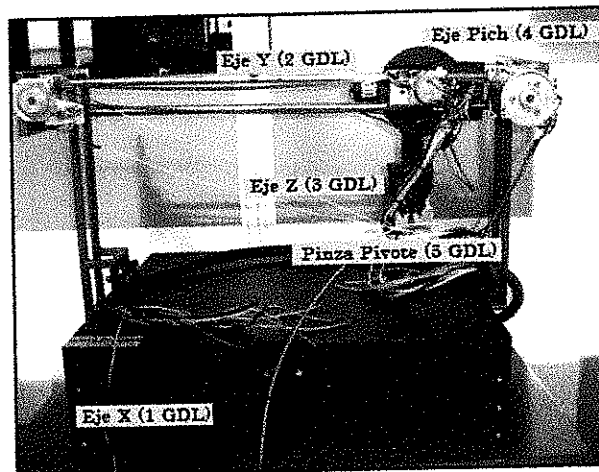


Figura 29. Grados de libertad del modulo robótico cartesiano
Fuente. Autores.

4.1.1.3 La orientación Eslabón

Fundamentados en la explicación descrita en el numeral 3.2.1.3 se tiene que la orientación del eslabón es la que proporciona la dirección de movimiento de la herramienta. En el modulo robótico cartesiano se describen seis diferentes direcciones que se pueden ver en la figura 30. Estas direcciones son $-X$, $+X$, $-Y$, $+Y$, $-Z$ y $+Z$.

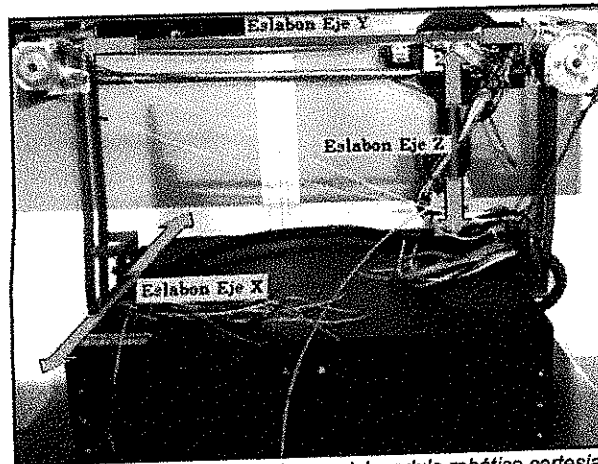


Figura 30. Orientación de eslabones del modulo robótico cartesiano
Fuente. Autores.

4.1.1.4 El Punto de centro de herramienta (TCP).

El punto de centro de herramienta del modulo cartesiano se localiza como se puede ver en la figura 31 en la pinza pivote. Este TCP es de tipo cartesiano ya que la movilidad de la herramienta se desarrolla en los ejes X, Y y Z.

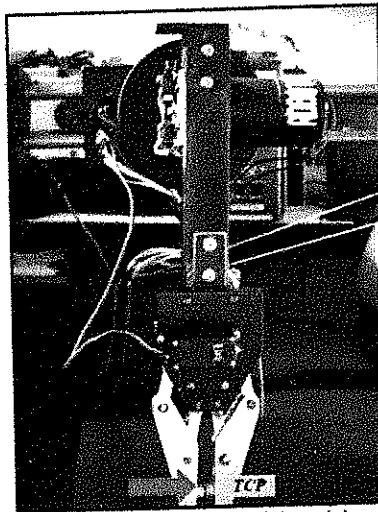


Figura 31. Punto de centro de herramienta del modulo robótico cartesiano.
Fuente. Autores.

4.1.1.5 El espacio de trabajo

El espacio de trabajo del modulo robótico cartesiano lo describe la figura geométrica rectangular, ya que viene dada por el desplazamiento que el robot realiza en sus ejes X, Y y Z.

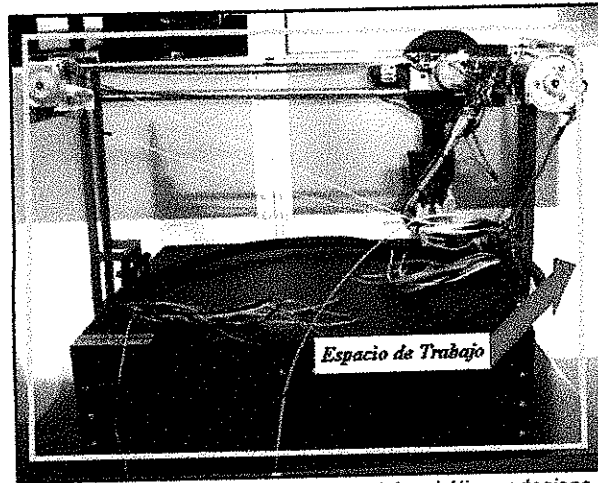


Figura 32. Espacio de trabajo del modulo robótico cartesiano.
Fuente. Autores.

4.1.1.6 La velocidad

La velocidad máxima que es lograble se caracteriza por las velocidades de las juntas individuales, para el caso del modulo cartesiano se tienen en los ejes X, Y, Z y Pich. Se describen a continuación cada una de las velocidades de las juntas que intervienen en la velocidad máxima lograda por el TCP.

Velocidad Eje X

$$v = \frac{x}{t} = \frac{\text{desplazamiento lineal(metros)}}{\text{tiempo (segundos)}} = \frac{0.52m}{5s} = 0.104 \text{ m/s} \quad (20)$$

Velocidad Eje Y

$$v = \frac{x}{t} = \frac{\text{desplazamiento lineal(metros)}}{\text{tiempo (segundos)}} = \frac{0.66m}{4.5s} = 0.146 \text{ m/s} \quad (21)$$

Velocidad Eje Z

$$v = \frac{x}{t} = \frac{\text{desplazamiento lineal(metros)}}{\text{tiempo (segundos)}} = \frac{0.18m}{16s} = 0.01125 \text{ m/s} \quad (22)$$

Velocidad Eje Pich

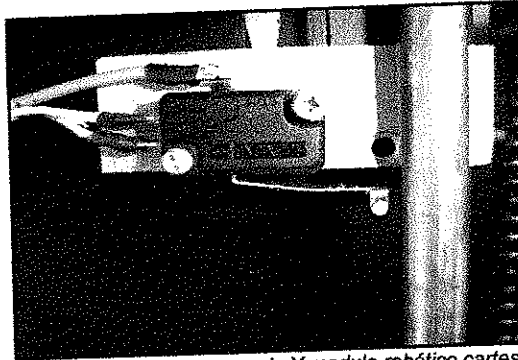
$$\omega = \frac{\theta}{t} = \frac{\text{desplazamiento angular (radianes)}}{\text{tiempo (segundos)}} = \frac{(\pi)rad}{2.4s} = 1.30 \text{ r/s} \quad (23)$$

4.1.2 Sensores

El robot Articulado cuenta con los siguientes sensores:

Eje X:

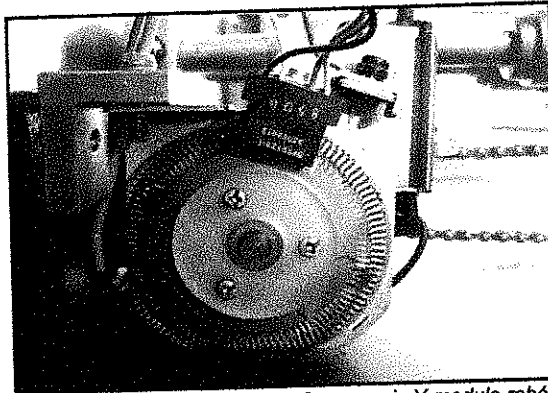
- **Sensor fin de curso derecha e izquierda (figura 33)**



*Figura 33. Sensor fin de curso eje X modulo robótico cartesiano.
Fuente. Autores.*

*Tipo Variable a Medir: Proximidad.
Efecto físico utilizado para la medición: eléctrico.
Tipo de variable eléctrica que entrega: On-Off
Aporte de energía: Pasivo.*

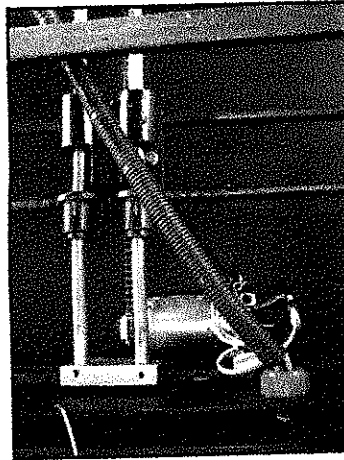
- **Sensor encoder Incremental de 110 pasos (figura 34)**



*Figura 34. Sensor encoder incremental de 110 pasos eje X modulo robótico cartesiano.
Fuente. Autores.*

*Tipo Variable a Medir: Física, movimiento angular.
Efecto físico utilizado para la medición: óptico, foto resistivos.
Tipo de variable eléctrica que entrega: digital.
Aporte de energía: Pasivos.*

- **Sensor Motogenerador de 500mV (figura 35)**

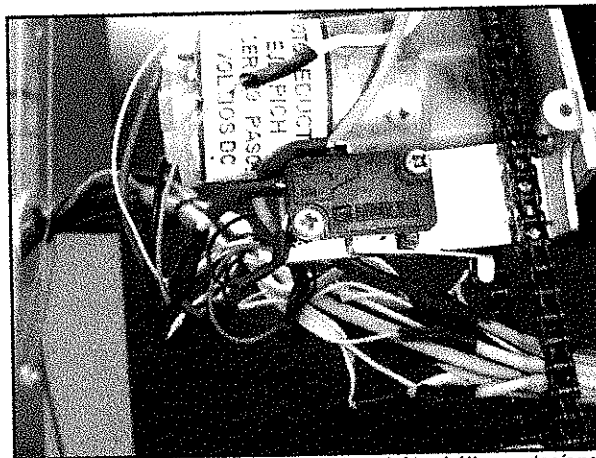


*Figura 35. Sensor Motogenerador de 500mV eje X modulo robótico cartesiano.
Fuente. Autores.*

*Tipo Variable a Medir: Física, movimiento angular.
Efecto físico utilizado para la medición: eléctrico
Tipo de variable eléctrica que entrega: Analógica 0-500mV
Aporte de energía: Pasivos.*

Eje Y:

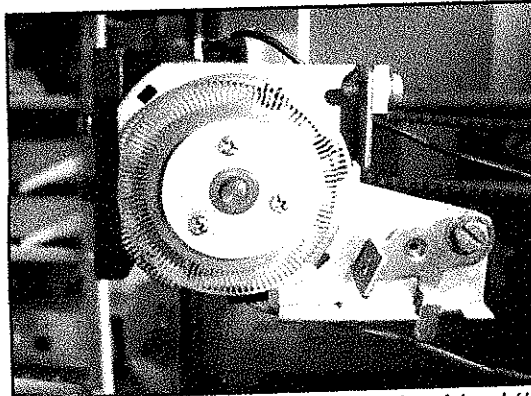
- **Sensor fin de curso derecha e izquierda (figura 36)**



*Figura 36. Sensor fin de curso eje Y modulo robótico cartesiano.
Fuente. Autores.*

*Tipo Variable a Medir: Proximidad.
Efecto físico utilizado para la medición: eléctrico.
Tipo de variable eléctrica que entrega: On-Off
Aporte de energía: Pasivo.*

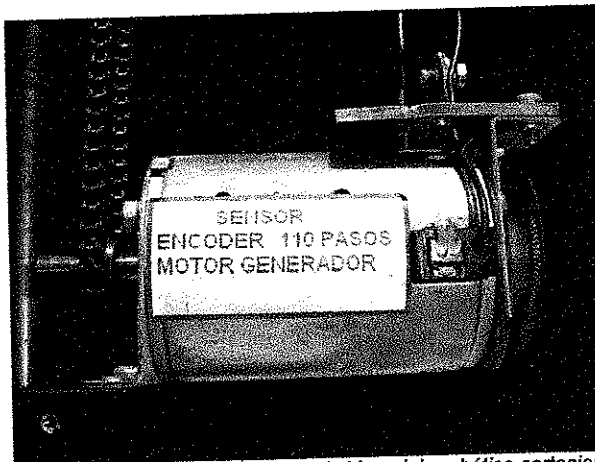
- **Sensor encoder incremental de 110 pasos (figura 37)**



*Figura 37. Sensor encoder incremental 110 pasos eje Y modulo robótico cartesiano.
Fuente. Autores.*

*Tipo Variable a Medir: Física, movimiento angular.
Efecto físico utilizado para la medición: óptico, foto resistivos.
Tipo de variable eléctrica que entrega: digital.
Aporte de energía: Pasivos.*

- **Sensor Motogenerador (figura 38)**



*Figura 38. Sensor Motogenerador eje Y modulo robótico cartesiano.
Fuente. Autores.*

*Tipo Variable a Medir: Física, movimiento angular.
Efecto físico utilizado para la medición: Eléctrico
Tipo de variable eléctrica que entrega: Analógica 0-600mV
Aporte de energía: Pasivos.*

Eje Z:

- **Sensor fin de curso subida y bajada (figura 39)**

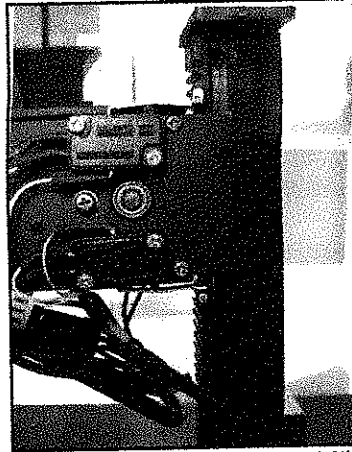


Figura 39. Sensor fin de curso eje Z modulo robótico cartesiano.
Fuente. Autores.

Tipo Variable a Medir: Proximidad.
Efecto físico utilizado para la medición: eléctrico.
Tipo de variable eléctrica que entrega: On-Off
Aporte de energía: Pasivo.

- **Sensor encoder Incremental de 45 pasos (figura 40)**

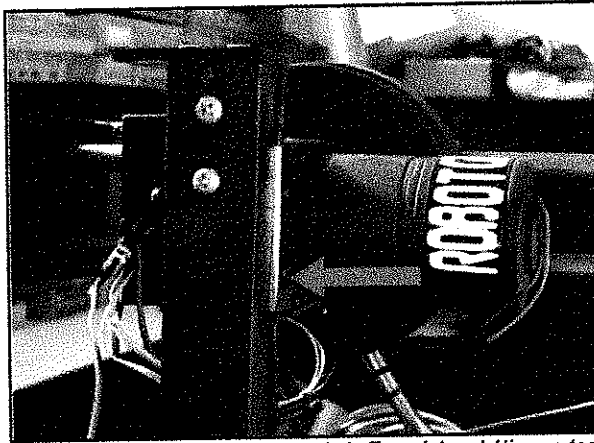
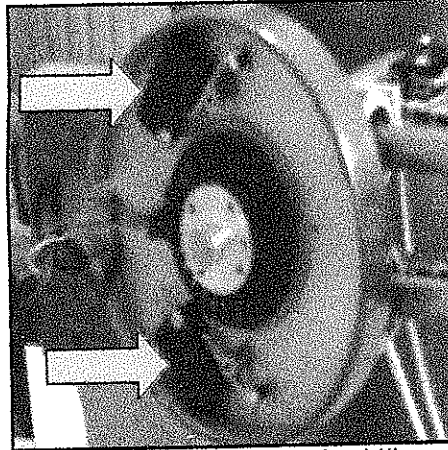


Figura 40. Sensor encoder incremental eje Z modulo robótico cartesiano.
Fuente. Autores

Tipo Variable a Medir: Física, movimiento angular.
Efecto físico utilizado para la medición: óptico, foto resistivos.
Tipo de variable eléctrica que entrega: digital.
Aporte de energía: Pasivos.

Eje Pich:

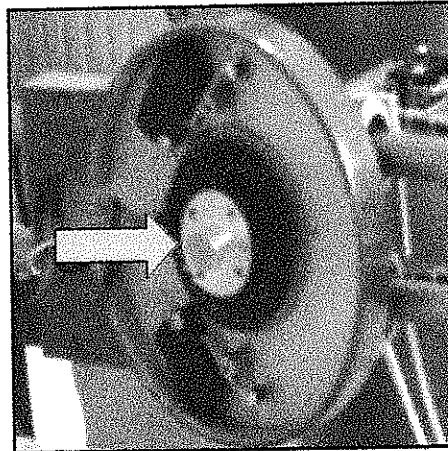
- **Sensor fin de curso derecha e izquierda (figura 41)**



*Figura 41. Sensor fin de curso eje pich modulo robótico cartesiano.
Fuente. Manual de operación modulo cartesiano SW*

*Tipo Variable a Medir: Proximidad.
Efecto físico utilizado para la medición: eléctrico.
Tipo de variable eléctrica que entrega: On-Off
Aporte de energía: Pasivo.*

- **Sensor encoder Incremental de 29 pasos (figura 42)**



*Figura 42. Sensor encoder 29 pasos eje pich modulo robótico cartesiano.
Fuente. Manual de operación modulo cartesiano SW*

*Tipo Variable a Medir: Física, movimiento angular.
Efecto físico utilizado para la medición: óptico, foto resistivos.
Tipo de variable eléctrica que entrega: digital.
Aporte de energía: Pasivos.*

Pinza Pivote:

- **Sensor de Posición (Servomotor):**
Potenciómetro logarítmico 0~10K Ω (Figura 43)

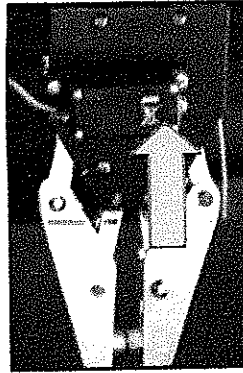


Figura 43. Sensor posición pinza pivote modulo robótico cartesiano.
Fuente. Autores

Tipo Variable a Medir: Física de posición.

Efecto físico utilizado para la medición: Eléctrico, resistivo.

Tipo de variable eléctrica que entrega: Analógica

Aporte de energía: Pasivo.

4.1.3 Actuadores

Eje X:

- **Motor de Transmisión Eje X (Figura 44)**

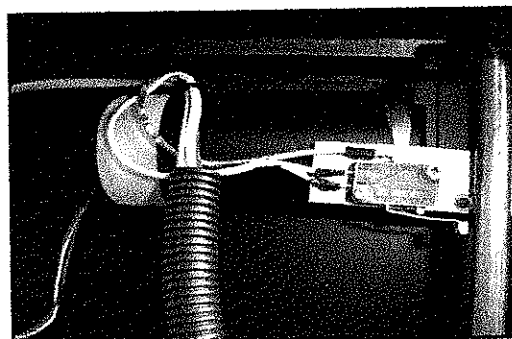


Figura 44. Motor de transmisión eje X modulo robótico cartesiano.
Fuente. Autores

Voltaje DC: 12 Vdc

Corriente: 3.15 A

Potencia: 37.8 W

Eje Y:

- **Motor Transmisión Eje Y (Figura 45)**

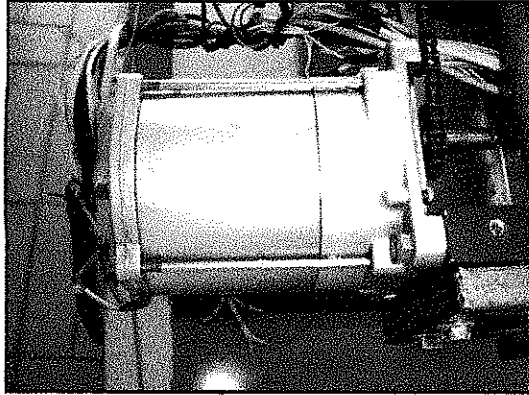


Figura 45. Motor de transmisión eje Y modulo robótico cartesiano.
Fuente. Autores

Voltaje DC: 12 Vdc

Corriente: 1 A

Potencia: 12 W

Eje Z:

- **Motor Transmisión Eje Z (Figura 46)**

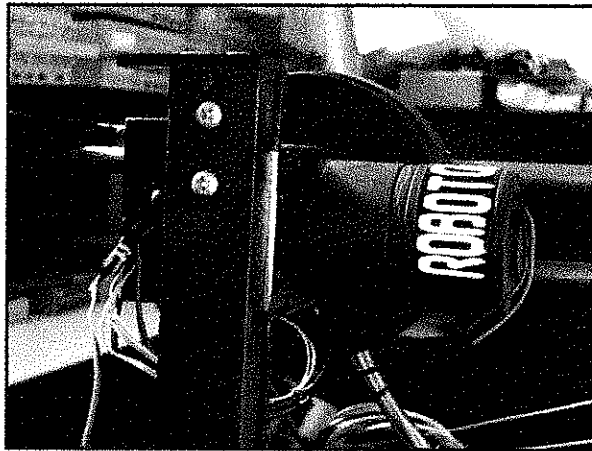


Figura 46. Motor de transmisión eje Z modulo robótico cartesiano.
Fuente. Autores

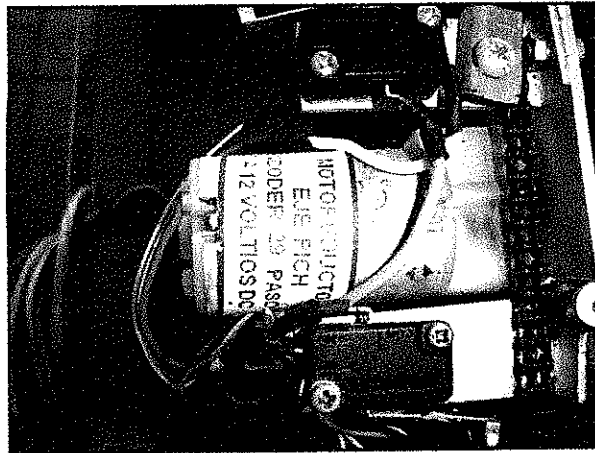
Voltaje DC: 12 Vdc

Corriente: 0.5 A

Potencia: 6 W

Eje Pich:

- **Motor Transmisión Eje Pich** (Figura 47)



*Figura 47. Motor de transmisión eje pich modulo robótico cartesiano.
Fuente. Autores*

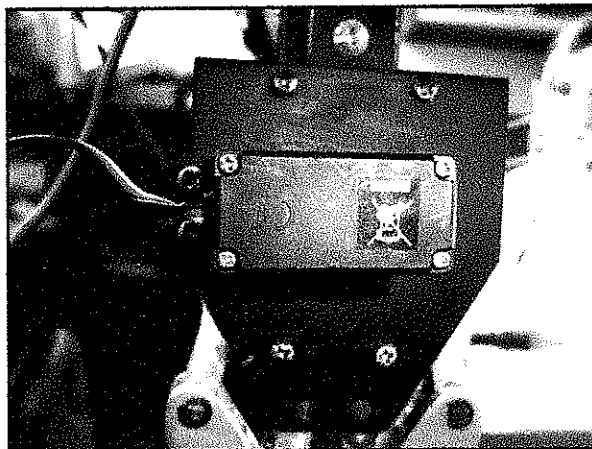
Voltaje DC: 12 Vdc

Corriente: 0.5 A

Potencia: 6 W

Pinza Pivote:

- **Servomotor** (Figura 48)



*Figura 48. Servomotor pinza pivote modulo robótico cartesiano.
Fuente. Autores*

Voltaje DC: 5 Vdc

Corriente: 8mA

Potencia: 40m W

4.2 MODULO ROBOTICO ARTICULADO

4.2.1 Estructura mecánica

4.2.1.1 Los eslabones y juntas

Teniendo como base el concepto de eslabones y juntas descrito en el ítem 3.2.1.1 ahora se detallan en la estructura mecánica del modulo robótico articulado. Los eslabones de este modulo se pueden ver en la figura 49. Este modulo cuenta con tres eslabones que son base-hombro, hombro-codo y codo-muñeca.

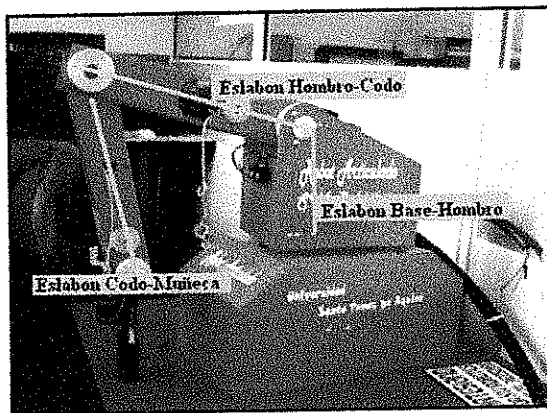


Figura 49. Eslabones en el modulo robótico articulado.
Fuente. Autores

Así mismo las juntas se pueden caracterizar en el modulo robótico articulado con los motores de cada articulación, estas juntas se pueden ver en la figura 50. Las juntas que se tienen en este modulo son cinco, base, hombro, codo, muñeca y servomotor de pinza pivote.

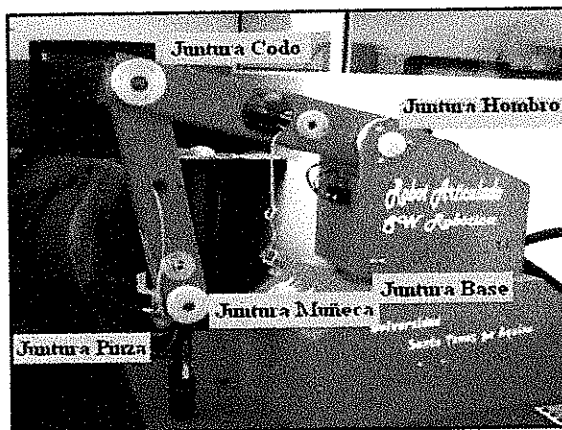


Figura 50. Juntas en el modulo robótico articulado.
Fuente. Autores

4.2.1.2 Los Grados de Libertad

El modulo robótico articulado tiene cinco grados de libertad los cuales describen los diferentes movimientos que este modulo pueda realizar en el espacio de trabajo. Este modulo cuenta con los GDL nombrados en la figura 51, se tiene grados de libertad en la base, hombro, codo, muñeca y pinza pivote.

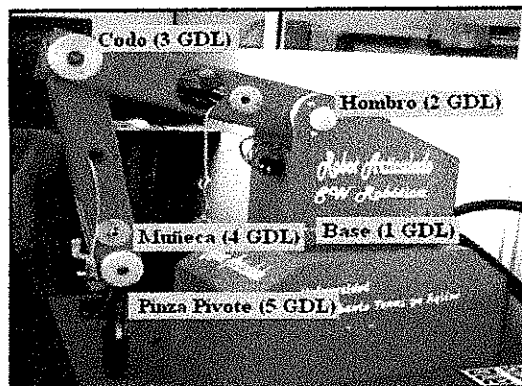


Figura 51. Grados de libertad del modulo robótico articulado.
Fuente. Autores

4.2.1.3 La orientación Eslabón

Fundamentados en la explicación descrita en el numeral 3.2.1.3 se tiene que la orientación del eslabón es la que proporciona la dirección de movimiento de la herramienta. En el modulo robótico articulado se describen seis diferentes direcciones que se pueden ver en la figura 52. Estas direcciones son base-hombro (derecha e izquierda), hombro-codo (arriba y abajo) y codo-muñeca (arriba y abajo).

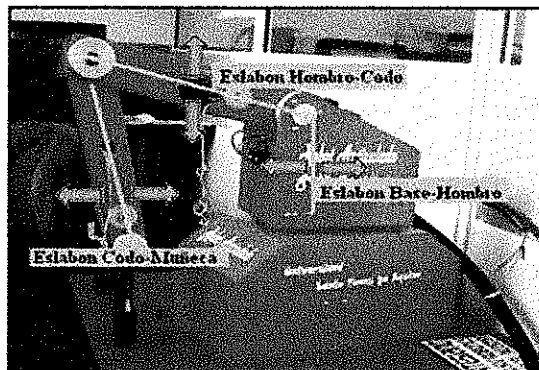


Figura 52. Orientación de los eslabones del modulo robótico articulado.
Fuente. Autores

4.2.1.4 El Punto de Centro de herramienta (TCP)

El punto de centro de herramienta del modulo articulado se localiza como se puede ver en la figura 53 en la pinza pivote. Este TCP es de tipo esférico ya que la movilidad de la herramienta se desarrolla en coordenadas r, Φ y θ .

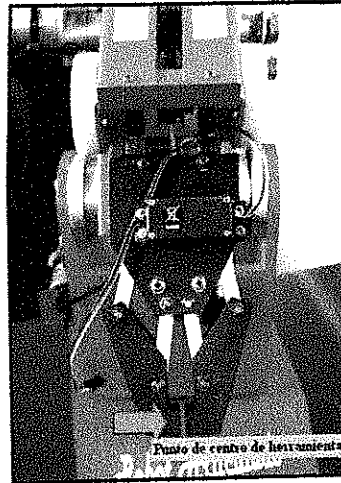


Figura 53. Punto de centro de herramienta del modulo robótico articulado.
Fuente. Autores

4.2.1.5 El espacio de trabajo

El espacio de trabajo del modulo robótico articulado lo describe la figura geométrica esférica, ya que viene dada por el desplazamiento que el robot realiza en la base, hombro, codo, muñeca y pinza.

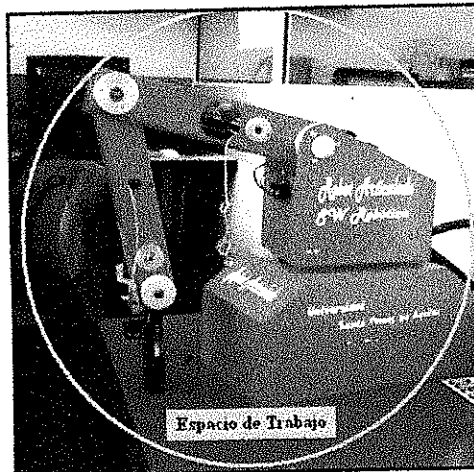


Figura 54. Espacio de trabajo del modulo robótico articulado.
Fuente. Autores

4.2.1.6 La velocidad

La velocidad máxima que es lograda se caracteriza por las velocidades de las juntas individuales, para el caso del modulo articulado se tienen diferentes velocidades en la base, hombro, codo y muñeca. Se describen a continuación cada una de las velocidades de las juntas que intervienen en la velocidad máxima lograda por el TCP.

Velocidad Base:

$$\omega = \frac{\theta}{t} = \frac{\text{desplazamiento angular (radianes)}}{\text{tiempo (segundos)}} = \frac{3\pi/2^{\text{rad}}}{3s} = 1.57 \text{ r/s} \quad (24)$$

Velocidad Hombro:

$$\omega = \frac{\theta}{t} = \frac{\text{desplazamiento angular (radianes)}}{\text{tiempo (segundos)}} = \frac{13\pi/18^{\text{rad}}}{4s} = 0.5672 \text{ r/s} \quad (25)$$

Velocidad Codo:

$$\omega = \frac{\theta}{t} = \frac{\text{desplazamiento angular (radianes)}}{\text{tiempo (segundos)}} = \frac{11\pi/9^{\text{rad}}}{3s} = 1.2799 \text{ r/s} \quad (26)$$

Velocidad Muñeca:

$$\omega = \frac{\theta}{t} = \frac{\text{desplazamiento angular (radianes)}}{\text{tiempo (segundos)}} = \frac{4\pi/6}{1s} = 2.0943 \text{ r/s} \quad (27)$$

4.2.2 Sensores

Base:

- **Sensor de Posición:** Potenciómetro lineal 0~100K Ω (figura 55)

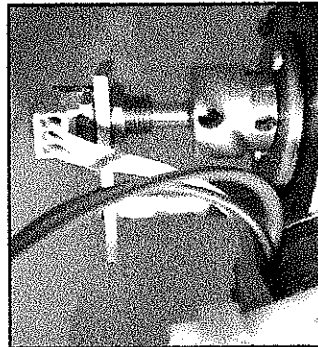


Figura 55. Sensor de posición base del modulo robótico articulado.
Fuente. Autores.

Tipo Variable a Medir: Física de posición.
Efecto físico utilizado para la medición: Eléctrico, resistivo.
Tipo de variable eléctrica que entrega: Analógica
Aporte de energía: Pasivo.

Hombro:

- **Sensor de Posición:** Potenciómetro lineal 0~100K Ω (figura 56)

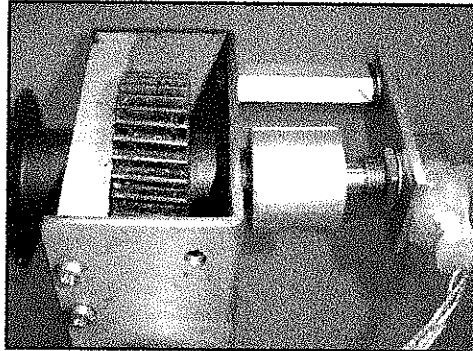


Figura 56. Sensor de posición hombro del modulo robótico articulado.
Fuente. Autores.

Tipo Variable a Medir: Física de posición.
Efecto físico utilizado para la medición: Eléctrico, resistivo.
Tipo de variable eléctrica que entrega: Analógica.
Aporte de energía: Pasivo.

- **Sensor fin de curso subida y bajada** (figura 57)

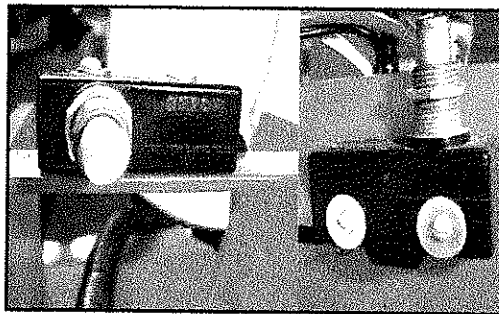


Figura 57. Sensores fines de curso hombro del modulo robótico articulado.
Fuente. Autores.

Tipo Variable a Medir: Proximidad.
Efecto físico utilizado para la medición: eléctrico.
Tipo de variable eléctrica que entrega: On-Off
Aporte de energía: Pasivo.

Codo:

- **Sensor de Posición:** Potenciómetro lineal 0~100K Ω (figura 58)

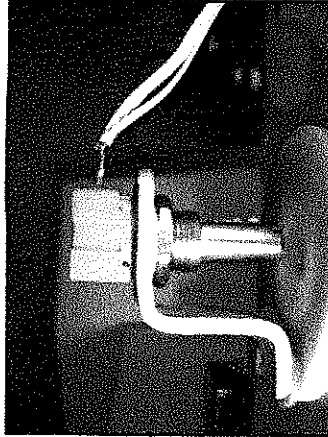


Figura 58. Sensor de posición codo del modulo robótico articulado.
Fuente. Autores.

Tipo Variable a Medir: Física de posición.

Efecto físico utilizado para la medición: Eléctrico, resistivo.

Tipo de variable eléctrica que entrega: Analógica.

Aporte de energía: Pasivo.

Muñeca:

- **Sensor de Posición:** Potenciómetro logarítmico 0~10K Ω (figura 59)

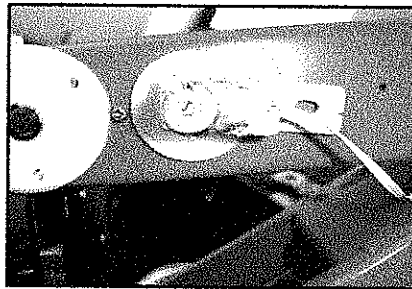


Figura 59. Sensor de posición muñeca del modulo robótico articulado.
Fuente. Autores.

Tipo Variable a Medir: Física de posición.

Efecto físico utilizado para la medición: Eléctrico, resistivo.

Tipo de variable eléctrica que entrega: Analógica

Aporte de energía: Pasivo.

Pinza Pivote:

- **Sensor de Posición Servomotor:** Potenciómetro lineal 0~10K Ω (figura 60)

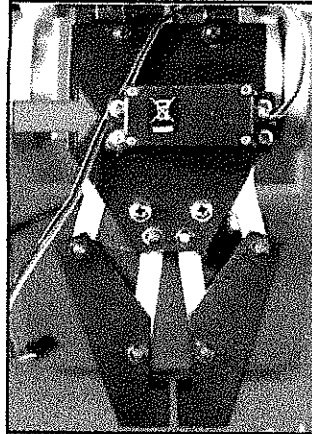


Figura 60. Sensor de posición servomotor del modulo robótico articulado.
Fuente. Autores.

Tipo Variable a Medir: Física de posición.

Efecto físico utilizado para la medición: Eléctrico, resistivo.

Tipo de variable eléctrica que entrega: Analógica.

Aporte de energía: Pasivo.

4.2.3 Actuadores

Base

- **Motor de Transmisión base** (Figura 61)

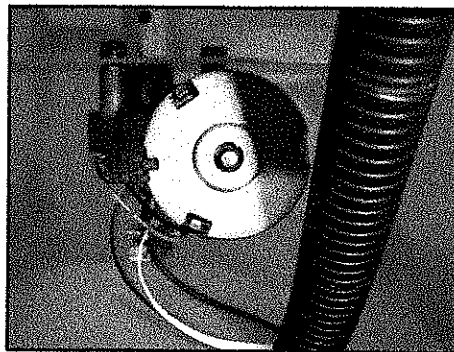


Figura 61. Motor de transmisión base del modulo robótico articulado.
Fuente. Autores.

Voltaje DC: 12 Vdc

Corriente: 2 A

Potencia: 24W

Hombro

- **Motor de Transmisión Hombro** (Figura 62)

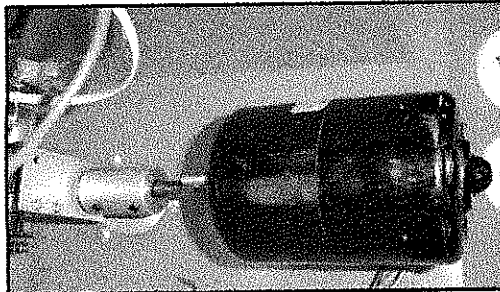


Figura 62. Motor de transmisión hombro del modulo robótico articulado.
Fuente. Autores.

Voltaje DC: 12 Vdc

Corriente: 25 A

Potencia: 300W

Codo

- **Motor de Transmisión Codo** (Figura 63)

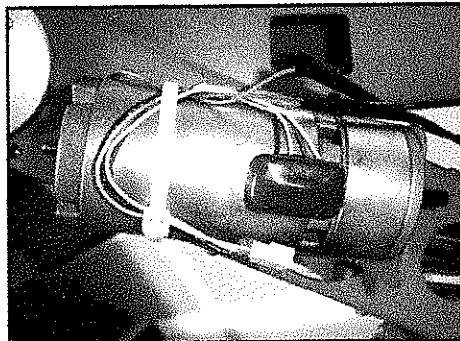


Figura 63. Motor de transmisión codo del modulo robótico articulado.
Fuente. Autores.

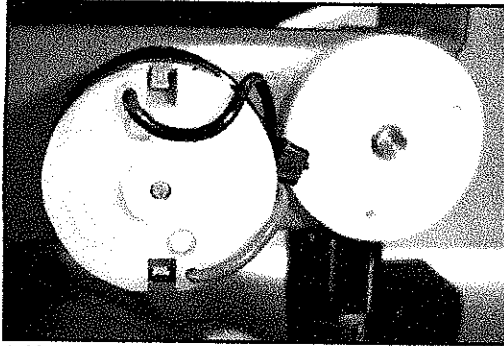
Voltaje DC: 12 Vdc

Corriente: 1A

Potencia: 12W

Muñeca

- ***Motor de Transmisión Muñeca (Figura 64)***



*Figura 64. Motor de transmisión Muñeca del módulo robótico articulado.
Fuente. Autores.*

*Voltaje DC: 12 Vdc
Corriente: 1A
Potencia: 12W*

5. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA PARA ADQUISICIÓN DE LAS SEÑALES DE LOS SENSORES.

5.1 DISEÑO DE LA INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA PARA LA ADQUISICIÓN DE SEÑALES

El criterio de diseño que se tuvo en cuenta se describe en la figura 65, un diagrama de bloques en el cual se contextualiza la idea de instrumentación para la adquisición de señales, estas señales son generadas por los sensores ubicados en cada uno de los módulos robóticos.

Teniendo en cuenta que:

- El modulo robótico cartesiano posee 8 sensores fines de curso, 4 encoder incrementales, 2 sensores motogeneradores y 1 sensor de posición (servomotor). De los cuales la instrumentación que se diseño fueron únicamente para los encoders y motogeneradores, ya que el sensor de posición del servomotor está incorporado en él y su posicionamiento depende de la señal de control que se le aplique. Así mismo los sensores fines de curso de este modulo entregan una señal *On/Off* que no requiere de instrumentación alguna, ya que proporciona señales digitales de 0 y 1 lógicos los cuales se pueden utilizar para la aplicación del control.
- El modulo robótico articulado posee 4 sensores de posición, 2 sensores fines de curso y 1 sensor de posición (servomotor). De los anteriores transductores nombrados la instrumentación se diseño para los cuatro de posición ya que los fines de curso generan señales digitales y el servomotor dependerá únicamente de la señal de control.

Una vez descritos los sensores que generan señales análogas de 0-5Vdc, se procede a detallar cada uno de los pasos y fundamentos que se tuvieron en cuenta para el diseño de la instrumentación electrónica.

Como se puede ver en la figura 65 se tienen seis etapas para el acondicionamiento de las señales.

- a) La primera etapa es la entrada de diferentes señales generadas por los sensores las cuales son de tipo análogo que varían de 0Vdc hasta 5Vdc, este voltaje podrá variar dependiendo de la aplicación.
- b) La segunda etapa es la multiplexación análoga, la cual se hace para la optimización de recursos ya que se proporciona un ahorro de hardware.

- c) La tercera etapa es la amplificación que dependiendo de las características de las señales adquiridas se utilizara como amplificador seguidor y no inversor.
- d) La cuarta etapa es el optoacoplado que brinda una seguridad al circuito de control con respecto al de potencia.
- e) La quinta etapa es el filtro, este elimina posibles ruidos que puedan afectar las señales generadas, que posteriormente serán utilizadas en la etapa de control.

A continuación se puede ver el desarrollo fundamentado en lo teórico-experimental de cada una de las etapas anteriormente mencionadas.

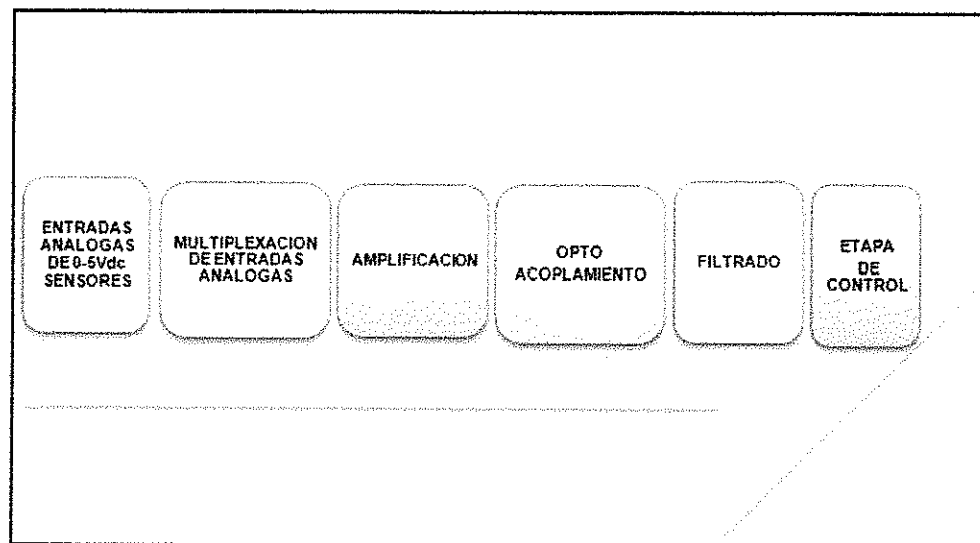


Figura 65. Diagrama de bloques instrumentación para adquisición de señales.
Fuente. Autores.

5.1.1 Entradas análogas de 0 a 5Vdc

En el proceso de investigación se tuvo en cuenta como primera medida conocer y caracterizar cada una de las variables que se debían manipular, para el módulo robótico cartesiano se tiene dos variables a controlar que son la velocidad (motogenerador) y posición (encoders incrementales), mientras en el modulo articulado se tiene una única variable que es la posición. En esta caracterización se reviso la similitud de la documentación entregada por el fabricante de los módulos con la estructura física tanto eléctrica como mecánica, obteniendo un diagnostico real del estado de los módulos.

Los sensores de posición de cada uno de los módulos deben ser debidamente polarizados ya que de esto dependerá la variación proporcional de la señal análoga adquirida.

5.1.1.1 Polarización de los Sensores de Posición (Potenciómetros).

Los potenciómetros utilizados son transductores de posición angular, de tipo absoluto y con salida de tipo analógico. Consiste en una resistencia de hilo bobinado en una pista de material no conductor, distribuida a lo largo de un soporte en forma de arco y un cursor solidario a un eje de salida, que se puede deslizar sobre dicho conductor. El movimiento del eje arrastra el cursor provocando cambios de resistencia entre este y cualquiera de los extremos. Así pues, cuando se alimentan los elementos de la resistencia con una tensión constante, aparece entre la toma media y uno de los extremos una tensión proporcional al ángulo girado a partir del origen¹⁹.

En la figura 66 se muestra un sensor de posición potenciometro 1KΩ con la polarización a 5Vdc y se visualiza en la grafica la variación proporcional de tensión que dependerá del posicionamiento del mismo.

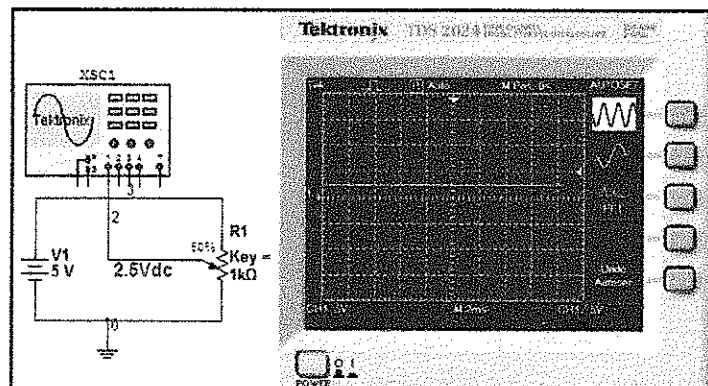


Figura 66. Circuito de polarización de sensores de posición (potenciómetros).
Fuente. Autores.

Fundamentado en la ley de Ohm este potenciometro es un divisor de tensión donde:

$$I_{out} = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} \quad (28)$$

$$\frac{V_{out}}{R_2} = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} \quad (29)$$

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} \times R_2 \quad (30)$$

¹⁹ BALCELLS, Josep y ROMERAL, José Luis, "Autómatas Programables", pag. 120, Barcelona, España. Editorial Marcombo. 1997. ISBN: 84-267-1089-1

Según el circuito de la figura 66 se aplica la ecuación 30 y se tiene:

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} \times R_2 \quad (31)$$

$$V_{out} = \frac{5V_{dc}}{1K\Omega} \times (1K\Omega \times 0.5) \quad (32)$$

$$V_{out} = 2.5V_{dc} \quad (33)$$

$R_1 + R_2$ = Valor del potenciómetro

R_2 = Variación del potenciómetro

En la figura 66 la señal de salida de la variación del potenciómetro es de 2.5Vdc, esta variación es el comportamiento general de los sensores de posición (potenciómetro) del módulo robótico articulado. Se especifica este procedimiento ya que se aplica a los potenciómetros lineales y logarítmicos de valores de 10KΩ y 100KΩ, para así obtener la posición angular de cada una de las articulaciones.

5.1.1.2 Polarización Sensores de Posición (Encoder Incremental).

Los encoders son dispositivos formados por un rotor con uno o varios grupos de bandas opacas y translucidas alternadas por una serie de captadores ópticos alojados en el estator, que detectan la presencia o no de banda opaca frente a ellos. Los encoders incrementales dan un determinado número de impulsos por vuelta²⁰.

El modulo robótico cartesiano posee 4 encoders incrementales de referencia SPX5123-1 (figura 67), no fue posible instrumentarlos ya que no se encontraron especificaciones técnicas y el fabricante no facilitó la información solicitada, se probó la conexión de diferentes maneras llegando a la conclusión que su configuración interna está compuesta por dos fotodiodos, aun así no fue posible lograr su funcionamiento debido a la inusual polarización de dicho encoder.

²⁰ BALCELLS, Josep y ROMERAL, José Luis, "Autómatas Programables", pag.121, Barcelona, España. Editorial Marcombo. 1997. ISBN: 84-267-1089-1

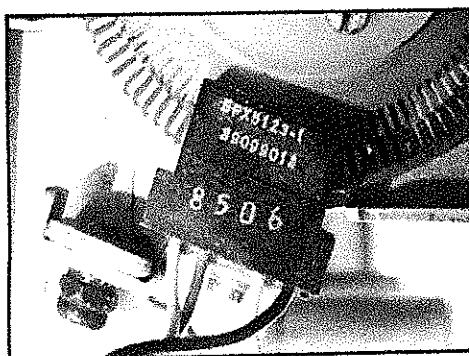


Figura 67. Sensor de posición encoder incremental SPX5123-1
Fuente. Autores.

Es por ello que se implemento el encoder EE-SX493 (Figura 68), con las siguientes características:

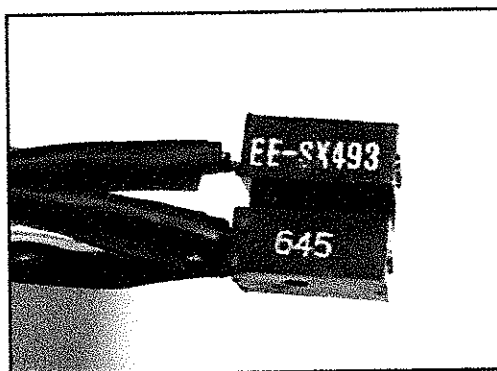


Figura 68. Sensor de posición encoder incremental SX493
Fuente. Autores.

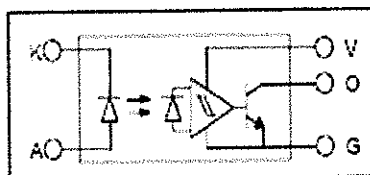


Figura 69. Configuración interna encoder EE-SX493
Fuente. Hoja técnica EE-SX493.OMRON

Tabla 2. Descripción de terminales del encoder EE-SX493

Terminal	Nombre
A	Ánodo
K	Cátodo
V	Vcc
O	Salida
G	Tierra

Fuente. Hoja técnica EE-SX493.OMRON

Este encoder permite la detección de alta precisión con un 0.2 mm de ancho de apertura para el sensado²¹.

Para la polarización se utilizaron 5Vdc que fueron aplicados como se muestra en la figura 70.

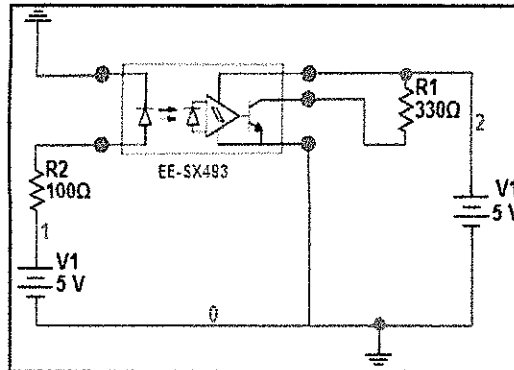


Figura 70. Polarización encoder EE-SX493
Fuente. Autores

Este encoder incremental como se muestra en la figura 71 posee dos señales A y B desfasadas 90° como se muestra la grafica de la figura 72.

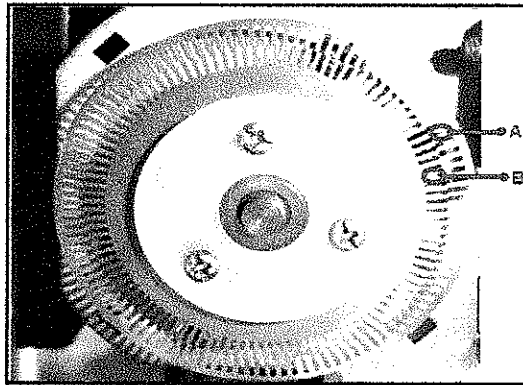


Figura 71. Canales A y B del encoder incremental.
Fuente. Autores

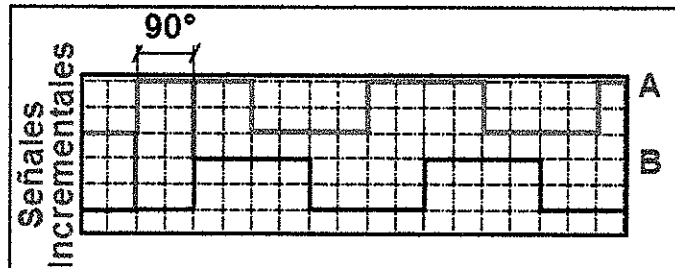


Figura 72. Señales desfasadas 90° de canales A y B del encoder incremental.
Fuente. Autores

²¹ Hoja técnica, EE-SX493,OMRON

La resolución del encoder dependerá del número (N) de divisiones del rotor o, lo que es lo mismo, del número de impulsos por revolución, la resolución es expresada en grados:

$$\text{Resolucion} = \frac{360^\circ}{N} \quad (34)$$

En el modulo cartesiano existen encoders de 110, 45 y 29 divisiones, en este orden se tendrían las siguientes resoluciones:

$$\text{Resolucion} = \frac{360^\circ}{110} = 3.27^\circ \quad (35)$$

$$\text{Resolucion} = \frac{360^\circ}{45} = 8^\circ \quad (36)$$

$$\text{Resolucion} = \frac{360^\circ}{29} = 12.41^\circ \quad (37)$$

La ecuación 35 hace referencia a la resolución de los encoders de 110 divisiones ubicados en el eje X y Y del modulo cartesiano, así como la ecuación 36 describe la resolución del encoder de 45 divisiones ubicado en el eje Z y por último la ecuación 37 corresponde a la resolución del encoder de 29 divisiones del eje Pitch.

5.1.1.3 Sensores de Velocidad Angular (Motogenerador).

Un motogenerador consta de un motor eléctrico y un generador acoplado mecánicamente de manera que el motor hace girar al generador. El motor suministra así la energía mecánica que el generador transforma en energía eléctrica. Las dos maquinas del conjunto suelen estar montadas sobre la misma base actuando como una sola como se puede ver en la figura 73, este motogenerador a voltaje máximo del motor (12Vdc) genera una señal de 700mV y a voltaje mínimo del motor (0Vdc) genera 0Vdc. Lo que nos indica que es una relación proporcional de tensiones.



Figura 73. Motogenerador modulo robótico cartesiano eje Y.
Fuente. Autores

5.1.2 Multiplexación de entradas análogas

5.1.2.1 Descripción multiplexor análogo.

En el diseño de la instrumentación para la adquisición de señales que provienen de los diferentes sensores de los módulos se tuvo en cuenta la multiplexación análoga logrando con ello un ahorro de hardware. El multiplexor análogo que se utilizó es el MPC506A de fabricante Burr Brown, este dispositivo tiene la capacidad de multiplexar 16 canales de entrada con una única salida. Internamente este multiplexor posee un decodificador/controlador digital que es el encargado de elegir la entrada análoga por medio de unos pines de selección que se habilitan de acuerdo a su nivel lógico de entrada como se muestra en la tabla 3. En la figura 74 se puede visualizar el diagrama funcional del MUX. La principal ventaja que presentan los multiplexores analógicos, frente a los digitales, es su carácter bidireccional, lo que permite que cada terminal del multiplexor sea posible usarlo como entrada o como salida y el manejo de señales analógicas en vez de digitales. Esto garantiza tener un numero n de entradas y un numero 2^n salidas.

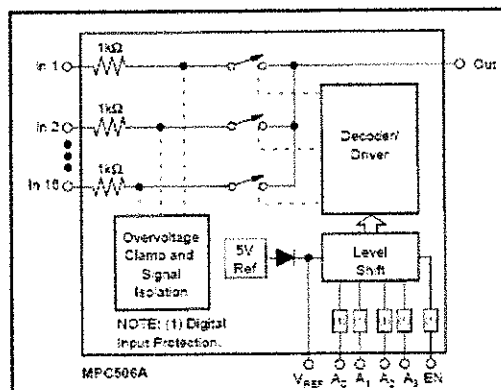


Figura 74. Diagrama Funcional del MPC506A
Fuente. Hoja Técnica MPC506A

Tabla 3. Tabla de Verdad del Multiplexor MPC506A

A_3	A_2	A_1	A_0	EN	ON Channel
X	X	X	X	L	None
L	L	L	L	H	1
L	L	L	H	H	2
L	L	H	L	H	3
L	L	H	H	H	4
L	H	L	L	H	5
L	H	L	H	H	6
L	H	H	L	H	7
L	H	H	H	H	8
H	L	L	L	H	9
H	L	L	H	H	10
H	L	H	L	H	11
H	L	H	H	H	12
H	H	L	L	H	13
H	H	L	H	H	14
H	H	H	L	H	15
H	H	H	H	H	16

Fuente. Hoja Técnica MPC506A

5.1.2.2 Simulación del Multiplexor Análogo.

Para las simulaciones se utilizó el software *MULTISIM 10* del fabricante *National Instruments NI*. Se realizaron los diseños en este programa por facilidad para la fabricación de los PCB (Circuitos Impresos).

En la figura 75 se muestra el circuito básico de conectividad del MUX. En este se encuentran habilitadas cuatro entradas análogas simuladas con un generador de onda cuadrada.

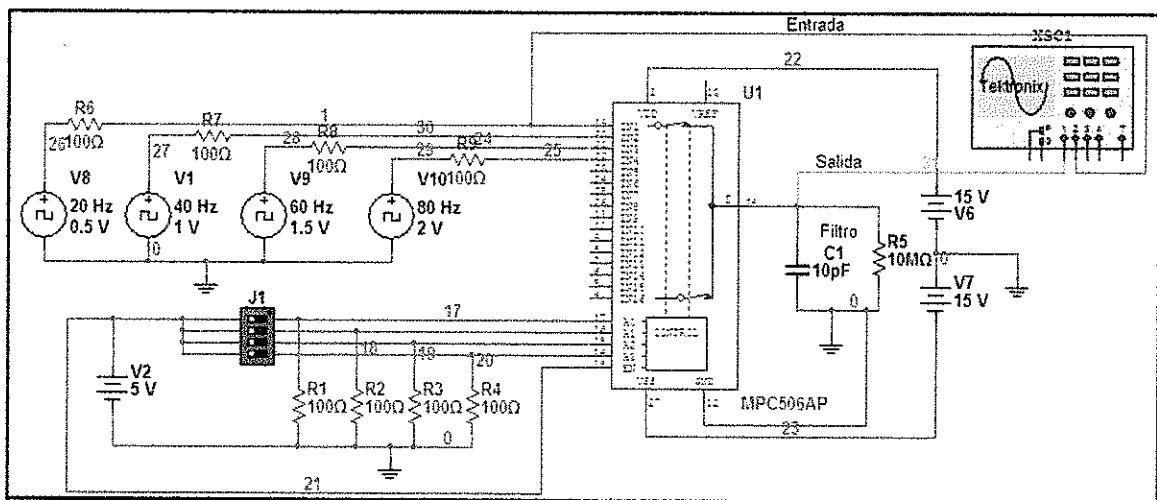


Figura 75. Simulación del multiplexor análogo MPC506A

Fuente. Autores

Para la simulación se varían las entradas de nivel lógico de control, se muestra en la figura 76 la señal generada cuando en las cuatro entradas de control se tienen ceros lógicos (ver tabla 3), lo cual habilita la entrada análoga 1 que se encuentra en el pin 19 del MUX. La señal amarilla es la salida y la señal azul es la entrada.

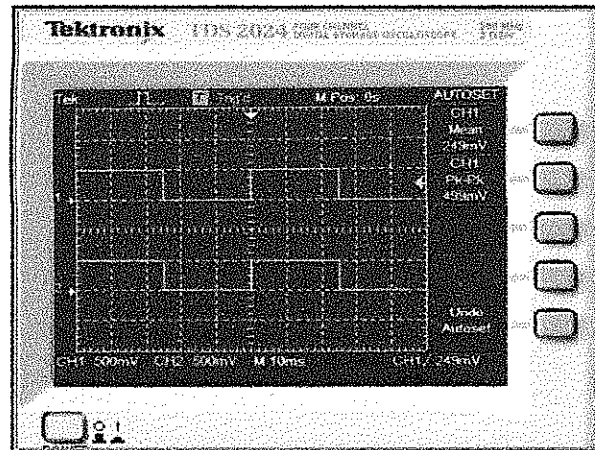


Figura 76. Señal generada de la simulación del multiplexor análogo MPC506A
Fuente. Autores

El fabricante en la hoja técnica sugiere implementar un filtro a la salida del MUX ya que la conmutación interna de la multiplexación produce ruidos que afectan la señal de salida con respecto a la de entrada. El filtro lo compone una red RC.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (38)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi(10pF)(10M\Omega)} = 1591Hz \quad (39)$$

5.1.2.3 Diseño de niveles lógicos para selección de entradas del MCP506A

El multiplexor cuenta con cuatro pines para el control de la selección de las entradas análogas, las cuales son nombradas como A_0 , A_1 , A_2 y A_3 , que corresponde respectivamente a los pines 17, 16, 15 y 14. Y así mismo un habilitador (EN) en el pin 18 del MUX.

La generación de niveles lógicos para dichas entradas se realizó con el microcontrolador *MC68HC908JK3*, este posee quince puertos de entrada y salida lo que es suficiente para esta aplicación, teniendo la referencia de su fácil programación y que la facultad posee los programadores de dicho integrado. Este μc se habilitó como se muestra en la figura 77 para que los puertos $PTB0$, $PTB1$, $PTB2$ y $PTB3$ sean los encargados de enviar los 0 y 1, para las diferentes selecciones de los 16 canales de entrada del MUX, como se muestra en la tabla 3; el $PTB7$ es el habilitador del multiplexor.

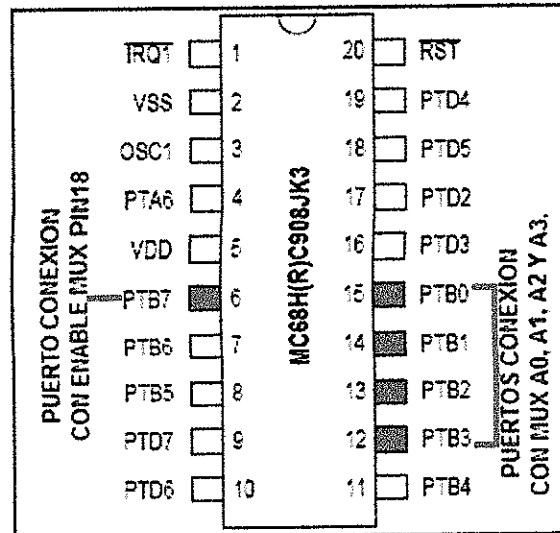


Figura 77. Puertos habilitados para generación de niveles lógicos del MUX
Fuente. Autores

En el diseño de los niveles lógicos para el MUX se crearon dos diagramas de flujo (figuras 78 y 79), donde se especifica la rutina de programación y del retardo de 1seg.

Programa del Microcontrolador MC68HC908JK3

El programa se divide en seis etapas.

1.) Se hace el inicio de segmento de Memoria RAM JK3, ROM JK3 y del vector de Utilidades JK3. Se agrega la librería del MC68HC908JK3 (figura 80).

```

RAMStart    EQU    $0080
RomStart    EQU    $EC00
VectorStart  EQU    $FFDE

$include 'j13regs.inc'

                org    RamStart

COPD        equ    0
A           ds      1
B           ds      1
C           ds      1

                org    RomStart

```

Figura 80. Inicios de memorias y asignación de librerías.
Fuente. Autores

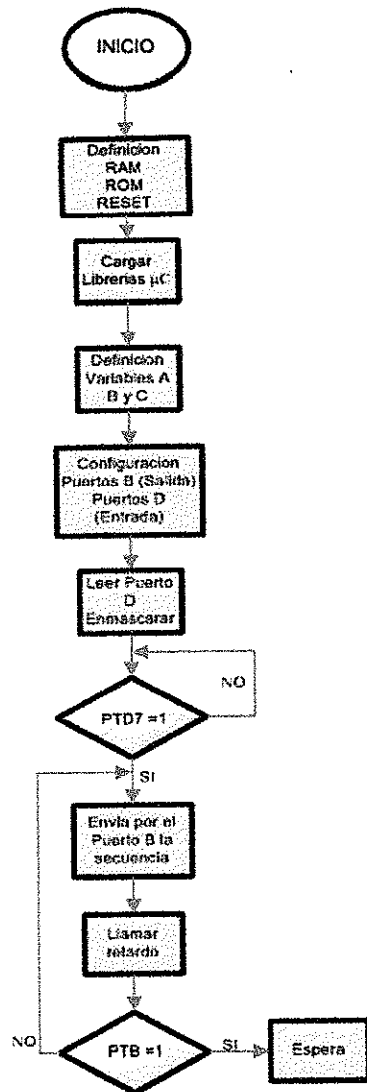


Figura 78. Diagrama de flujo programación del µC
Fuente. Autores

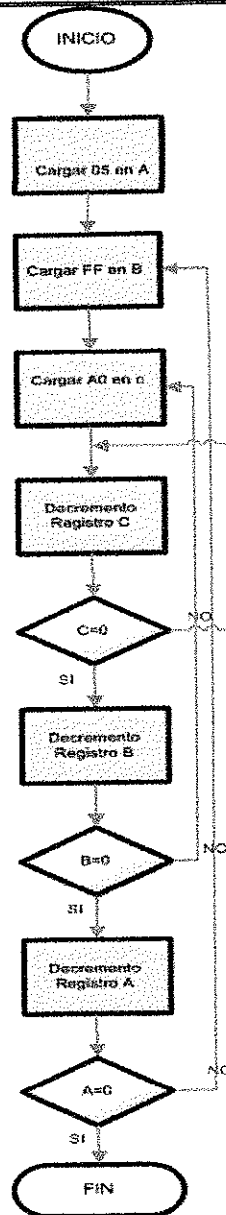


Figura 79. Diagrama de flujo rutina de retardo 1seg.
Fuente. Autores

2.) La segunda etapa es el inicio del programa principal, donde se inicializa puntero de pila, se deshabilita el Watchdog, se dan las condiciones iniciales de 0 para el registro acumulador A y HX. Se configuran los puertos, el PORTD como una entrada digital, el PORTB como una salida digital y se deshabilita el Enable del MUX (figura 81).

```

Main_Init:
    rsp
    bset    COPD, CONFIG1
    clra
    clrx

    mov     #$00, DDRD
    mov     #$ff, DDRB
    mov     #$00, PORTD
    bclr    7, PORTB

```

Figura 81. Inicio de programa principal.
Fuente. Autores

3.) La tercera etapa es la espera de la orden de inicio de Arranque de multiplexación cada 1 segundo, donde se hace la lectura del puerto D, se enmascara el dato del puerto D para asegurar el dato único en el bit 7 después de que el dato en el bit 7 es 1 salta a la rutina MUX (figura83), si este no salta a la rutina MUX vuelve a repetir esta etapa (figura 82).

```

Espera:
    lda     PORTD
    and     #$80
    brset   7, PORTD, MUX
    jmp     Espera

```

Figura 82. Espera para orden de inicio de multiplexación
Fuente. Autores

4.) La etapa cuatro se describe como la rutina de multiplexación cada 1 segundo, donde se habilita el bit 7 del puerto B que es el enable del MUX enseguida se envía el dato 00 al PORTB0 para la selección del canal de entrada 1 del MUX, en seguida se hace el llamado a la subrutina de retardo de 1 segundo, luego se deshabilita el enable del MUX, para seguir en la rutina de habilitación del bit 7 y envió del dato 01 para la selección del canal de entrada 2 y así sucesivamente se repite esta etapa hasta la selección del canal de entrada 4 del MUX.

```

MUX:
    bset    7, PORTB
    mov     #$80, PORTB
    jsr     DELAY
    bclr    7, PORTB
    mov     #$81, PORTB
    jsr     DELAY
    bclr    7, PORTB
    mov     #$82, PORTB
    jsr     DELAY
    bclr    7, PORTB
    mov     #$83, PORTB
    jsr     DELAY
    bclr    7, PORTB
    mov     #$84, PORTB
    jsr     DELAY
    bclr    7, PORTB

```

Figura 83. Rutina de multiplexación.
Fuente. Autores

5.) La quinta etapa es la deshabilitación de la multiplexación análoga, en esta se lee el puerto D, se enmascara el dato del PORTD y salta a espera (figura 82) si el bit 7 del PORTD es 1, si este dato es 0 entra a la rutina de multiplexación (figura 83).

```

lda     PORTD
and     #$80
brset   7, PORTD, Espera
jmp     MUX

```

Figura 84. Deshabilitación de multiplexación.
Fuente. Autores

6.) La sexta etapa es la rutina de retardo de 1 segundo, se cargan los valores 05, FF y A0 en las variables A, B y C, se decrementan los registros A, B, C y se hace retorno de subrutina figura 85.

DELAY:	mov	#S05, A
TRES:	mov	#SFF, B
DOS:	mov	#SA0, C
UNO:	dbnz	C, UNO
	dbnz	B, DOS
	dbnz	A, TRES
	rts	

Figura 85. Rutina de retardo de 1 segundo.
Fuente. Autores

Calculo del retardo de 1 segundo

El microcontrolador MC68HC908JK3 tiene una frecuencia de oscilación de 4MHz, una frecuencia de instrucción que es equivalente a ¼ de la frecuencia de oscilación es decir 1MHz y por lo tanto un ciclo de instrucción equivalente a 1µseg

$$\begin{aligned}
 F_{osc} &= 4\text{MHz} \\
 F_{inst} &= 1\text{MHz} \\
 \text{Ciclo de Instruccion} &= T_i = 1\mu\text{seg}
 \end{aligned}
 \tag{40}$$

Respectivamente según el programa deben asumir lo valores de las instrucciones correspondientes a la rutina de retardo de 1 segundo.

$$\begin{aligned}
 dbnz &= 5 \text{ ciclos de instruccion} \\
 mov &= 4 \text{ ciclos de instruccion} \\
 rts &= 4 \text{ ciclos de instruccion}
 \end{aligned}
 \tag{41}$$

Con estos valores se puede calcular el valor de la variable A ya que los valores de las variables B y C se asumieron con 255 y 160.

$$\begin{aligned}
 B &= 255 \\
 C &= 160 \\
 t_{calculado} &= 1\text{segundo}
 \end{aligned}$$

$$t_{calculado} = 4T_i + A[4T_i + B\{4T_i + C(5T_i) + 5T_i\} + 5T_i] + 4T_i \tag{42}$$

$$t_{calculado} = 8T_i + A[9T_i + B\{9T_i + C(5T_i)\}]$$

$$A = 1\text{seg} = 8T_i + A[9T_i + B\{9T_i + C(5T_i)\}] \tag{43}$$

$$A = \frac{1\text{seg} - 8Ti}{9Ti + 255\{9Ti + 160(5Ti)\}}$$

$$A = \frac{1\text{seg} - 8(1\mu\text{seg})}{9(1\mu\text{seg}) + 255\{9(1\mu\text{seg}) + 160(5\mu\text{seg})\}}$$

$$A = \frac{1\text{seg} - 8(1\mu\text{seg})}{9(1\mu\text{seg}) + 255\{9(1\mu\text{seg}) + 160(5\mu\text{seg})\}}$$

$$A = \frac{0.999992}{0.206304} = 4,847176 \approx 5$$

Los cálculos realizados en las ecuaciones 42 y 43 permitieron que la multiplexación se produjera cada 1 segundo. Con este diseño se procedió al montaje del multiplexor y el microcontrolador como se muestra en la figura 86.

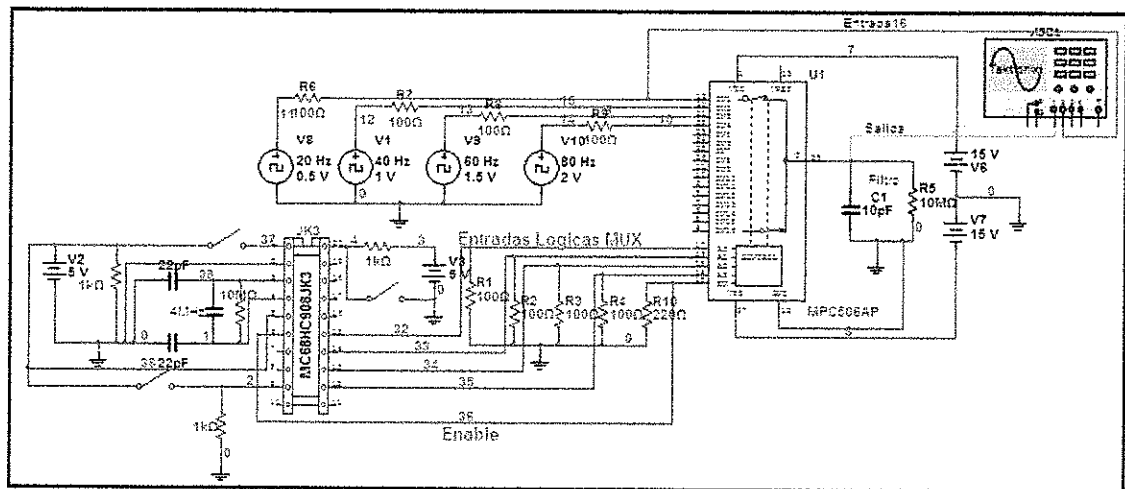


Figura 86. Multiplexor MPC506A con los niveles lógicos habilitados en el JK3.
Fuente. Autores

La implementación del circuito prototipo se puede ver en la figura 87 y la generación de la señales de niveles lógicos que entrega el microcontrolador en la figura 88.

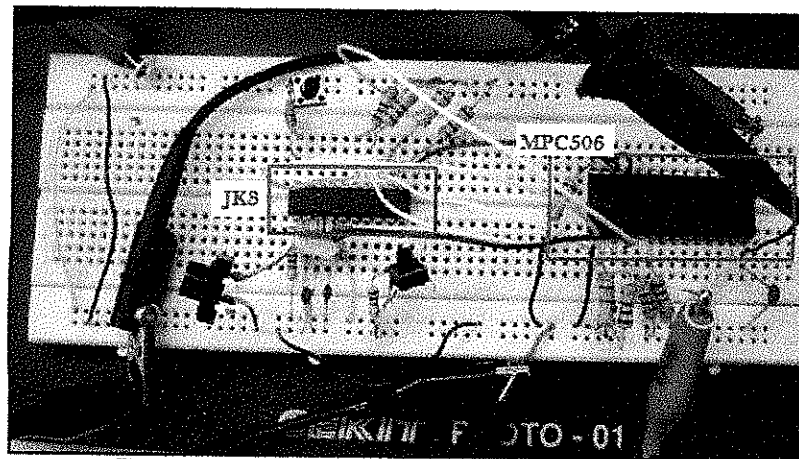


Figura 87. Circuito Prototipo de multiplexor con niveles lógicos.
Fuente. Autores

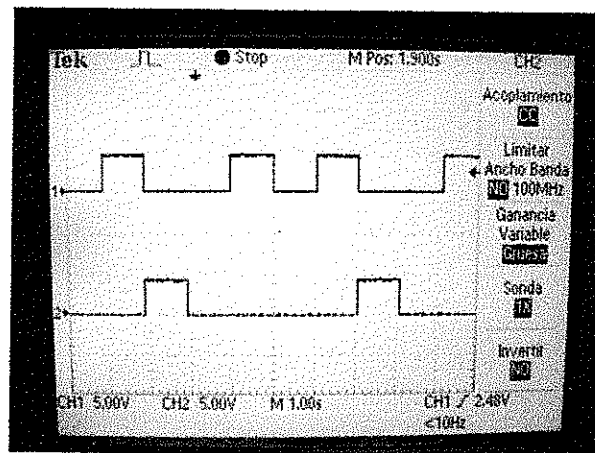


Figura 88. Señal generada niveles lógicos.
Fuente. Autores

5.1.3 Amplificación de señales análogas

En el diseño de esta etapa se utilizaron amplificadores operacionales, estos tienen unas características especiales para ser utilizados en la instrumentación electrónica, ya que están constituidos por una etapa con alta impedancia de entrada, una etapa con voltaje de alta ganancia y una etapa con impedancia de salida baja. La mayor parte de AO (amplificadores operacionales) consta de veinte transistores y resistencias que están incorporados en un solo microcircuito integrado. En este caso se utilizó el AO LF353, es un amplificador dual JFET (Junction Field-Effect Transistor), con especificaciones técnicas apropiadas para este diseño, este posee una alta impedancia de entrada, gran ancho de banda, trabaja con corriente mínima de entrada y su velocidad de operación es alta; estos datos están descritos en la tabla 4.

Tabla 4. Características Técnicas del AO LF353.

Parámetros	Valor
Tensión de Alimentación (V_{CC})	$\pm 18V_{dc}$
Rango de Operación de Temperatura (T_{OPR})	$0^{\circ} \sim +70^{\circ}$
Relación modo de rechazo común (CMRR)	70 dB
Velocidad de operación (SR)	13 V/ μs
Ancho de banda	4MHz
Corriente de entrada	50pA
Impedancia de entrada	$10^{12} \Omega$

Fuente. Hoja Técnica LF353

5.1.3.1 Amplificador Seguidor

La instrumentación electrónica del modulo robótico articulado está compuesta por un amplificador de configuración seguidor, se eligió este ya que se requería un acople de impedancias, esto teniendo en cuenta que el multiplexor tiene internamente resistencia de el valor de $1K\Omega$ y las impedancias de entrada pueden ser altas y este amplificador nos asegura el acople necesario.

El seguidor de voltaje diseñado viene configurado de tal manera que se conecta la entrada inversora a la salida del AO, la entrada del voltaje V_{in} proveniente del multiplexor se conecta a la no inversora y la salida V_{out} del AO es la suma del voltaje de entrada y la diferencia de voltaje de la inversora y no inversora V_s , si el voltaje de salida no está en un límite, V_s es muy pequeño. Por tanto $V_{out} = V_{in}$ y el voltaje de salida sigue al voltaje de entrada²².

$$V_{out} = V_{in} \quad (44)$$

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 \quad (45)$$

Aunque este diseño tiene ganancia unitaria, la salida de potencia es muy grande porque los amplificadores operacionales pueden tener impedancias de entradas altas, pero bajas impedancias de salidas. Se podrá obtener la relación de ganancia de potencia con la ecuación 46.

²² SKOOG, Douglas, HOLLER, James y CROUCH, Stanley, "Principios de análisis instrumental", pag.63. Editorial Cengage. Sexta edición. 2001

$$\text{Ganancia de Potencia} = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{i_{out}v_{out}}{i_{in}v_{in}} = \frac{v_{out}^2/Z_{out}}{v_{in}^2/Z_{in}} = \frac{Z_{in}}{Z_{out}} \quad (46)$$

En la figura 89 se presenta el circuito del amplificador seguidor que se utilizó para la instrumentación de las entradas del módulo robótico articulado.

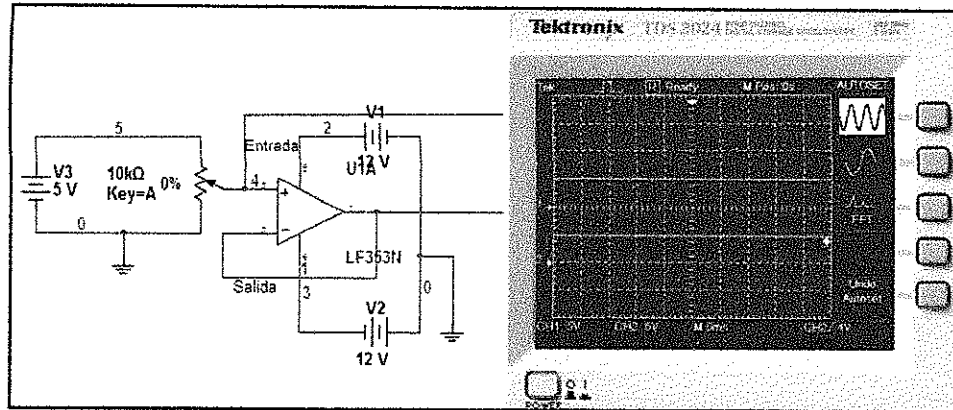


Figura 89. Circuito simulado del amplificador seguidor.
Fuente. Autores

En la anterior figura se simuló la entrada del amplificador con un potenciómetro de 10KΩ este se asume como cualquier sensor de posición del robot articulado, mostrando a la entrada 5Vdc y la salida del AO 5Vdc.

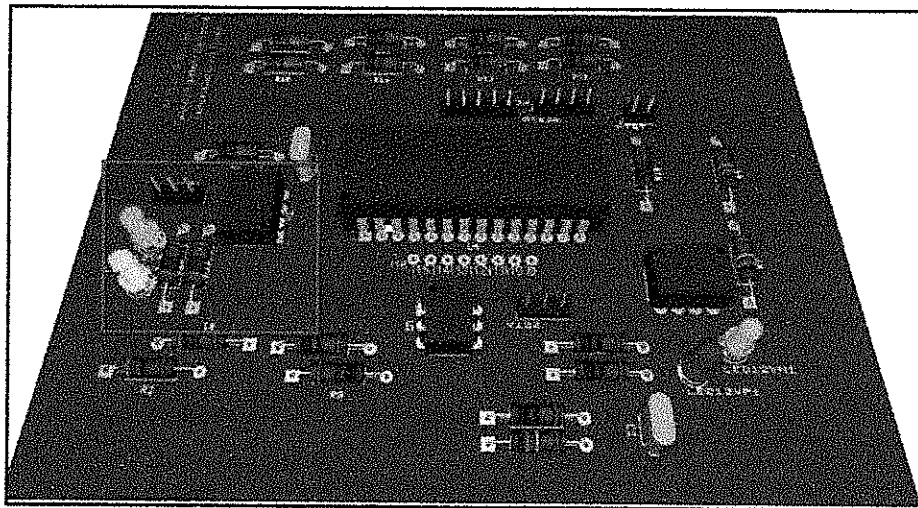


Figura 90. Circuito prototipo del amplificador seguidor.
Fuente. Autores

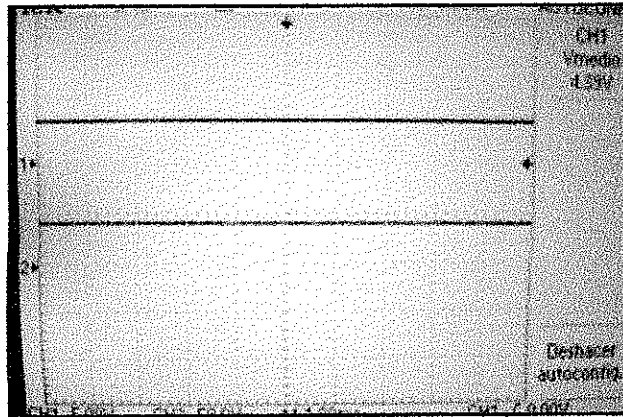


Figura 91. Señal generada del amplificador seguidor.
Fuente. Autores

5.1.3.2 Amplificador no inversor.

Para el diseño de la instrumentación electrónica del modulo robótico cartesiano se implemento un amplificador operacional no inversor. Su configuración se basa en que la entrada del amplificador es por la no inversora. Y su ganancia es descrita como se muestra en la ecuación 47, donde dependerá del valor de la resistencia de la entrada inversora con respecto a la de realimentación.

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 + \frac{R_f}{R_a} \quad (47)$$

$$A = \frac{5V_{dc}}{700mV} = 1 + \frac{R_f}{1K\Omega} \quad (48)$$

$$7.14 - 1 = \frac{R_f}{1K\Omega} \quad (49)$$

$$6.14 = \frac{R_f}{1K\Omega} \quad (50)$$

$$6.14(1000\Omega) = R_f \quad (51)$$

$$R_f = 6.14K\Omega \approx 6.19K\Omega \quad (52)$$

Se asumió un valor de ganancia de 6.14 ya que el motogenerador entrega un valor de 700mV que es necesario amplificarlo para obtener así 5Vdc a la salida del no inversor, el cálculo de la resistencia de realimentación se ve en la ecuación 52. Con estos valores se simula el diseño mostrado en la figura 92 y 93.

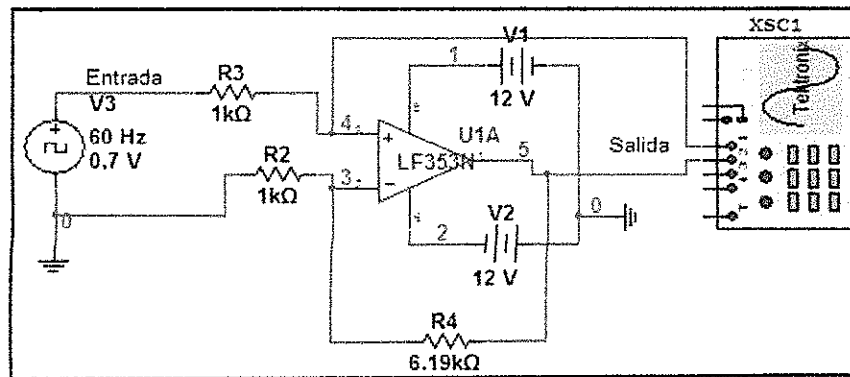


Figura 92. Circuito simulado del amplificador no inversor
Fuente. Autores

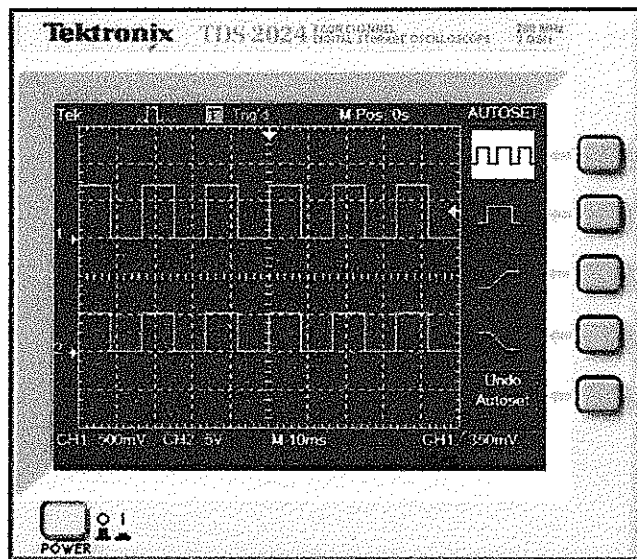


Figura 93. Señal generada del amplificador no inversor.
Fuente. Autores

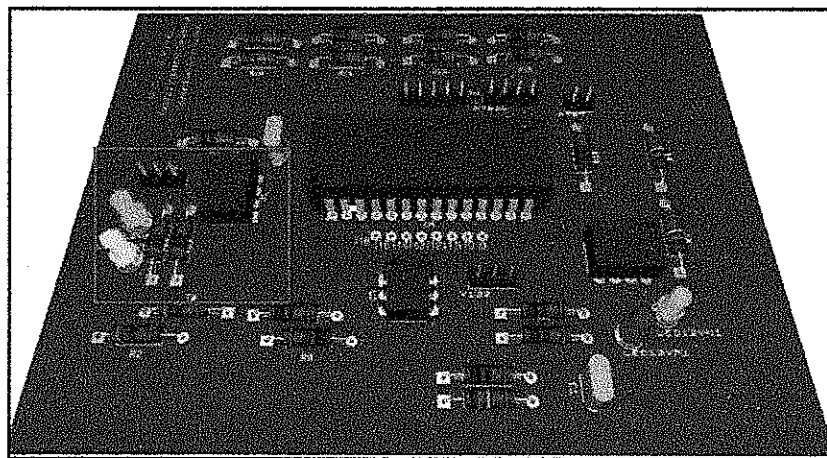


Figura 92.A. Circuito prototipo del amplificador no inversor
Fuente. Autores

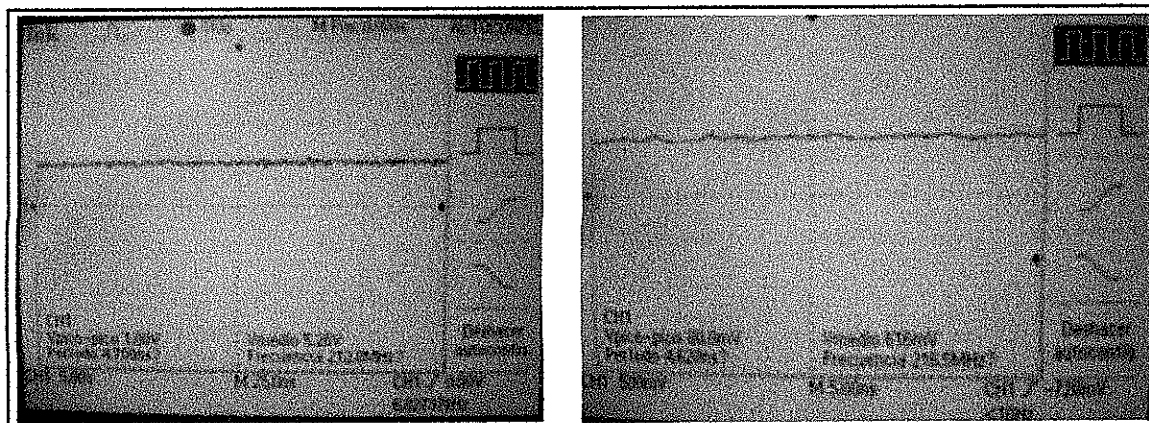


Figura 93.A. Señal generada del amplificador no inversor, salida y entrada.
Fuente. Autores

5.1.4 Optoacoplamiento Análogo

El optoacoplamiento implementado para el diseño de la instrumentación electrónica de los módulos robóticos se realiza para el aislamiento de las señales provenientes de los sensores, con el sistema de control. Para la elección del circuito integrado se tuvo en cuenta que la variación del valor del sensor fuera proporcional a la salida del elemento óptico, se efectuaron las pruebas con el 4N25, logrando tener la señal proporcional que se necesitaba. Este optoacoplador posee internamente un led infrarrojo de arseniuro de galio, que es excitado por una corriente de 10mA a 60mA. Esta luz emitida por el led es recibida por la base del foto transistor, obteniendo así un voltaje de salida que se toma en el emisor del mismo. En la tabla 5 se relacionan las características técnicas más relevantes de dicho integrado.

Tabla 5. Características Técnicas del Optoacoplador 4N25

Parámetros	Valor
Corriente de excitación led (I_f)	10mA - 60mA
Voltaje Ánodo – Cátodo	1.15Vdc
Voltaje colector-emisor	30Vdc
Longitud de onda led AsGa	904nm
Rango de operación de temperatura T_A	-55°C a +100°C

Fuente. Hoja técnica 4N25

Es importante tener en cuenta que se debe conectar una resistencia en serie con el ánodo del led, tiene una relación directa con la corriente necesaria para que el emisor excite el fototransistor receptor, y así mismo si se supera el rango de corriente el led no emitirá la luz ya que sobrepasara el límite de operación, se dañara y aislara el sistema de potencia con el de control. En la figura 94 se presenta el esquema de este diseño, con los valores calculados en la ecuación 53.

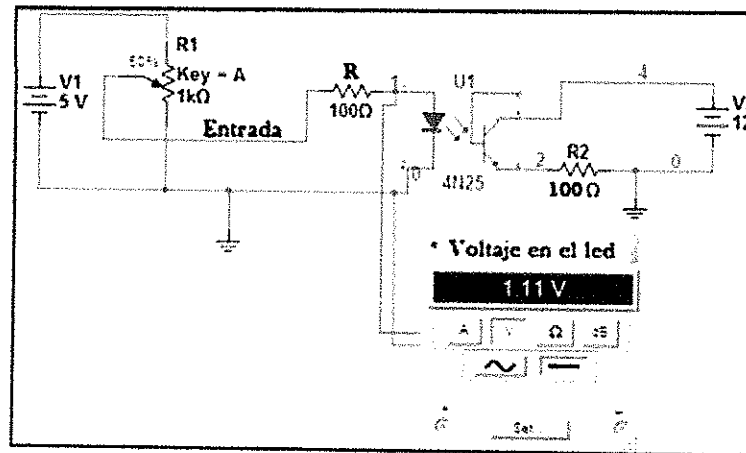


Figura 94. Configuración del optoacoplamiento
Fuente. Autores

Las características del circuito mostrado en la figura 94 son las siguientes:

$$\text{Voltaje de entrada} = E = 2.5Vdc$$

$$\text{Voltaje del led} = Vf = 1.11Vdc$$

$$\text{Corriente de operacion} = If = 13.8mA$$

$$R = \frac{(E-Vf)}{If} = \frac{2.5Vdc-1.11Vdc}{13.8mA} = 100.72\Omega \approx 100\Omega \quad (53)$$

También se debe tener en cuenta el valor que se quiere obtener en el emisor del fototransistor ya que se debe conectar una resistencia, el valor de ella determinara la tensión de salida. La resistencia del emisor se calculo en la ecuación 54 ya que la corriente es de 50mA y el voltaje de salida es de 5Vdc.

$$V = IR \quad (54)$$

$$R = \frac{V}{I} \quad (55)$$

$$R = \frac{5Vdc}{50mA} = 100\Omega \quad (56)$$

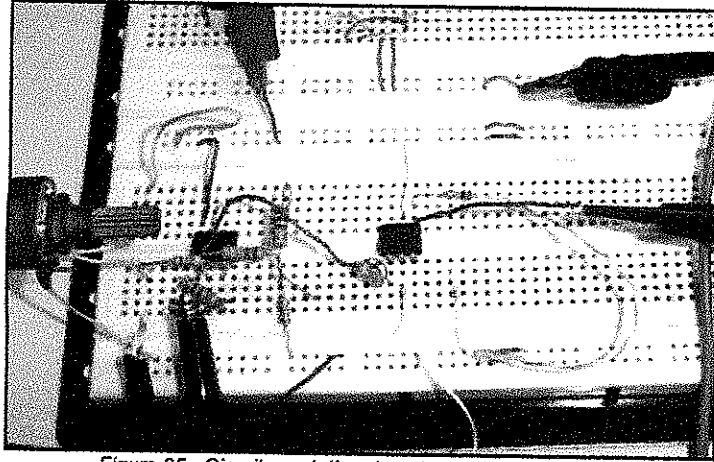


Figura 95. Circuito prototipo de optoacoplamiento 4N25.
Fuente. Autores

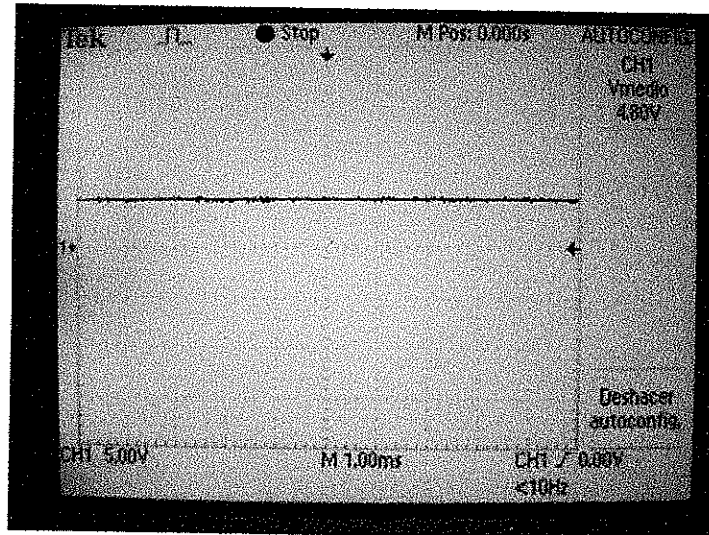


Figura 96. Señal generada del circuito prototipo de optoacoplamiento 4N25.
Fuente. Autores

5.1.5 Filtro Pasa Bajo

En la instrumentación se diseñaron filtros pasa bajos, estos no permitirán el paso de frecuencias superiores a la de 100Hz, procedentes de la conmutación de los interruptores del multiplexor, la red eléctrica y el optoacoplamiento.

El filtro fue diseñado con el circuito integrado LF353 ya que posee las características necesarias para dicha tarea, estas se muestran en la tabla 4. En la ecuación 57 se pueden ver los cálculos de la resistencia del filtro y así mismo el cálculo para obtener una ganancia unitaria.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (57)$$

$$f_c * 2\pi * C = \frac{1}{R} \quad (58)$$

$$R = \frac{1}{2\pi * f_c * C} \quad (59)$$

$$R = \frac{1}{2\pi * 100\text{Hz} * 0.01\mu\text{F}} \quad (60)$$

$$R = 159154\Omega \approx 160\text{K}\Omega \quad (61)$$

Y la ganancia unitaria

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 + \frac{R_f}{R_a} \quad (62)$$

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 + \frac{150}{150\text{k}\Omega} = 1.001 \approx 1 \quad (63)$$

En las figuras 97 y 98 se puede ver la diferencia del funcionamiento del filtro a frecuencias superiores e inferiores a la de corte, mostrando la entrada (señal color amarillo) y la salida (señal color azul).

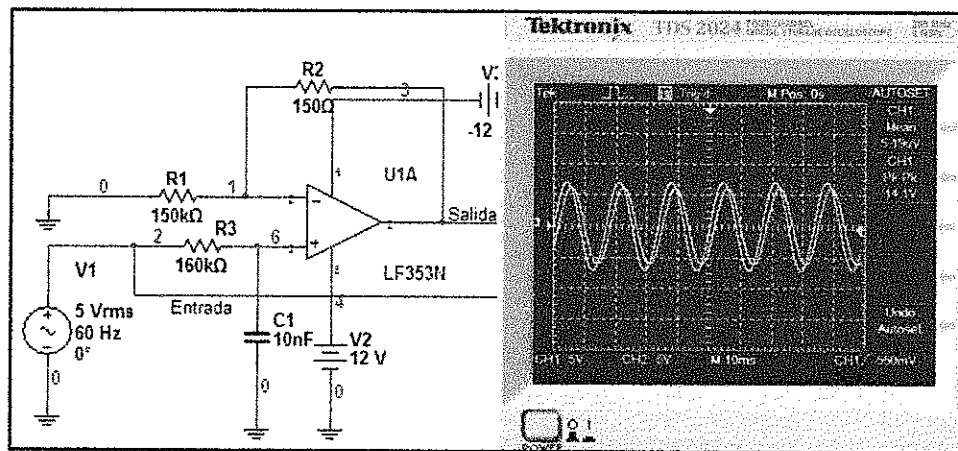


Figura 97. Señal generada del filtro pasa bajas a 60Hz.
Fuente. Autores.

Para el filtro de la señal proveniente de los sensores encoders del modulo cartesiano fue necesario realizar un filtro basa bajo con una frecuencia de corte de 200Hz. Ya que la frecuencia generada por el encoder es de 138Hz. En la ecuación 64 se muestra dichos cálculos.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (64)$$

$$f_c * 2\pi * C = \frac{1}{R} \quad (65)$$

$$R = \frac{1}{2\pi * f_c * C} \quad (66)$$

$$R = \frac{1}{2\pi * 200\text{Hz} * 0.01\mu F} \quad (67)$$

$$R = 79577\Omega \approx 80K\Omega \quad (68)$$

5.1.6 Conversor de frecuencia a voltaje

Para el diseño de la instrumentación del sensor de posición *EE-SX493* se empleo el circuito integrado *LM2907*, este dispositivo permite obtener una señal de voltaje en un tren de pulsos proporcional a la variación de la frecuencia. Este convertidor está constituido por amplificadores operacionales que presentan una alta ganancia y además están configurados como comparadores. En cuanto a las características eléctricas se describen en la tabla 6.

Tabla 6. Características Técnicas del conversor frecuencia voltaje

Parámetros	Valor
Voltaje máximo (Vcc)	28Vdc
Corriente máxima	25mA
Voltaje colector	28Vdc
Entrada diferencial de voltaje Tacómetro	28Vdc
Temperatura	25°C
Disipación de potencia	1200 mW

Fuente. Hoja técnica LM2907

Es necesario despejar de la ecuación 69 el valor de la resistencia ya que el voltaje de salida del conversor frecuencia a voltaje debe ser de 5Vdc y el valor de la frecuencia de entrada (encoder) es de 148Hz como se ve en la figura 101.

$$V_{out} = f_{in} \times V_{cc} \times R_1 \times C_1 \quad (69)$$

$$R_1 = \frac{V_{out}}{f_{in} \times V_{cc} \times C_1} \quad (70)$$

$$R_1 = \frac{5V_{dc}}{148Hz \times 12V_{dc} \times 0.01\mu F} = 281531\Omega \quad (71)$$

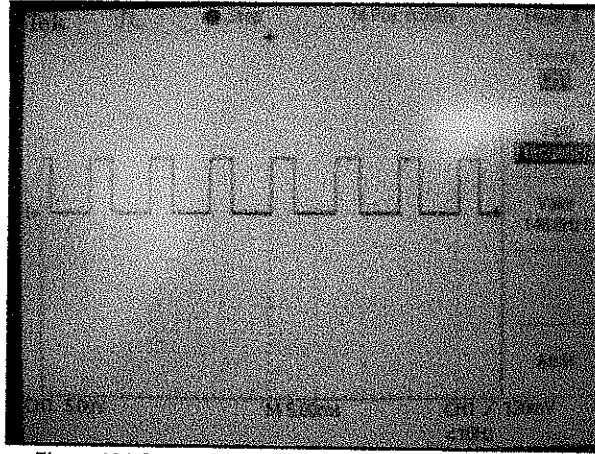


Figura 101. Señal de frecuencia del sensor encoder SX493

La configuración del circuito convertor de frecuencia a voltaje se puede ver en la figura 102.

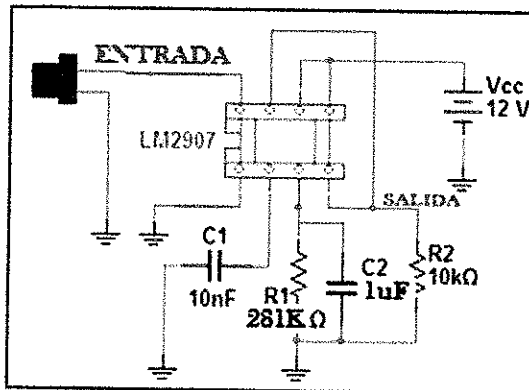


Figura 102. Configuración del convertor frecuencia a voltaje LM2907
Fuente. Autores.

La señal de salida se ve en la figura 103, donde se puede visualizar el valor de voltaje que entrega el encoder SX 493.

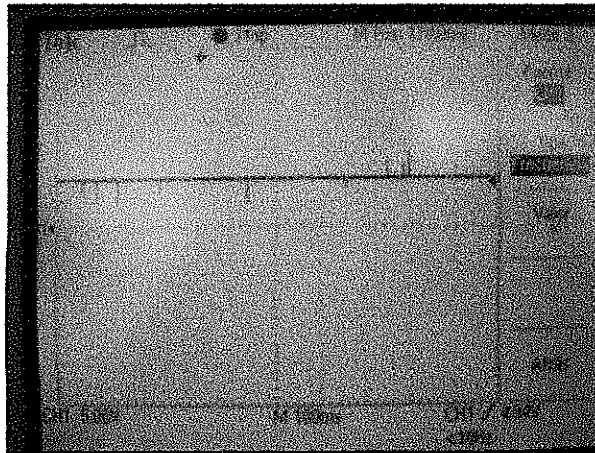


Figura 103. Señal generada del conversor frecuencia a voltaje LM2907
Fuente. Autores.

5.1.7 Implementación del prototipo de instrumentación para la adquisición de señales del Modulo Robótico Articulado.

En el modulo robótico articulado se tienen cuatro sensores potenciométricos los cuales generan una señal proporcional a la variación de la posición de las articulaciones, dichas señales entran a un multiplexor que dependiendo del canal seleccionado por el nivel lógico de control saldrán una a una e ingresaran posteriormente a un amplificador configurado como seguidor, esto con el fin de que haga un acople de impedancias, la salida de dicho amplificador entrara a un optoacoplamiento, y su función será aislar el sistema de potencia con el de control, luego de este proceso ingresara a un filtro pasa bajo el cual atenuara las frecuencias superiores a 100Hz, el fin es filtrar el ruido proveniente de la red eléctrica, multiplexación y optoacoplamiento. El sistema general de instrumentación para la adquisición de señales del modulo se ve en la figura 104.

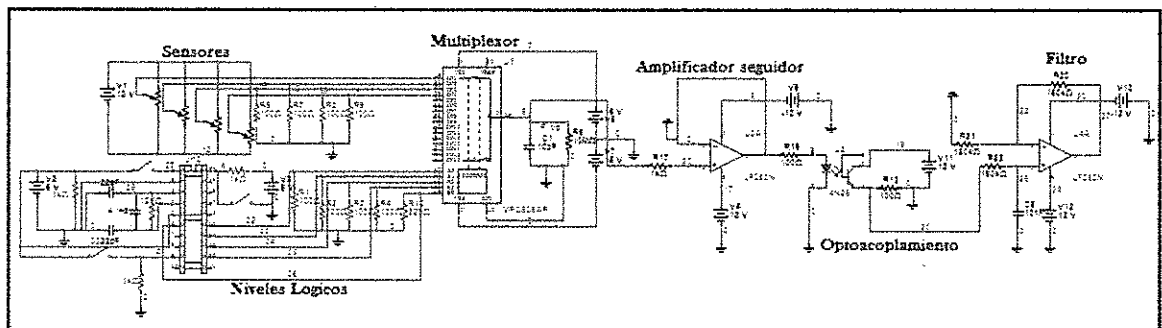


Figura 104. Instrumentación para la adquisición de señales del modulo robótico articulado
Fuente. Autores

5.1.8 Implementación del prototipo de instrumentación para la adquisición de señales del Modulo Robótico Cartesiano.

En el modulo robótico cartesiano existen dos tipos de entradas provenientes de los sensores, la del motogenerador que es una variación de voltaje de 0 a 700mV y la del sensor encoder el cual entrega una señal de frecuencia. Cada una de ellas ingresa a un multiplexor, su instrumentación varia un poco por que la tensión del motogenerador debe ser amplificada, mientras que la frecuencia entregada por el encoder debe ser convertida a voltaje.

Existen cuatro motogeneradores en el modulo robótico, estas ingresan una a una al multiplexor, ingresan al amplificador no inversor de ganancia de 10, se optoacoplan estas señales y se filtran para ser adquiridas por el sistema de control. Las señales de los cuatro encoders ingresan al multiplexor, luego son convertidas a voltaje por el CI LM2907, posteriormente ingresan al acople de impedancias que realiza el amplificador seguidor, se optoacoplan y se filtran. Esta implementación se ve en la figura 105.

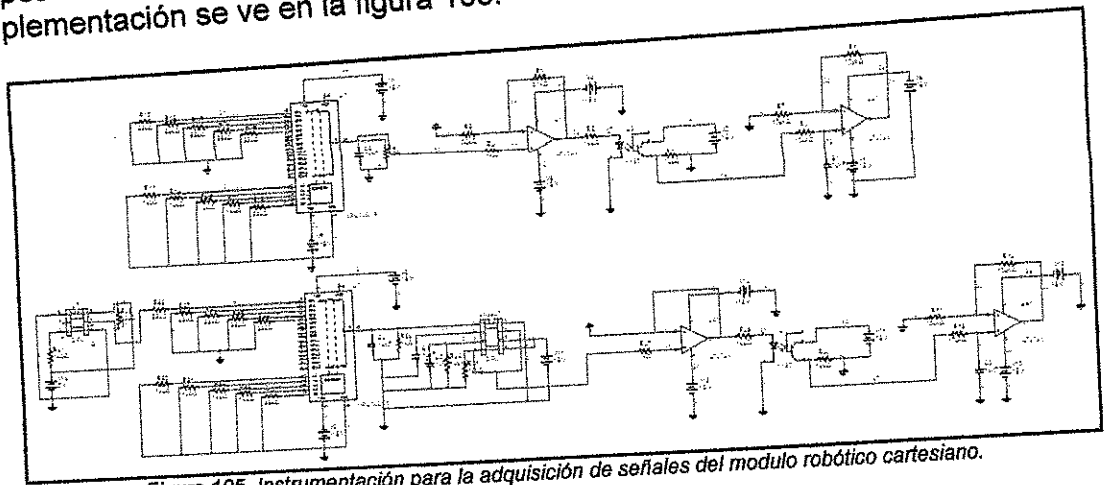


Figura 105. Instrumentación para la adquisición de señales del modulo robótico cartesiano.
Fuente. Autores

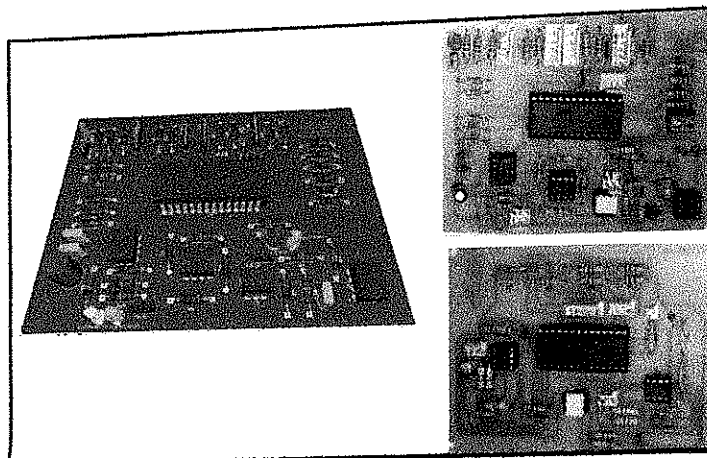


Figura 106. Circuito implementado de instrumentación modulo robótico cartesiano.
Fuente. Autores

5.1.9 Diseño e implementación de fuente de alimentación regulada de 5Vdc, +12Vdc y -12Vdc.

En el diseño de la fuente regulada se tuvieron en cuenta los diferentes voltajes de cada una de las etapas, para la alimentación de los circuitos integrados en la instrumentación electrónica, se generaron tensiones de salida de +12 Vdc, -12Vdc y 5Vdc, requeridas según el tipo de aplicación presente en los diseños. Básicamente está constituida por reguladores LM7805, LM7812 y LM 7912, notando que para una mayor exactitud en la señal de 5Vdc se hizo necesaria una doble regulación asegurando así no presentar sobrepicos de tensión que puedan generar daños a los dispositivos empleados. En la tabla 7 se relacionan las características técnicas más importantes en cada uno de los reguladores.

Tabla 7. Características Técnicas de los reguladores de voltaje utilizados en la fuente.

Regulador Parámetros	LM7805	LM7812	LM7912
V_{out}	5Vdc	12Vdc	-12Vdc
I_{out}	5mA-1.5A	5mA-1.5A	-5mA a -1A
$V_{operacion}$	7Vdc – 20Vdc	14.5Vdc- 27Vdc	-5Vdc a -19Vdc
T_{OPR}	0°C - 125 °C	0°C - 125 °C	0°C - 125 °C
Pin 1	Input	Input	Ground
Pin 2	Ground	Ground	Input
Pin 3	Output	Output	Output

Fuente. Hojas técnicas LM7805, LM7812 y LM7912

En la figura 107 se puede ver el circuito de simulación del diseño de la fuente.

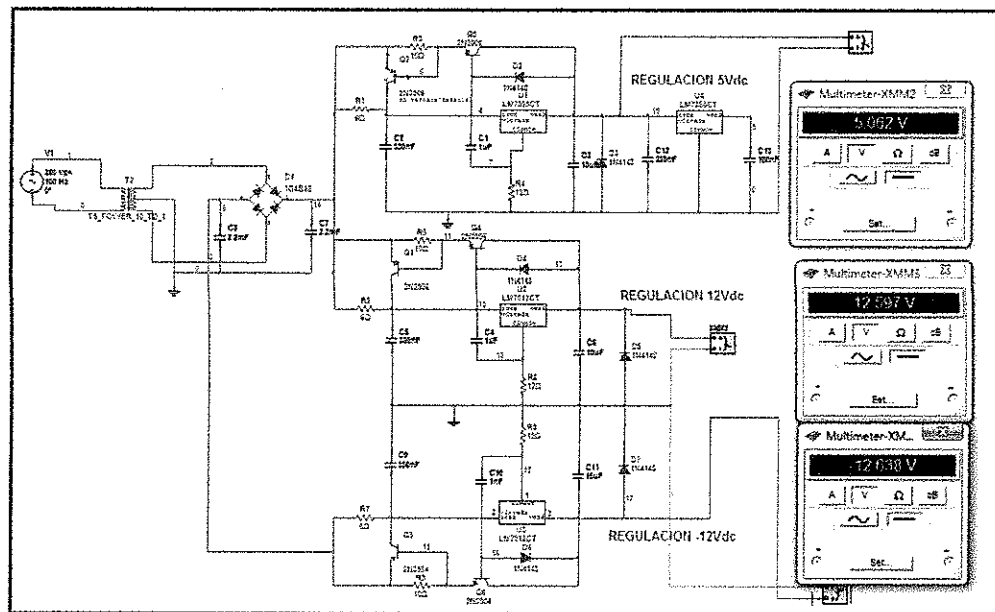


Figura 107 Diseño de fuente +5Vdc, +12Vdc y -12Vdc.

Fuente. Autores

5.1.9 Diseño e implementación de fuente de alimentación regulada de 5Vdc, +12Vdc y -12Vdc.

En el diseño de la fuente regulada se tuvieron en cuenta los diferentes voltajes de cada una de las etapas, para la alimentación de los circuitos integrados en la instrumentación electrónica, se generaron tensiones de salida de +12 Vdc, -12Vdc y 5Vdc, requeridas según el tipo de aplicación presente en los diseños. Básicamente está constituida por reguladores LM7805, LM7812 y LM 7912, notando que para una mayor exactitud en la señal de 5Vdc se hizo necesaria una doble regulación asegurando así no presentar sobrepicos de tensión que puedan generar daños a los dispositivos empleados. En la tabla 7 se relacionan las características técnicas más importantes en cada uno de los reguladores.

Tabla 7. Características Técnicas de los reguladores de voltaje utilizados en la fuente.

Regulador Parámetros	LM7805	LM7812	LM7912
V_{out}	5Vdc	12Vdc	-12Vdc
I_{out}	5mA-1.5A	5mA-1.5A	-5mA a -1A
$V_{operacion}$	7Vdc – 20Vdc	14.5Vdc- 27Vdc	-5Vdc a -19Vdc
T_{OPR}	0°C - 125 °C	0°C - 125 °C	0°C - 125 °C
Pin 1	Input	Input	Ground
Pin 2	Ground	Ground	Input
Pin 3	Output	Output	Output

Fuente. Hojas técnicas LM7805, LM7812 y LM7912

En la figura 107 se puede ver el circuito de simulación del diseño de la fuente.

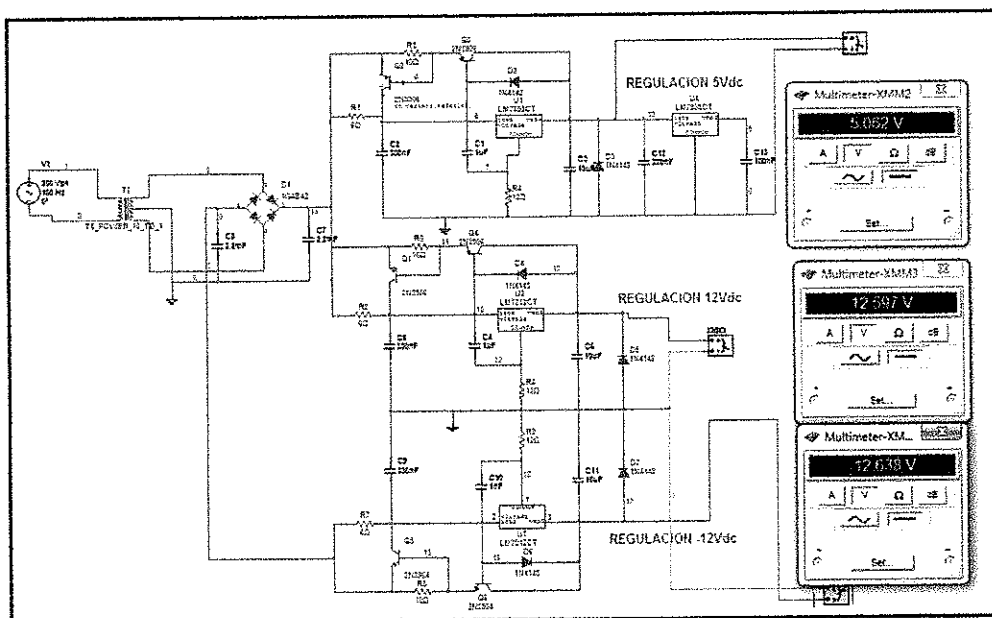


Figura 107 Diseño de fuente +5Vdc, +12Vdc y -12Vdc.
Fuente. Autores

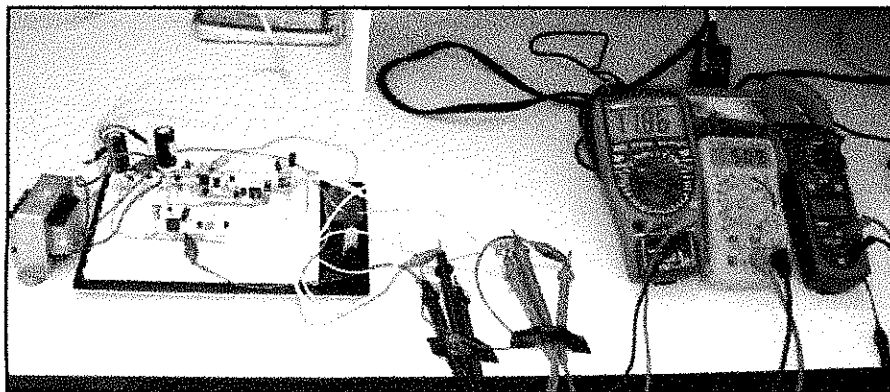


Figura 108 Circuito prototipo de fuente +5Vdc, +12Vdc y -12Vdc.
Fuente. Autores

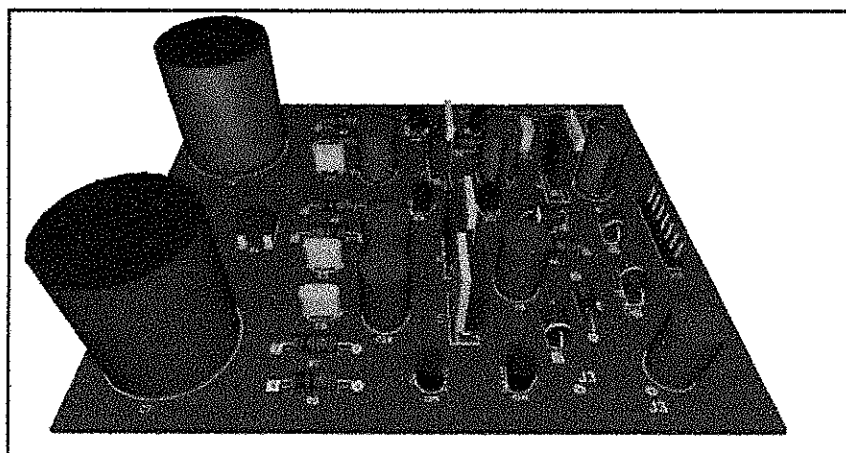


Figura 109 Imagen generada 3D en multisim de fuente +5Vdc, +12Vdc y -12Vdc.
Fuente. Autores

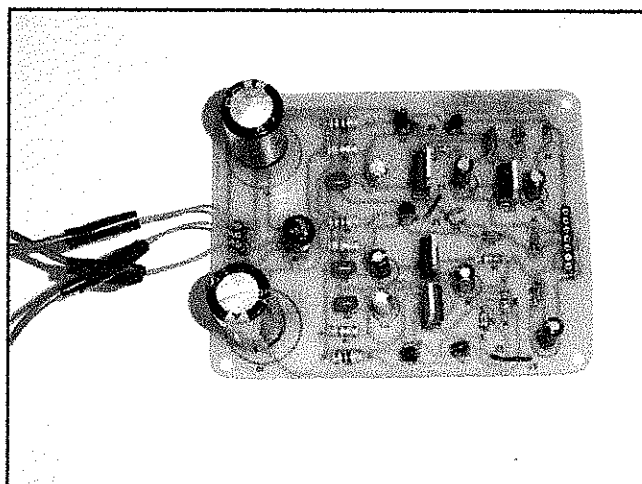


Figura 110 Circuito Impreso de fuente +5Vdc, +12Vdc y -12Vdc.
Fuente. Autores

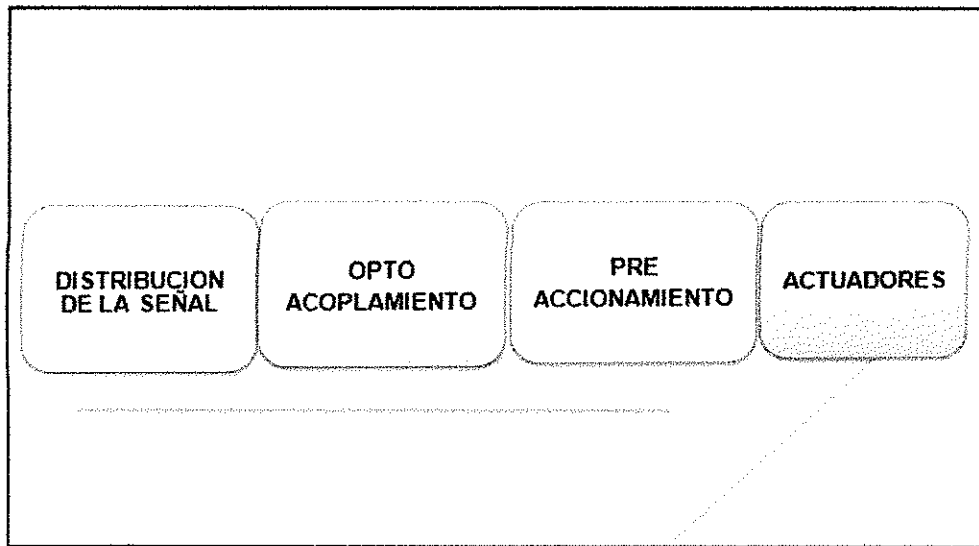
6. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA PARA LA DISTRIBUCIÓN DE LAS SEÑALES HACIA LOS ACTUADORES.

6.1 DISEÑO DE LA INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA PARA LA DISTRIBUCION DE SEÑALES

En el diseño de la instrumentación electrónica para la distribución de las señales de control se tuvieron en cuenta las características de los actuadores de los dos módulos robóticos, ya que cada uno de ellos maneja diferentes potencias. Para ello se relacionaron las etapas descritas en el diagrama de bloques de la figura 111.

Este diagrama cuenta con cuatro etapas que permiten el accionamiento de dichos motores.

- a) La primera etapa se compone por las señales generadas por el sistema de control, que son distribuidas según las diferentes aplicaciones. Esta señal debe ser de una tensión específica, ya que el funcionamiento de dicha instrumentación es adecuada con voltajes precisos que fueron medidos y probados previamente con cada uno de los actuadores.
- b) La segunda etapa corresponde al aislamiento del sistema de control con el de potencia, se debe realizar para garantizar la seguridad ante posibles fallas de los diferentes actuadores, los motores pueden presentar daños mecánicos o eléctricos que podrían averiar todos los circuitos ya que las potencias a la que ellos trabajan son muy altas del orden de los Watts, mientras que los circuitos de control operan en el orden de los mWatts.
- c) La tercera etapa la compone un pre accionamiento para el giro de motores apta para los diferentes tipos de actuadores relacionados con los módulos, con el fin de posibilitarlos a que actúen en los grados de libertad que posean. Se tuvieron en cuenta diferentes diseños, el que se presenta en este capítulo fue el diseño más apropiado, a este criterio se llegó por diferentes experiencias teórico-prácticas.
- d) La cuarta etapa la integran los ocho actuadores de los módulos robóticos. En el capítulo 4, se describen las características de cada uno de ellos. Todos los actuadores operan en voltajes de corriente continua, a diferentes corrientes.



*Figura 111. Diagrama de bloques instrumentación para la distribución de señales.
Fuente. Autores.*

6.1.1 Distribución de las señales

Las características de las señales que ingresaran a los actuadores están basadas en el diseño del sistema de control, estas deben ser de voltaje continuo, ya que los actuadores son de este tipo. Dejando claridad que la instrumentación funcionará únicamente bajo los parámetros del acople que serán nombrados en el ítem 6.1.2.

6.1.2 Optoacoplamiento

El optoacoplamiento realizado en el diseño de la instrumentación electrónica para la distribución de las señales que van a los actuadores de los módulos robóticos se realiza con el fin de garantizar el aislamiento del sistema de potencia con el de control. En la elección del circuito integrado se tuvo en cuenta que la variación de la señal fuera proporcional a la salida del acoplamiento. El optoacoplador 4N25 cumple con parámetros necesarios de seguridad para el diseño. En la tabla 5 se relacionan las características del integrado.

Como se explicó en el ítem 5.1.4 se debe tener la conexión de la resistencia en serie con el ánodo del led. Se calcula en la ecuación 72, para obtener la máxima corriente que soporta el emisor que es de 60mA.

$$\text{Voltaje de entrada} = E = 5Vdc$$

$$\text{Voltaje del led} = Vf = 1.346Vdc$$

$$\text{Corriente de operacion} = If = 59.03mA$$

$$R = \frac{(E-V_f)}{I_f} = \frac{5V_{dc}-1.346V_{dc}}{59.03mA} = 61.90\Omega \quad (72)$$

También se debe tener en cuenta el valor que se quiere obtener en el emisor del fototransistor, conviene conectar una resistencia, el valor de ella determinara la tensión de salida. La resistencia del emisor se calculo en la ecuación 73, la corriente de salida del emisor sin carga es de 1.2mA como se puede ver en la figura 112, pero cuando se conecta cualquiera de los actuadores la batería de 12Vdc y 60A, entregara la corriente necesaria para que funcione el actuador.

$$V = IR \quad (73)$$

$$R = \frac{V}{I} \quad (74)$$

$$R = \frac{12V_{dc}}{1.2mA} = 10K\Omega \quad (75)$$

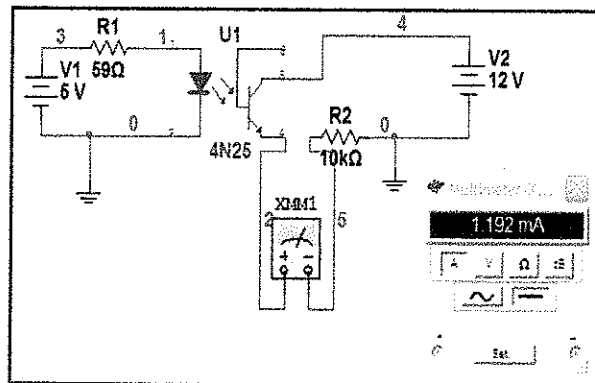


Figura 112. Simulación de optoacoplamiento para distribución de señales a los actuadores.
Fuente. Autores.

6.1.3 Preaccionamiento de los actuadores

De acuerdo con las características de cada uno de los actuadores se diseño la instrumentación electrónica, empleando un preaccionamiento para el control de giro de los motores a través de un puente H compuesto por transistores 2N3055, el cual obtiene su entrada de la salida del optoacoplador, encargado de proteger los dispositivos de control del sistema de potencia. En la implementación del circuito fue necesario tener en cuenta algunas características del 2N3055 como la corriente de colector, voltaje base-colector, emisor-colector, base-emisor y potencia máxima (ver tabla 8).

Tabla 8. Características técnicas de transistor 2N3055.

Parámetro	Valor
Voltaje Colector-Base	100Vdc
Voltaje Colector-Emisor	60Vdc
Voltaje Base-Emisor	7Vdc
Corriente Colector	15A
Potencia Máxima	115W
Temperatura	25°C

Fuente: Hoja Técnica de 2N3055

Para accionar el giro de cada uno de los elementos de distribución de señales a diversas tensiones se desarrollo un prototipo de puente H, donde se tuvo en cuenta las características de cada uno de los actuadores como se describe en el capítulo 4, determinando así la potencia máxima requerida por cada uno de los motores, valor necesario para diseñar el puente H adecuado, como primera medida se planteo trabajar con el integrado L298 circuito que consistía en dos puente H integrados, pero que suministraban una corriente muy baja. Luego se analizaron múltiples diseños de los cuales se especifico trabajar con transistores de potencia. Su funcionamiento esta dado de la siguiente manera, se tienen 4 transistores NPN, en configuración H los cuales como se ve en la figura 113 van a recibir pulsos en las bases generando tres posibles estados lógicos, que indican el sentido de giro de cada motor ver tabla 9.

Tabla 9. Estados lógicos de giro motores DC.

Sentido de giro	In_1	In_2
Derecha	1	0
Izquierda	0	1
Parar	0	0

Fuente: Hoja Técnica de 2N3055

Los transistores BJT, 2N3055 Son dispositivos en los cuales conviene que el V_{CE} sea lo más bajo posible, asegurando así una menor disipación de potencia sabiendo que:

$$P_T = I_C \times V_{CE} \quad (76)$$

Lo que facilita que el transistor trabaje en saturación, para que no se presenten inconvenientes en el manejo de potencia de los transistores se empleo el optoacoplador 4N25 descrito en el capítulo 3. Para suministrar la suficiente corriente de excitación a la base del transistor de potencia se conecto una resistencia de $10K\Omega$, siendo este polarizado con una batería de 12Vdc a 60A como se ve en la figura 113. Describiendo en la ecuación 76 la corriente disipada por el transistor cuando hay conexión o no de carga.

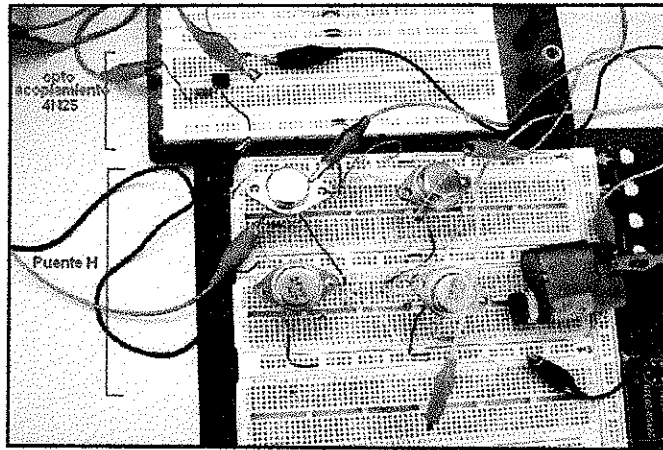


Figura 113. Circuito prototipo de preaccionamiento de actuadores.
Fuente. Autores.

En la figura 114 se muestra el prototipo del circuito implementado de preaccionamiento de los actuadores.

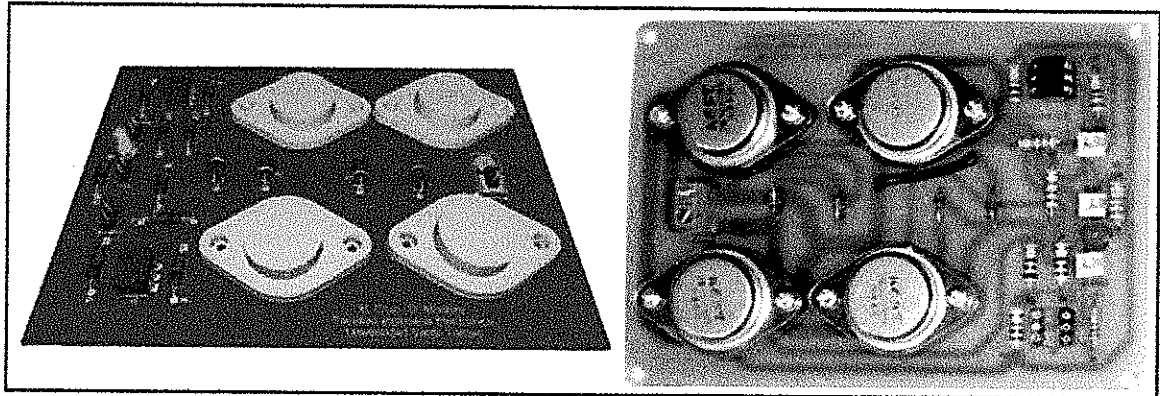


Figura 114. Circuito implementado de pre accionamiento de actuadores.
Fuente. Autores.

7. DISEÑO DE HERRAMIENTAS DE SOPORTE PARA APLICACIONES CON LOS MÓDULOS ROBÓTICOS

7.1 DISEÑO DEL CONTROL PWM CON DSP

7.1.1 Definición de PWM (Modulación por ancho de pulsos).

La modulación por ancho de pulsos de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (por ejemplo sinusoidal o cuadrada) ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o control de la cantidad de energía que se envía a una carga.

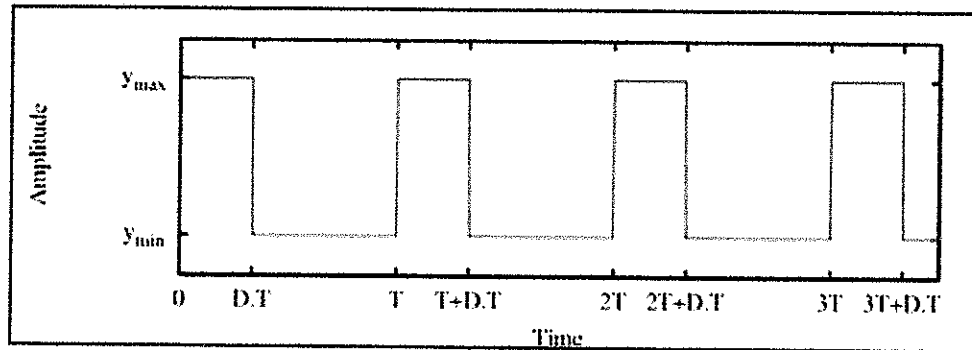


Figura. 115. Una señal de onda cuadrada mostrando el ciclo de trabajo D .
Fuente: www.scribd.com

El ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación al período. Matemáticamente:

$$D = \frac{\tau}{T} \quad (77)$$

D = ciclo de trabajo

τ = tiempo en que la función es positiva (ancho del pulso)

T = período de la función

La construcción típica de un circuito PWM se lleva a cabo mediante un comparador con dos entradas y una salida. Una de las entradas se conecta a un oscilador de onda triangular, mientras que la otra queda disponible para la señal moduladora. En la salida la frecuencia es generalmente igual a la de la señal triangular y el ciclo de trabajo está en función de la moduladora.

7.1.2 Definición de servomotores

Los servos son un tipo especial de motor de C.C (corriente continua) que se caracterizan por su capacidad para ubicarse de forma inmediata en cualquier posición dentro de su intervalo de operación. Para ello, el servomotor espera un tren de pulsos que corresponde con el movimiento a realizar.

Están generalmente formados por un amplificador, un motor, un sistema reductor integrado por ruedas dentadas y un circuito de realimentación, todo en una misma caja de pequeñas dimensiones. El resultado es un servo de posición con un margen de operación de 180° aproximadamente.

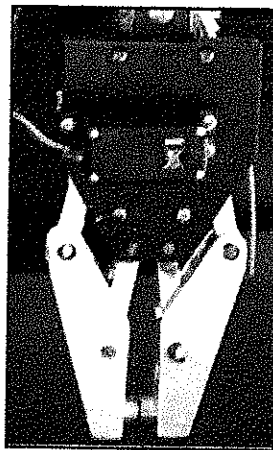


Figura.115A. Servomotor de Pinza Pivote de Robot Articulado.
Fuente. Autores

Se dice que el servo es un dispositivo con un eje de rendimiento controlado ya que puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada. Con tal que exista una señal codificada en la línea de entrada, el servo mantendrá la posición angular del engranaje. Cuando la señal codificada cambia, la posición angular de los piñones cambia. En la práctica, se usan servos para posicionar elementos de control como palancas, pequeños ascensores y timones. También se usan en radio-control, marionetas y, por supuesto, en robots.

Los servos son sumamente útiles en robótica. Los motores son pequeños. Un motor como el de la figura 115 posee internamente una circuitería de control y sumamente potente para su tamaño.

Un servo normal o estándar proporciona un par de $3 \text{ kg}\cdot\text{cm}$ a 5 V , lo cual es bastante para su tamaño, sin consumir mucha energía. La corriente que requiere depende del tamaño del servo. Normalmente el fabricante indica cual es la corriente que consume. La corriente depende principalmente del par, y puede exceder un amperio si el servo está enclavado.

7.1.2.1 Funcionamiento

El motor del servo tiene algunos circuitos de control y un potenciómetro (una resistencia variable) esta es conectada al eje central del servo motor. En la figura 118 se puede observar al lado izquierdo del circuito. Este potenciómetro permite a la circuitería de control, supervisar el ángulo actual del servo motor. Si el eje está en el ángulo correcto, entonces el motor está apagado. Si el circuito reconoce que el ángulo no es el correcto, el motor girará en la dirección adecuada hasta llegar al ángulo correcto. El eje del servo es capaz de llegar alrededor de los 180° grados. Normalmente, en algunos llega a los 210° grados, pero varía según el fabricante. Un servo normal se usa para controlar un movimiento angular entre 0° y 180° .

Características Generales

Estos servos tienen un amplificador, servo motor, piñonaría de reducción y un potenciómetro de realimentación; todo incorporado en el mismo conjunto. Esto es un servo de posición (lo cual significa que uno le indica a qué posición debe ir), con un rango de aproximadamente 180° grados. Ellos tienen tres cables de conexión eléctrica; Vcc, GND, y entrada de control. Para controlar un servo, se le ordena un cierto ángulo, medido desde 0 grados. Le envía una serie de pulsos. En un tiempo ON de pulso indica el ángulo al que debe posicionarse; $1\text{ms} = 0$ grados, $2.0\text{ms} = \text{máx giro}$ (cerca de 120°) y algún valor entre ellos da un ángulo de salida proporcional.

Generalmente se considera que en 1.5ms está el "centro." El fabricante recomienda trabajar entre 1- 2ms , normalmente puede usar un rango mayor de 1.5ms para obtener un ángulo mayor e incluso de 2ms para un ángulo de rendimiento de 180 grados o más. El factor limitante es el tope del potenciómetro y los límites mecánicos construidos en el servo. Un sonido de zumbido es indicativo de que se está forzando el servo, razón por la cual se debe disminuir el giro.

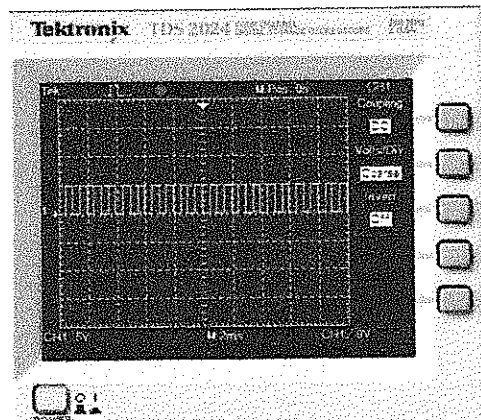


Figura.116. Ejemplo de Señal de Servomotor con PWM
Fuente. Autores

El tiempo OFF en el servo no es crítico; puede estar alrededor de los 20ms. Se ha usado entre 10ms y 30 ms pudiendo variar de pulso a pulso. Los pulsos que ocurren frecuentemente en OFF pueden interferir con el sincronismo interno del servo y podría escucharse el zumbido o alguna vibración en el eje. Si el espacio del pulso es mayor de 50ms (depende del fabricante), entonces el servo podría estar en modo *SLEEP* entre los pulsos. Entraría a funcionar en pasos pequeños y el rendimiento no sería el óptimo. Como se observa en la figura 117, la duración del pulso indica o dictamina el ángulo del eje (mostrado como un círculo verde con flecha). Nótese que las ilustraciones y los tiempos reales dependen del fabricante de motor. El principio de operación, sin embargo, es el mismo.

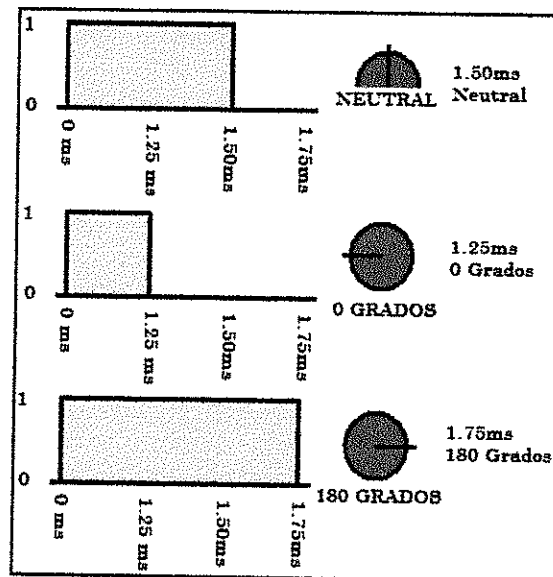


Figura 117. Señal de Servomotor con Grados y tiempo.
Fuente. Autores.

El cable de control se usa para comunicar el ángulo. El ángulo está determinado por la duración de un pulso que se aplica al alambre de control. A esto se le llama PCM (Modulación codificada de Pulsos). El servo espera ver un pulso cada 20 milisegundos (.02 segundos). La longitud del pulso determinará los giros de motor. Un pulso de 1.5 ms, por ejemplo, hará que el motor se torne a la posición de 90 grados (llamado la posición neutra). Si el pulso es menor de 1.5 ms., entonces el motor se acercará a los 0 grados. Si el pulso es mayor de 1.5ms, el eje se acercará a los 180 grados.

Diagrama de un servomotor típico de modelismo:

Un servomotor de este tipo es básicamente un motor eléctrico que sólo se puede girar en un ángulo de aproximadamente 180 grados (no dan vueltas completas como los motores normales). De los tres cables que salen de su cubierta. El rojo es de voltaje de alimentación (+5V), el negro es de tierra (0V ó GND). El cable blanco (a veces amarillo) es el cable por el cual se le instruye al servomotor en

qué posición ubicarse (entre 0 y 180 grados). Dentro del servomotor, una tarjeta controladora le dice a un pequeño motor de corriente directa cuántas vueltas girar para acomodar la flecha (el eje de plástico que sale al exterior) en la posición que se le ha pedido. En la siguiente figura se observa la ubicación de estas piezas dentro del servomotor:

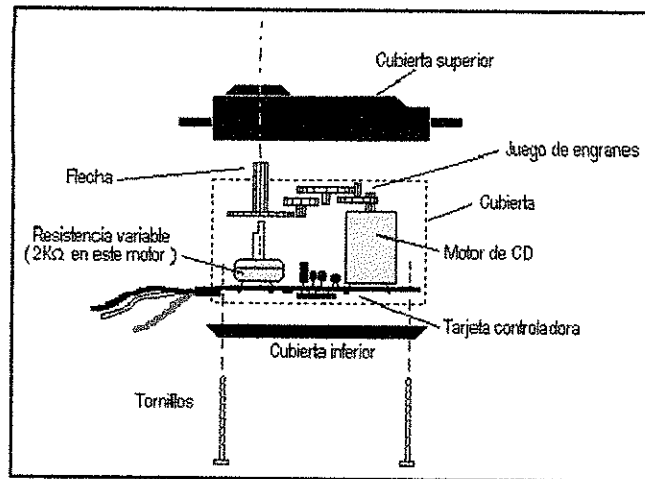


Figura 118. Ubicación de las piezas en el servomotor.

Fuente. www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/electronica/elementos/servomotor.htm

Un potenciómetro que está sujeto a la flecha, mide hacia dónde está ubicado en todo momento. Es así como la tarjeta controladora sabe hacia dónde mover al motor.

La posición deseada se le da al servomotor por medio de pulsos. Todo el tiempo debe haber una señal de pulsos presente en ese cable. La señal de pulsos controla al servo de la siguiente forma:

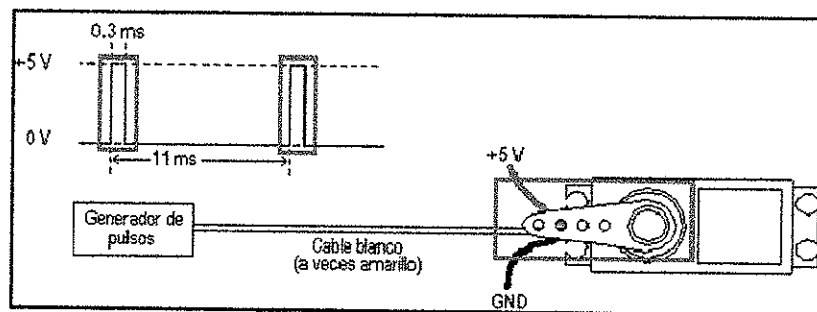


Figura 119. Ubicación en 0°

Fuente. www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/electronica/elementos/servomotor.htm

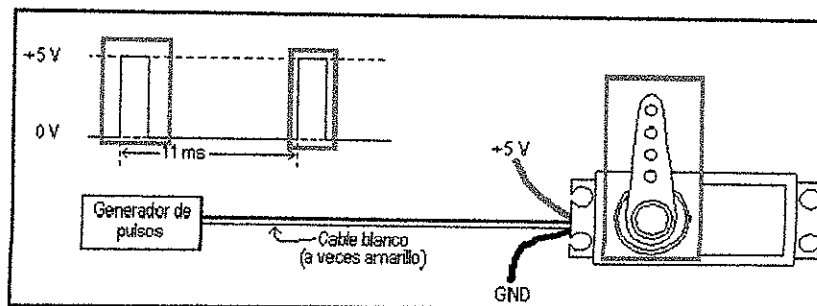


Figura.120. Ubicación 90°

Fuente. www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/electronica/elementos/servomotor.htm

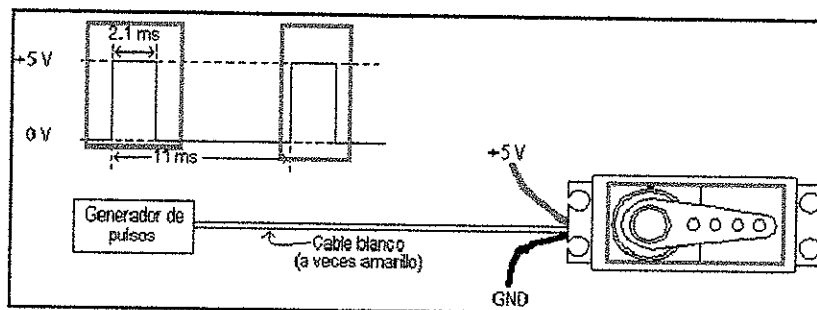


Figura.121. Ubicación 180°

Fuente. www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/electronica/elementos/servomotor.htm

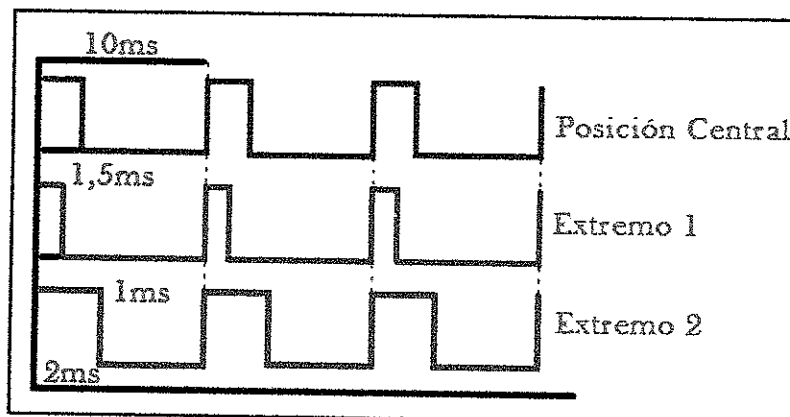


Figura.122. Grafica de grados

Fuente. Autores.

Nótese que el intervalo de tiempo entre pulsos se mantiene constante, y la variación del ancho de los mismos es lo que le indica al servo la posición que se desea. Estos valores de milisegundos han funcionado bastante bien para los servomotores FUTABA FP-S148, FUTABA S3003, Hitec HS-300 y HOBBICO COMMAND CS-51, y se ha encontrado también que son bastante tolerables en cuanto al período de los pulsos de control. Responden adecuadamente a pulsos desde 50 Hz hasta aproximadamente 100 Hz., pero una vez escogida una frecuencia de operación debe procurarse mantener la misma frecuencia todo el tiempo.

7.1.3 Procedimiento de creación de la aplicación.

Para crear la señal PWM se elige el tipo de DSP MC56F8323, este posee aplicaciones de Instrumentación. El procedimiento para el desarrollo de esta aplicación se explica a continuación:

A. CREAR UN NUEVO PROYECTO

Se abre el software *Code Warrior IDE* y se crea un nuevo proyecto dándole el nombre que se quiera en *FILE, NEW* y saldrá una ventana en la cual se puede elegir la de *PROCESADOR EXPERTO* y bautizar el proyecto en *PROJECT NAME* así:

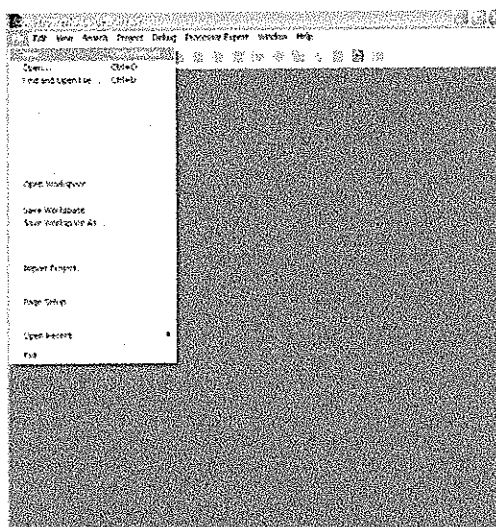


Figura. 123. Ventana principal de Code Warrior IDE
Fuente. Autores.

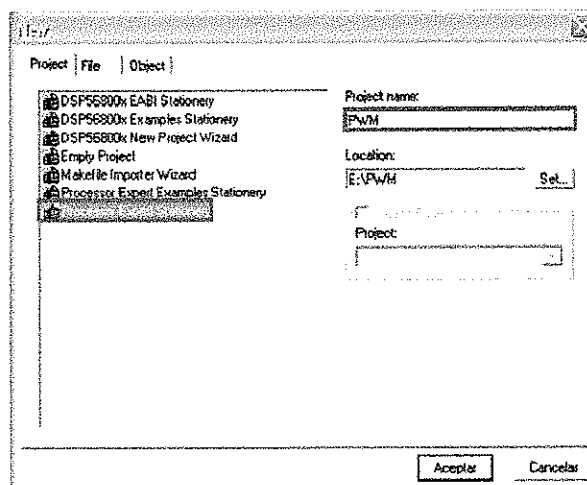


Figura. 124. Ventana NEW de Code Warrior ID con la elección de Project
Fuente Autores

Se elige el tipo de DSP que se va a utilizar para este caso es el MC56F8323.

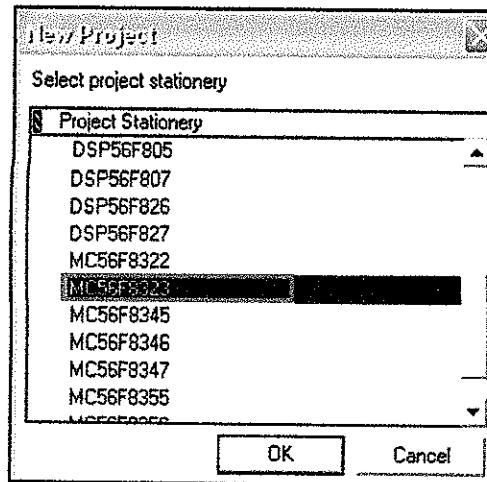


Figura. 125. Ventana NEW PROJETO de Code Warrior ID con la elección del tipo de Procesador.
Fuente. Autores.

Se abrirá enseguida una ventana como se muestra en la figura 126, en la cual se puede empezar a configurar los elementos que se necesitan para realizar la programación del PWM.

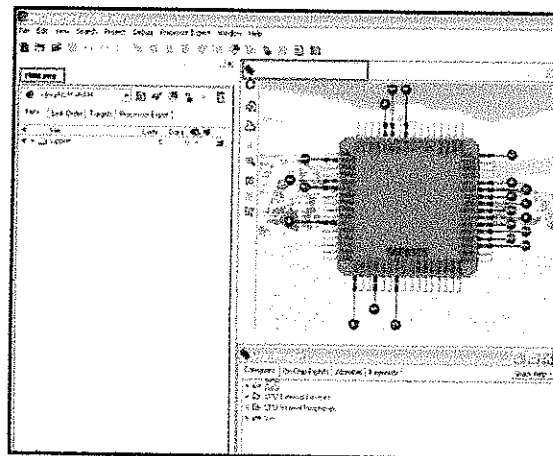


Figura. 126. Ventana Procesador Experto
Fuente. Autores

B. ADICIONAR ICONOS AL PROYECTO.

Lo que se pretende mostrar en esta aplicación es hacer una modulación por ancho de pulso y sacar la señal por puerto con el Modulo PWM del DSP56F8323. En este ejercicio lo primero que se debe hacer es adicionar el icono del PWM. Se ingresa en el Bean Selector, en Categorías se encuentra CPU INTERNAL

Peripherals y se despliegan varias opciones de las cuales se ingresa a Timer. Como se muestra en la figura 127.

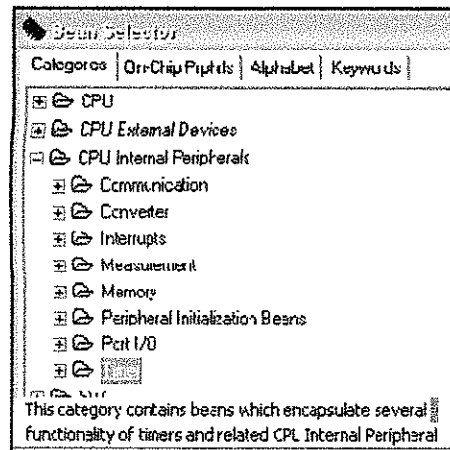


Figura. 127. Ventana de BEAN SELECTOR para elegir categorías y adicionar los iconos del PWM.
Fuente. Autores.

Enseguida se despliega esta categoría y se elige la modulación por ancho de pulso.

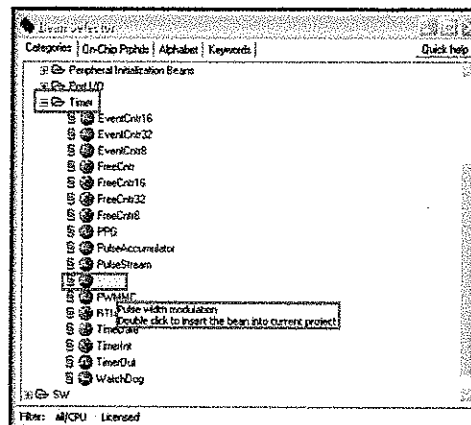


Figura.128. Ventana del Bean Selector para elegir PWM.
Fuente. Autores

Enseguida se da doble clic sobre este bean y aparecerá el procesador experto con el respectivo "BEAN".

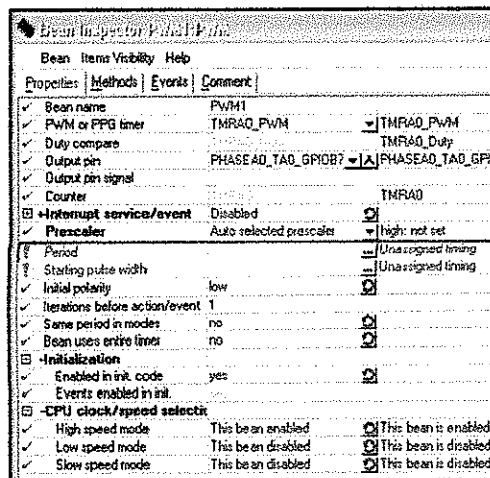


Figura. 129. Ventana del Bean Selector PWM
Fuente. Autores.

C. DESCRIPCION DEL BEAN PWM

Se tienen cuatro ítems a tratar propiedades, métodos, eventos y comentarios.

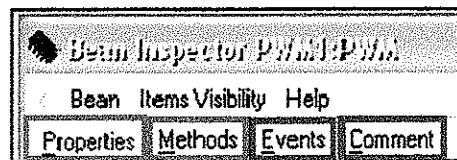


Figura. 130. Items Bean Selector.
Fuente. Autores.

Propiedades:

Se ingresa a propiedades y sus características son las siguientes:

☒ Bean name PWM1

Nombre del Bean.

☒ PWM or PPG timer TMRA0_PWM

Registro de comparación de PWM.

☒ Duty compare TMRA0_Duty

Registro de comparación del ciclo de trabajo.

☒ Output pin PHASEA0_TA0_GPIOB7

Pin de salida de señal. PWM.

☒ Output pin signal

Nombre al pin de la señal de salida PWM.

☒ Counter	TMR40
---	-------

Contador del Bean para la generación de la señal PWM.

☒ +Interrupt service/event	Disabled
--	----------

Soporte de servicio de interrupción.

☒ Interrupt	INT_TMR40
☒ Interrupt on duty	INT_TMR40
☒ Interrupt overflow	INT_TMR40
☒ Interrupt priority	medium priority

Las interrupciones son cuatro:

- Interrupción generada por la medición del periodo de la señal.
- Interrupción generada por la medición del ciclo de trabajo.
- Interrupción generada por el sobre flujo o sea que se sobrepasa del valor del periodo.
- La prioridad de la interrupción que puede ser:

☒ Prescaler	Auto selected prescaler
---	-------------------------

Divisor de frecuencia del contador del Bean.

☒ Period	16.6666 ms
--	------------

Periodo de la señal de salida.

Se configura con los valores y unidades de tiempo exactos con el cuadro de ayuda que se muestra a continuación.

The screenshot shows a configuration window with the following sections:

- Runtime setting:** A dropdown menu set to "fixed value".
- Initial values:**
 - Frequency value: 16666 Hz (Unit: 1/1000000)
 - Error allowed: 5 % (Unit: 1/100)
 - Speed mode: High (Adjusted value: 17.476 ms, Prescaler: 16, Error: 6.666%), Low (disabled), Slow (disabled).
- Possible settings:**
 - Closest values: none.
 - Possible in all speed modes: 1092.267 μs, 2184.533 μs, 4369.067 μs, 8738.133 μs, 17.476 ms, 34.952 ms, 69.905 ms, 139.810 ms.
- Buttons:** OK, Cancel, Help.

Figura. 131. Ventana de configuración del periodo de la señal PWM.
Fuente. Autores.

En este caso se configuro a 16.66ms con un porcentaje de error del 5%.

☒	Starting pulse width	8.33 ms	
-------------------------------------	----------------------	---------	---

Inicialización del ancho del pulso se configura al 50% del periodo.

☒	Initial polarity	high	
-------------------------------------	------------------	------	---

Polaridad de Inicialización del pulso de la señal de salida puede ser alto en 1 y bajo en 0.

☒	Iterations before action/event	1	
-------------------------------------	--------------------------------	---	--

Número de períodos antes de finalizar un evento <OnEnd>.
Rango admisible: de 1 a 256.

☒	Same period in modes	no	
-------------------------------------	----------------------	----	---

Período es exactamente la misma velocidad en todos los modos (alto, bajo, lento).

☒	Bean uses entire timer	no	
-------------------------------------	------------------------	----	---

Este Bean depende del timer y se puede configurar por hardware o software.

☐ -Initialization			
☒	Enabled in init. code	yes	
☒	Events enabled in init.	yes	

Configuración inicial del sistema.

☐ -CPU clock/speed selectio			
☒	High speed mode	This bean enabled	
☒	Low speed mode	This bean disabled	
☒	Slow speed mode	This bean disabled	

Configuración de la velocidad de la CPU. Depende si el bean lo soporta en este caso solo soporta Alta velocidad.

Métodos:

Se ingresa a propiedades y sus características son:

Methods		
☒	Enable	generate code
☒	Disable	generate code
☒	EnableEvent	don't generate code
☒	DisableEvent	don't generate code
☒	SetRatio8	generate code
☒	SetRatio16	generate code
☒	SetDutyTicks16	generate code
☒	SetDutyTicks32	generate code
☒	SetDutyUS	generate code
☒	SetDutyMS	generate code
☒	SetDutySec	generate code
☒	SetDutyReal	generate code
☒	SetValue	generate code
☒	ClrValue	generate code
☒	ConnectPin	generate code

Figura. 132. Ventana de configuración de los métodos.
Fuente. Autores.

Cada uno de estos métodos se explica a continuación.

☒	Enable	generate code
☒	Disable	generate code

Habilita y deshabilita el bean.

☒	EnableEvent	don't generate code
☒	DisableEvent	don't generate code

Habilita y deshabilita interrupciones.

☒	SetRatio8	generate code
☒	SetRatio16	generate code

Este método configura el porcentaje del ciclo de trabajo en términos de datos de 8 o 16 bits que se expresaran en un rango de 0 – 100%.

☒	SetDutyTicks16	generate code
☒	SetDutyTicks32	generate code

Este método configura el nuevo valor del ciclo de trabajo de la señal de salida. Este es expresado en ciclos de reloj y es definido en 16 o 32 bits.

☒	SetDutyUS	generate code
☒	SetDutyMS	generate code
☒	SetDutySec	generate code
☒	SetDutyReal	generate code

Estos métodos configuran el nuevo valor del ciclo de trabajo de la señal de salida. Este es expresado en microsegundos, milisegundos, segundos y es definido en formato de 16 bits. Y el SetDutyReal es definido segundos en formato real.

☒ SetValue	generate code	
☒ ClrValue	generate code	

Estos métodos ponen en 1 o 0 el nivel lógico de salida.

D. DESCRIPCION DE LA APLICACIÓN.

Lo primero que se debe tener en cuenta es que la aplicación está desarrollada para que se genere una señal de control de posición para un servomotor que controla una pinza pivote de un robot.

D.1 CARACTERISTICAS DEL PROGRAMA

La figura 133 muestra el código del programa que realiza una aplicación muy sencilla pero practica para la generación de una señal PWM.

```
void retardo(void);
main()
{
  /*** Processor Expert internal in
  PE_low_level_init();
  /*** End of Processor Expert inte

  /* Write your code here */

  PWM1_Enable();
  retardo();

  for(;;) {

    PWM1_SetDutyUS(3332);
    retardo();
    PWM1_SetDutyUS(6664);
    retardo();
    PWM1_SetDutyUS(9996);
    retardo();
    PWM1_SetDutyUS(13328);
    retardo();

  }

  void retardo(void)
  {
    int i,j;
    for(i=0;i<10000;i++){
      for(j=0;j<360;j++){
      }
    }
  }
}
```

Figura 133. Programa que genera señal PWM.
Fuente. Autores

Este programa consta de tres partes:

a. Habilitación del bean:

```
PWM1_Enable();
retardo();
```

Figura 134. Programa que habilita el bean
Fuente. Autores

En esta primera parte se habilita el modulo PWM y luego se llama un retardo.

b. Configuración de un nuevo ciclo de trabajo:

```
for(;;) {  
    PWM1_SetDutyUS(3332): 20%  
    retardo();  
    PWM1_SetDutyUS(6664): 40%  
    retardo();  
    PWM1_SetDutyUS(9996): 60%  
    retardo();  
    PWM1_SetDutyUS(13328): 80%  
    retardo();  
}
```

Figura. 135. Programa que configura nuevos ciclos de trabajo al 20, 40, 60 y 80%.
Fuente. Autores.

En la segunda parte del programa se tiene la configuración de un nuevo ciclo de trabajo mostrado en formato de microsegundos. Tomando como base principal el periodo que se configuro en el Bean Inspector del Modulo PWM. Es decir: 16.66milisegundos el 20% equivale a 3332microsegundos y así sucesivamente con los valore de 40%, 60%, 80%.

c. Retardo:

```
void retardo(void)  
{  
    int i,j;  
    for(i=0;i<10000;i++){  
        for(j=0;j<300;j++){  
            ;  
        }  
    }  
}
```

Figura.136. Programa del retardo.
Fuente. Autores.

Este retardo se genera ya que es necesario para que se pueda visualizar el cambio de los ciclos de trabajo. Cuando se genere este programa en emulación debe mostrar la figura 137.

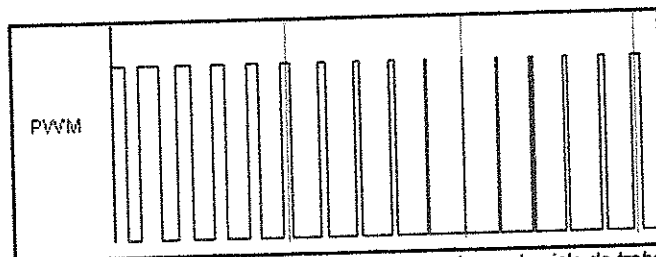


Figura.137. Señal PWM con diferentes configuraciones de ciclo de trabajo.
Fuente. Autores.

Esta señal que se muestra en la figura 137 generara en la pinza que su apertura y cierre dependan únicamente del valor del porcentaje que se genera. Es así como

se manipularan objetos por parte de la mano del Robot. Es importante resaltar que para la conexión de dicho sistema es importante tener un circuito de acople de señal ya que este DSP maneja voltaje de 3.3Vdc, mientras que el servomotor de la aplicación maneja voltajes de 5 Vdc.

D.2 PUERTO DE MANEJO DE SEÑAL DE SALIDA PWM.

Para obtener la señal del DSP es necesario ubicarse y saber en el bean inspector que característica del pin de salida quedo señalada en este caso quedo.

PHASEA0_TAO_GPIOB7

✓ Output pin	PHASEA0_TAO_GPIOB7 ▾ 人
--------------	--------------------------

Este se puede ubicar en la figura 138 que se muestra a continuación.

J18			
Pin #	Signal	Pin #	Signal
1	PB0 / SS0	2	PB1 / MISO0
3	PB2 / MOSI0	4	PB3 / SCLK0
5	PB4 / HOME0	6	PB5 / INDEX0
7	PB6 / PHASEB0	8	PB7 / PHASEA0
9	GND	10	+3.3V

Figura 138. Asignación de pines en el puerto GPIOB J18 para la salida del canal 0 del PWM.
Fuente. Hoja Técnica MC56F8323

Que físicamente se ubicara en la tarjeta en el pin 8 como se muestra en la figura 139.

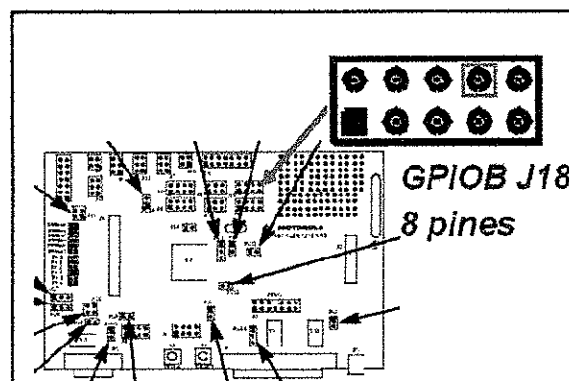


Figura. 139. Distribución del puerto GPIOB del DSP
Fuente. Hoja Técnica MC56F8323

Hay que tener en cuenta que tanto como la tarjeta como el puerto cuenta con la salida GND y +3.3Vdc.

7.2 ADQUISICIÓN DE DATOS DE SENSORES DE POSICIÓN POTENCIÓMETROS.

En la aplicación de adquisición de datos de sensores potenciómetros se busca entregar una herramienta de soporte en la cual se visualice mediante un hardware y software la variación de la posición de los sensores potenciómetros que se encuentran ubicados en el modulo robótico articulado. Esta aplicación se realizó con el software LabVIEW® y la tarjeta de adquisición de datos USB 6009.

7.2.1 Valores de variación de voltaje y resistencia con respecto a ángulo o posición.

En la tabla 10 se relaciona unas medidas tomadas como parámetro de comportamiento general para los potenciómetros ubicados en el modulo robótico articulado, donde existe una variación de los grados con respecto a voltaje, resistencia y corriente.

Tabla 10. Valores de variación de voltaje y resistencia con respecto a ángulo o posición.

ANGULO GRADOS	VOLTAJE (V)	RESISTENCIA (KOhm)	CORRIENTE (uA)
0	0	0	0
5	0,15	0,11	14
10	0,29	0,19	22
15	0,42	0,26	29
20	0,55	0,36	37
25	0,7	0,43	47
30	0,8	0,51	52
35	0,93	0,62	66
40	1,01	0,7	80
45	1,12	0,78	90
50	1,23	0,87	104
55	1,32	0,94	115
60	1,4	1,07	127
65	1,46	1,15	140
70	1,54	1,24	154
75	1,6	1,3	170
80	1,66	1,38	187
85	1,73	1,47	201
90	1,77	1,55	219
95	1,83	1,64	234
100	1,89	1,75	256
105	1,95	1,83	281
110	2,02	1,93	311
115	2,11	2,04	330
120	2,17	2,14	358
125	2,2	2,22	389
130	2,24	2,34	416

Fuente. Autores.

Las variación de estos datos surgió dependiendo del ángulo máximo y mínimo de la articulación que se esté sensando, aclarando que es una aplicación que se puede acondicionar a cualquiera de estos sensores.

Ingresando los datos al programa MATLAB se graficó un sistema como lo muestra en la figura 140.

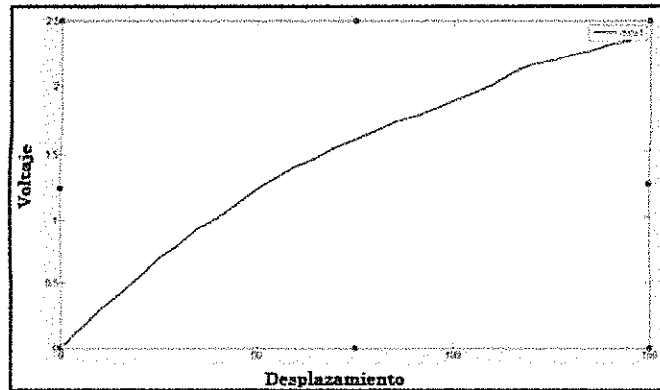


Figura 140. Grafica de Desplazamiento Vs Voltaje
Fuente. Autores

Luego mediante un modelo de aproximación de funciones trigonométricas se logro una grafica de similitud como se muestra en la figura 141.

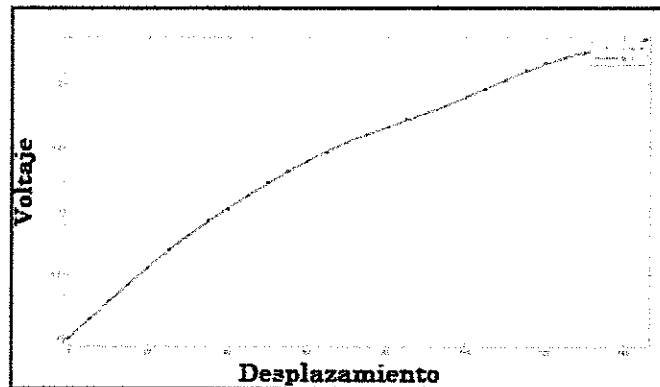


Figura 141. Grafica de Desplazamiento Vs Voltaje con aproximación de funciones trigonométricas.
Fuente. Autores

Esta gráfica se logró utilizando un modelo aproximado de la curva original la cual determino que la función de posición de la relación desplazamiento- voltaje es (figura 141).

```
General model Sin2:
fittedmodel1(x) = a1*sin(b1*x+c1) + a2*sin(b2*x+c2)
Coefficients (with 95% confidence bounds):
a1 = 2.281 (2.248, 2.314)
b1 = 0.01029 (0.009859, 0.01072)
c1 = 0.02098 (-0.0007615, 0.04272)
a2 = 0.077 (0.0605, 0.09349)
b2 = 0.05409 (0.04557, 0.0616)
c2 = -0.5271 (-1.147, 0.09267)
```

Figura 142. Imagen de resultante en Matlab de aproximación de funciones con cftool
Fuente. Autores

Los coeficientes $a1, b1, c1, a2, b2, c2$, han sido calculados utilizando la herramienta de identificación de curvas *cftool* de MATLAB®. En la ecuación 78 se caracteriza el comportamiento del desplazamiento con respecto a la variación de voltaje lo que indica la posición angular. Esta caracterización se obtiene para tratar de agotar las posibles herramientas matemáticas para la no utilización de sensores de velocidad y aceleración con el fin de lograr un ahorro ya que puede analizarse obteniendo el posicionamiento de un sistema, se puede obtener la velocidad y aceleración derivando los datos almacenados.

En la ecuación 78 se muestra la posición angular haciendo referencia a los coeficientes hallados por los parámetros de aproximación que se realizaron en MATLAB y la velocidad caracterizada en la ecuación 79 se obtuvo derivando la posición angular con sus respectivos coeficientes y la ecuación 80 describe la aceleración del sistema.

Entonces se tiene:

Modelo de Posición del prototipo:

$$y(x) = a1.\text{sen}(b1.x + c1) + a2.\text{sen}(b2.x + c2) \quad (78)$$

Modelo de Velocidad del prototipo:

$$\begin{aligned} \dot{y}(x) = & 0.02347\cos(0.01029x + 0.02098) \\ & - 0.0021\cos(0.028x) \end{aligned} \quad (79)$$

Modelo de Aceleración del prototipo:

$$\begin{aligned} \ddot{y}(x) = & 0.0000625\text{sen}(0.02851x) \\ & - 0.00024\text{sen}(0.01029x + 0.02098) \end{aligned} \quad (80)$$

Para el análisis de desplazamiento Vs. resistencia se realizó el mismo procedimiento anteriormente descrito pero con diferentes resultados de la aproximación de función. Se puede observar en la figura 143 que el comportamiento es aproximadamente lineal.

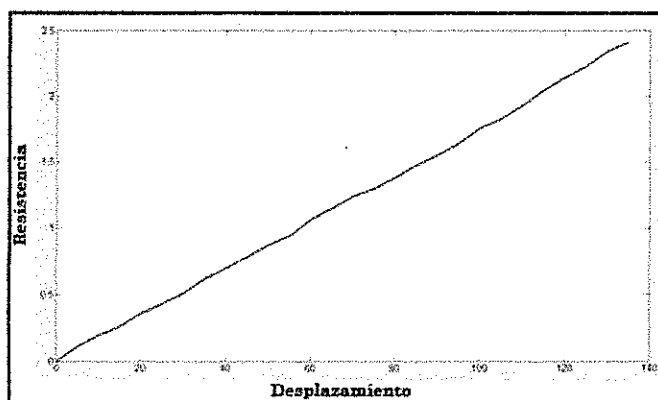


Figura 143. Grafica de Desplazamiento Vs Resistencia.
Fuente. Autores.

Ahora se hace con curve fitting tool el modelo del aproximamiento de la función, esta se muestra en la ecuación 81.

```
fittedmodel4 =

Linear model Poly3:
fittedmodel4(x) = p1*x^3 + p2*x^2 + p3*x + p4
Coefficients (with 95% confidence bounds):
p1 = 1.369e-007 (2.863e-008, 2.452e-007)
p2 = -1.803e-005 (-4.029e-005, 4.229e-006)
p3 = 0.01786 (0.01658, 0.01914)
p4 = 0.005485 (-0.0141, 0.02507)
```

Figura 144. Modelo de la función de Desplazamiento Vs Resistencia en cftool.
Fuente. Autores

En la figura 144 se puede observar el modelo de tercer orden y así mismo sus cuatro coeficientes, la aplicación de este modelo se ve representada la figura 145.

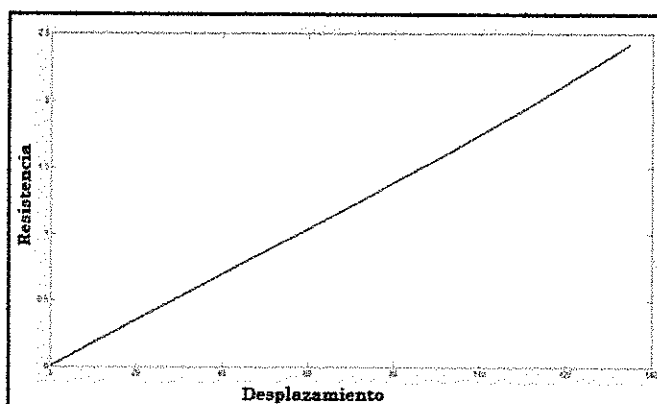


Figura 145. Grafica Desplazamiento Vs Resistencia del prototipo con modelo aproximado de la función.
Fuente. Autores.

La ecuación 81 representa la función de la grafica de la figura 145.

$$y = p1x^3 + p2x^2 + p3x + p4 \quad (81)$$

La posición está determinada en la ecuación 81, remplazando los coeficientes p1, p2, p3 y p4 que se muestran en la figura 144 obtenemos.

Modelo de Posición del prototipo:

$$y = 1.369^{-007}x^3 + -1.803^{-005}x^2 + 0.01786x + 0.005485 \quad (82)$$

Modelo de Velocidad del prototipo:

$$\dot{y} = 0.33288x^2 - 0.1049x + 0.01786 \quad (83)$$

Modelo de Aceleración del prototipo:

$$\ddot{y} = 0.66577x - 0.1049 \quad (84)$$

Para el análisis de desplazamiento Vs corriente se realizo el mismo procedimiento pero con diferente resultados de la aproximación de función. En la figura 146 se graficó aproximadamente una recta.

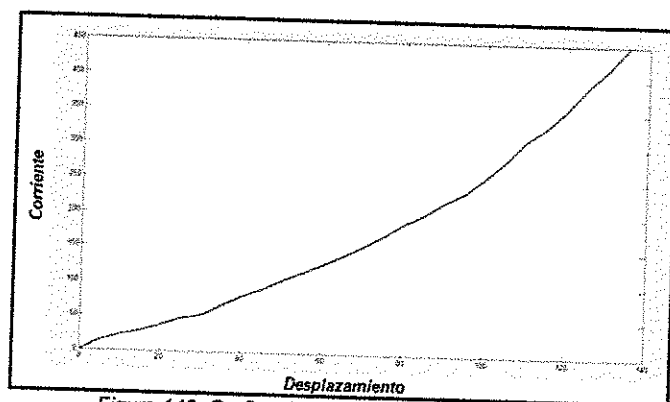


Figura 146. Grafica de Desplazamiento Vs Corriente
Fuente. Autores

Ahora se hace con curve fitting tool el modelo del aproximamiento de la función. Determinada en la ecuación 81.

```

fittedmodel1 =

Linear model Poly3:
fittedmodel1(x) = p1*x^3 + p2*x^2 + p3*x + p4
Coefficients (with 95% confidence bounds):
p1 = 0.0001043 (8.361e-005, 0.000125)
p2 = -0.003777 (-0.00803, 0.0004763)
p3 = 1.927 (1.682, 2.171)
p4 = 0.993 (-2.749, 4.735)

```

Figura 147. Modelo de la función de Desplazamiento Vs Resistencia en cftool.
Fuente. Autores

En la figura 147 se puede observar el modelo de tercer orden y así mismo sus cuatro coeficientes.

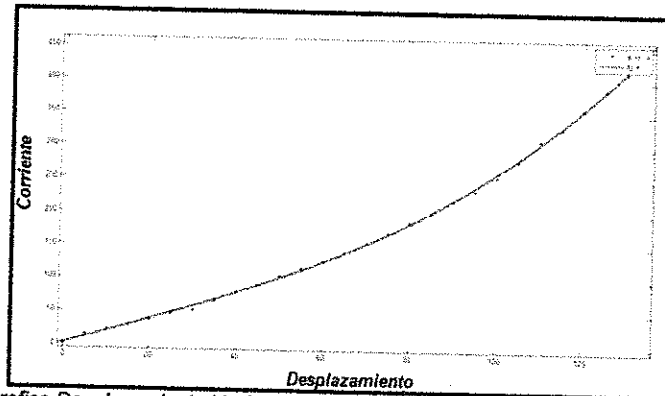


Figura 148. Grafica Desplazamiento Vs Corriente del prototipo con modelo aproximado de la función.
Fuente. Autores.

La ecuación 85 representa la función de la grafica de la figura 148.

$$y = p1x^3 + p2x^2 + p3x + p4 \quad (85)$$

La posición está determinada en la ecuación 85 remplazando los coeficientes p1, p2, p3 y p4 que se muestran en la figura 147 obtenemos.

Modelo de Posición del prototipo:

$$y = 1.043^{-4}x^3 + -37.37^{-4}x^2 + 1.927x + 0,993 \quad (86)$$

Modelo de Velocidad del prototipo:

$$\dot{y} = 3.129^{-4}x^2 - 74.74^{-4}x + 1.927 \quad (87)$$

Modelo de Aceleración del prototipo:

$$\ddot{y} = 0.0006298x - 74.74^{-4} \quad (88)$$

Es así como se obtuvieron los modelos matemáticos del prototipo.

7.2.2 Descripción de la adquisición de los datos de sensores de posición.

La adquisición de los datos se realizó por medio de la tarjeta NI USB-6009, esta posee entradas analógicas y digitales las cuales se habilitan según los requerimientos para capturar dichos datos.

A. Descripción de la tarjeta de adquisición de datos NI USB-6009.

La tarjeta de adquisición del fabricante National Instruments de referencia NI USB-6009 posee:

- 8 entradas analógicas (14 bits, 48 kS/s).
- 2 salidas analógicas (12 bits a 150 S/s).
- 12 E/S Digitales.
- Contador de 32 bits.
- Energizado por bus para una mayor movilidad.
- Conectividad de señal integrada.
- Compatible con LabVIEW, LabWindows/CVI y Measurement Studio para Visual Studio .NET.
- El software de NI-DAQmx y software interactivo NI LabVIEW SignalExpress LE para registro de datos.

En la figura 149 se pueden distinguir los módulos tanto de E/S (entradas y salidas) analógicas como digitales.

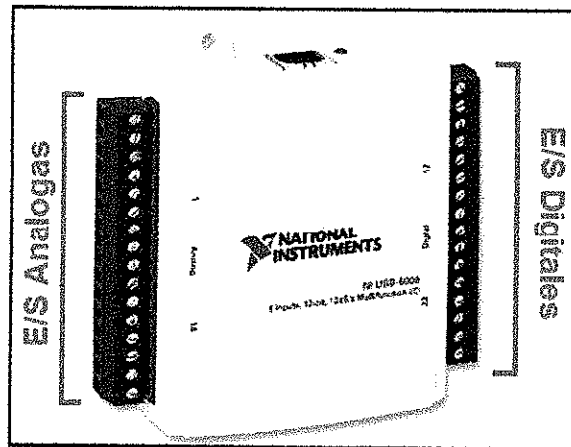
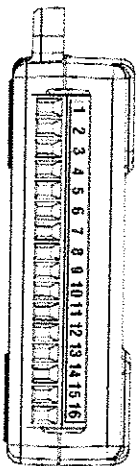


Figura 149. Imagen tarjeta de adquisición NI USB-6009
Fuente. Guía de Usuario NI USB-6009

En la tabla 11 se describen uno a uno los pines de conexión de la tarjeta tanto de entradas como de salidas análogas y digitales. Esto indicara al usuario cuáles son las posiciones que se deben trabajar para dicha aplicación. Estos pines son de fácil manipulación y así mismo de gran exactitud en la lectura de datos. En esta aplicación se utilizo solo el modulo de señales análogas.

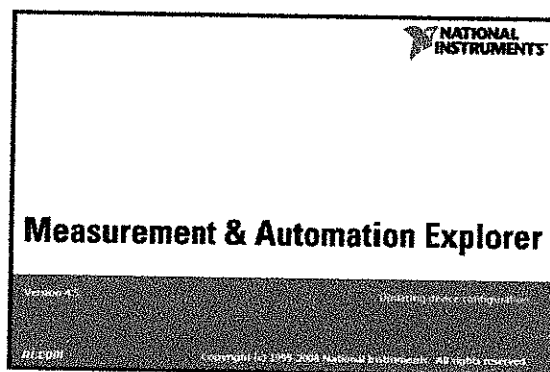
Tabla 11. Descripción modulo análogo de la tarjeta de adquisición de datos NI USB- 6009.

Module	Terminal	Signal, Single-Ended Mode	Signal, Differential Mode
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

Fuente. Guía de Usuario NI USB- 6009

B. Reconocimiento de la tarjeta de adquisición.

Para el reconocimiento de la tarjeta de adquisición NI USB- 6009 es necesario tener instalado el software Measurement & Automation Explorer NI que en este caso se utilizó la versión 4.5. La presentación de dicho software se puede ver en la figura 150.



*Figura 150. Inicio de software Measurement & Automation Explorer.
Fuente. Autores.*

Después de tener la instalación de dicho software en el PC se procede a habilitar la tarjeta que estará instalada en el puerto USB del computador. Este reconocimiento se activa entrando al icono del software llamado *Devices and Interfaces* que se muestra en la figura 151.

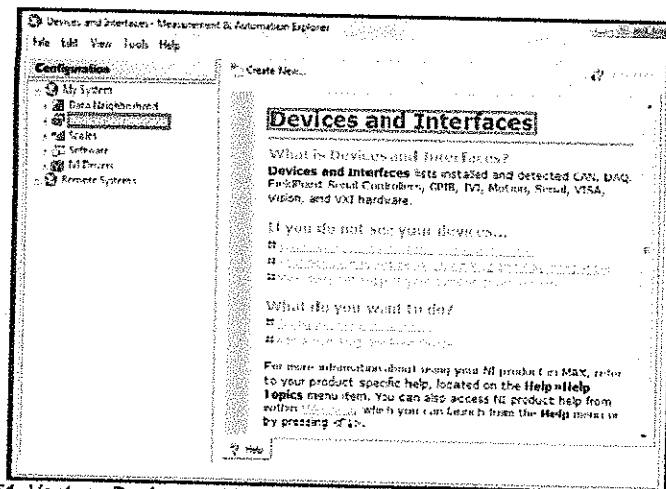


Figura 151. Ventana *Devices and Interfaces* software *Measurement & Automation explorer*.
Fuente. Autores.

Devices and Interfaces detecta e instala CAN, DAQ, FieldPoint Serial Controllers, GPIB, I/O, Motion, Serial, VISA, Vision, y VXI hardware. Luego de desplegar la opción de *Devices and Interfaces* se pueden observar tres opciones de las cuales se elegirá *NIDAQmx Devices* y en ella se visualizará la detección de la tarjeta como se muestra en la figura 152. Enseguida se procede a la realización de un test para saber si la tarjeta está en correcto funcionamiento. Se procede a seleccionar en la parte superior derecha de la ventana de la tarjeta un icono llamado *Test Panel* que es el encargado de mostrar un panel de pruebas que se le pueden realizar a la tarjeta. Como se muestra en la figura 153.

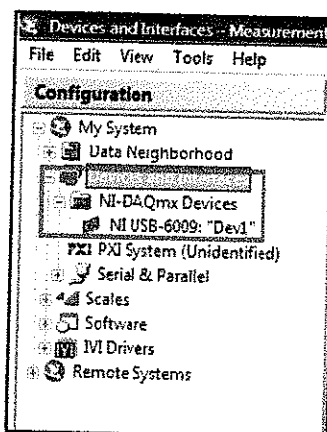


Figura 152. *NI-DAQmx Devices*.
Fuente. Autores.

La tarjeta de adquisición NI USB-6009 será reconocida por el sistema. Luego de esto se selecciona el dispositivo para hacerle un análisis.

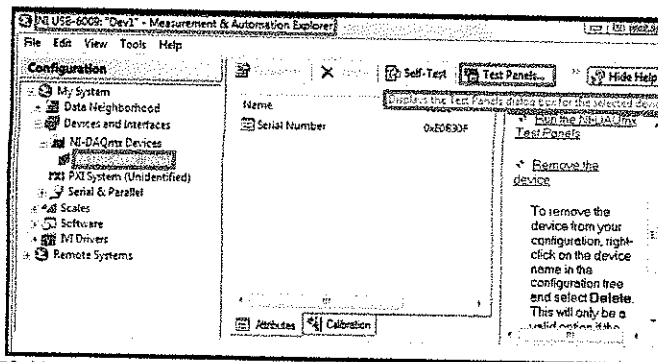


Figura 153. Ventana habilitación tarjeta NI USB-6009 para realización de panel de prueba.
Fuente. Autores.

Y se podrá realizar el test en las entradas y salidas tanto análogas como digitales, esto con el fin de poder saber que la tarjeta está funcionando bien en el banco de prueba. Este panel que se muestra en la figura 154, muestra diferentes opciones posibilitando al usuario hacer el análisis requerido.

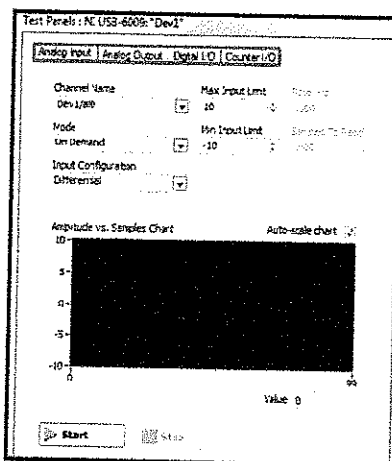


Figura 154. Test de prueba para NI USB-6009.
Fuente. Autores.

Después de hacer el reconocimiento de la tarjeta y realizar el test ya se puede habilitar una entrada análoga.

C. Diseño programa LabVIEW.

En LabVIEW se utilizaron unos VI (Instrumentos Virtuales) básicos para lograr la adquisición. Como primera medida se habilito una herramienta llamada DAQ Assistant este VI crea, edita y ejecuta tareas con él NI-DAQmx. Este se habilita para realizar procesos como son la adquisición y generación de datos tanto

análogos como digitales según lo quiera el usuario para su aplicación. Facilitando el proceso de programación. Este instrumento virtual tiene una presentación como lo muestra la figura 155.



Figura 155. VI DAQ Assistant.
Fuente. Autores

Este DAQ Assistant se configuró como una entrada análoga de resistencia. Esta configuración se ve en le figura 156.

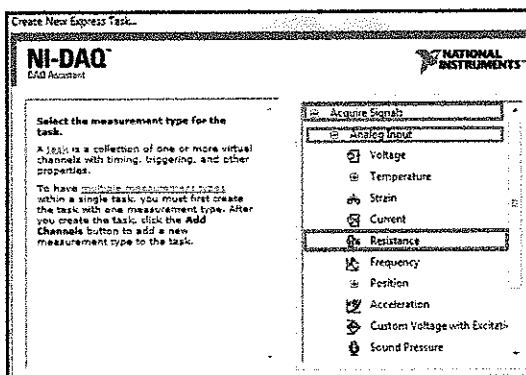


Figura 156. Configuración del DAQ Assistant como entrada análoga.
Fuente. Autores.

Es así como se configura este asistente para poder obtener la adquisición de los datos de diferentes variables. Este DAQ Assistant se configuro de la siguiente manera.

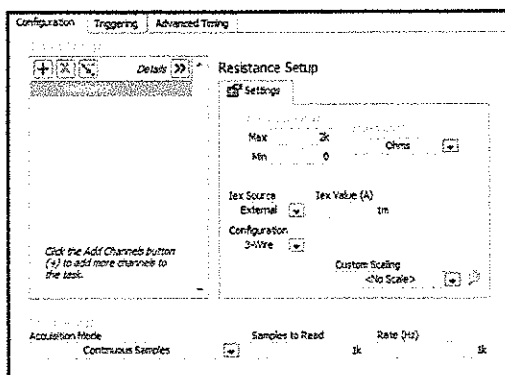


Figura 157. Configuración del DAQ Assistant.
Fuente. Autores.

Un rango de resistencia de 0 hasta 2Kohm, fuente externa, tres cables de configuración, modo de adquisición en muestras continuas a una velocidad de 1KHz y 1000 números de muestras esto se puede ver en la figura 157.

Enseguida se configuró una suma para quitar el offset que se presentaba, a la entrada analoga se le sumo una constante de 50. Como se muestra en la figura 158.



Figura 158. Instrumentos virtuales para configuración del Offset.
Fuente. Autores

Después de haber sumado este factor se realizó una multiplicación y una división para poder obtener la variación de los grados, esto se muestra en la figura 159.

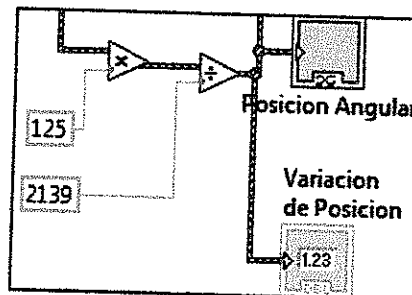


Figura 159. Configuración con matemática para obtener la posición angular.
Fuente. Autores

Con este tipo de configuración se puede visualizar la posición cuando variamos la resistencia de entrada ya que se multiplico por el ángulo máximo 125 y se dividió por el valor máximo del potenciómetro. Ahora lo que se realizo fue la construcción de la grafica que mostrara en el eje X el desplazamiento y en el eje Y la resistencia, para luego visualizar la señal en el panel frontal.

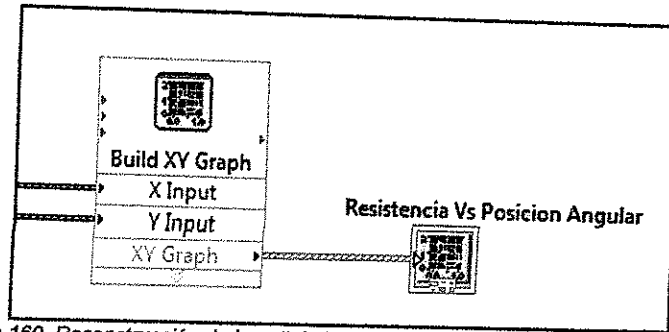


Figura 160. Reconstrucción de la señal eje X (Posición Angular) y eje Y (resistencia).
Fuente. Autores.

Luego de la reconstrucción de la señal que se puede ver los VI en la figura 160, se realizó la escritura del archivo de la generación de los datos por un archivo *.lvm*, esta es necesaria para obtener un tabla de valores que nos permita ubicar los datos más fácilmente. Cada vez que corramos la simulación se generara un archivo distinto que podremos abrir en Excel.

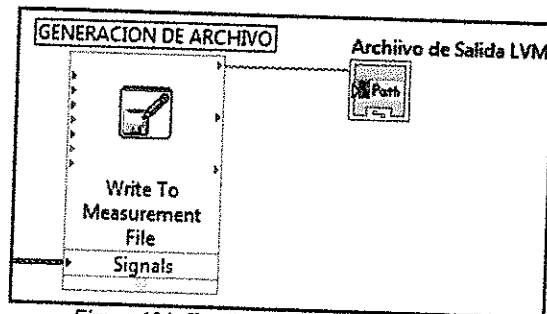


Figura 161. Escribe los datos en un archivo.
Fuente. Autores

Después de escribir estos datos se puede visualizar la ruta del archivo en un indicador. Esto se ve en la figura 161.

Se realizó la derivada de la posición en el tiempo con el icono de derivada y se visualizo en una grafica, no arrojo los datos esperados ya que en datos constantes se mostraba un tipo de pendiente, que no corresponde a la derivada del sistema.

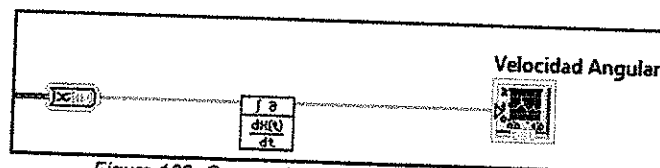


Figura 162. Generación de la derivada de la posición.
Fuente. Autores

El diagrama de bloques de los VI utilizados en esta aplicación se muestra en la figura 163.

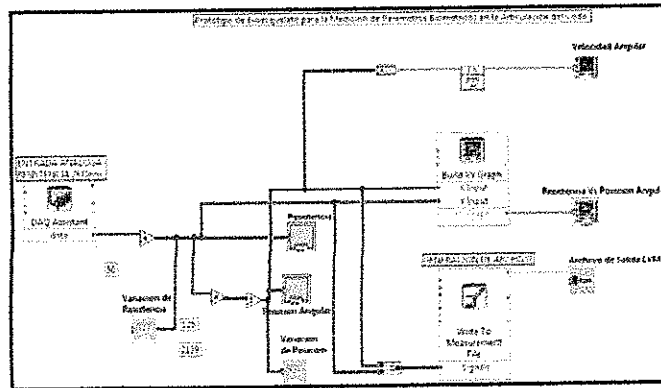


Figura 163. Diagrama de bloques general de la aplicación.
Fuente. Autores

D. Simulación con el sensor potenciómetro lineal.

Se corrió el programa en LabVIEW y se generó un movimiento en el prototipo de articulación con una alta velocidad y generaron las siguientes graficas. La figura 164 muestra la grafica de tiempo Vs resistencia mostrando a altas frecuencias una respuesta del sistema en forma oscilatoria.

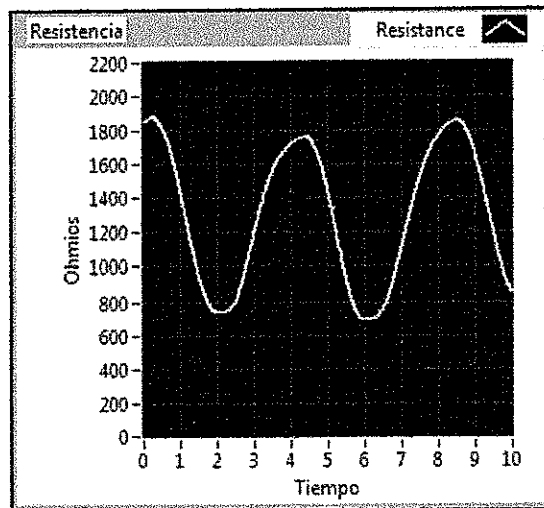


Figura 164. Tiempo Vs Resistencia.
Fuente. Autores.

En la figura 165 muestra la variación de la posición angular con respecto al tiempo y a altas frecuencias también es oscilatoria la respuesta ya que es proporcional la entrada de la variación de la resistencia con respecto a la posición angular.

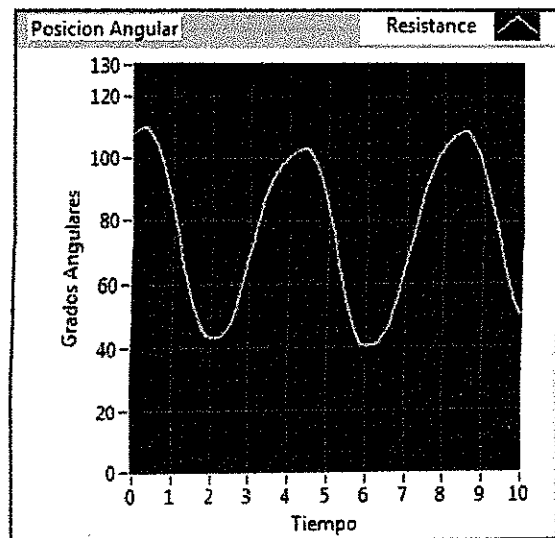


Figura 165. Tiempo Vs Grados Angulares.
Fuente. Autores.

La respuesta de la variación de la resistencia con respecto al ángulo es proporcional y esto se debe al arreglo que se hizo en el programa con respecto a una escalización para convertir la resistencia en ángulos esta variación se ve en la grafica 166.

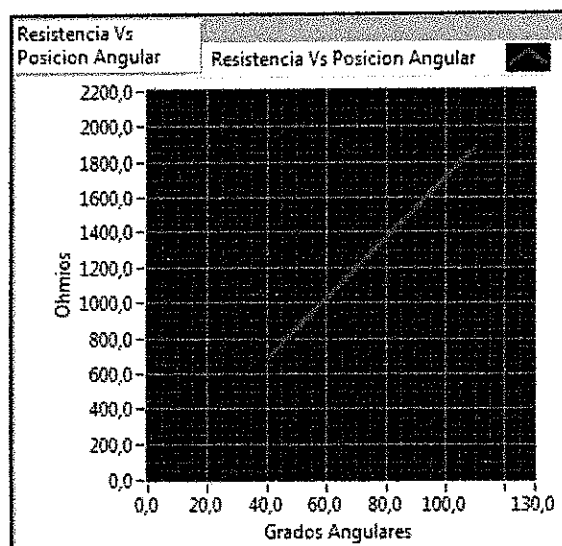


Figura 166. Grados angulares Vs Resistencia.
Fuente. Autores.

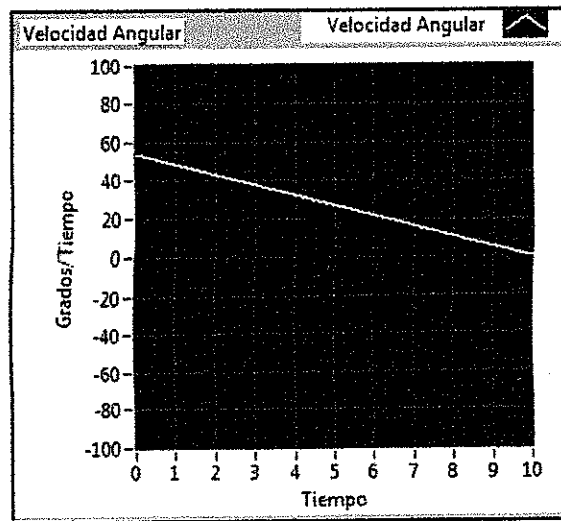


Figura 167. Derivada de la posición, Velocidad.
Fuente. Autores.

La figura 167 hace referencia a la derivada de la posición que representa la velocidad. Luego de hacer este proceso se obtiene el archivo guardado con extensión .lvm y se abre en Excel. Para poder visualizar los datos exactamente, tomando mil muestras de la simulación. Y graficándola se puede ver en las figuras 168, 169 y 170, las graficas de los datos generados en Excel para poder ser comparados con las figuras 164, 165 y 166 y verificar los datos tomados con la simulación.

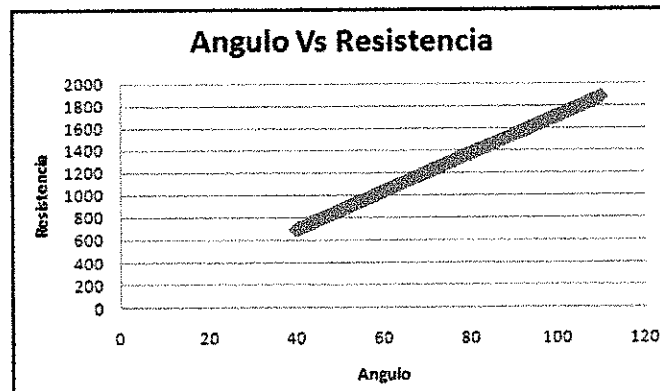


Figura 168. Angulo Vs Resistencia en Excel.
Fuente. Autores

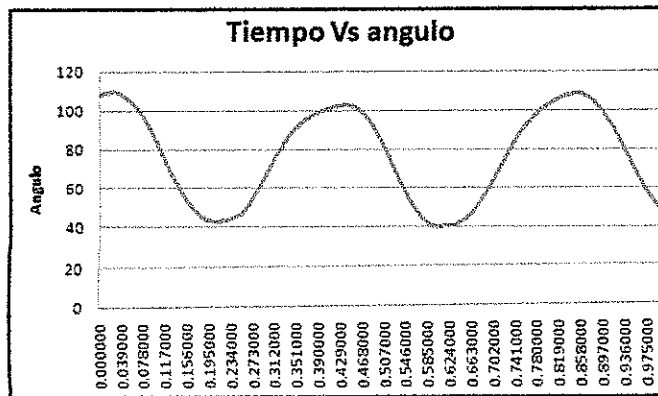


Figura 169. Tiempo Vs Angulo en Excel.
Fuente. Autores

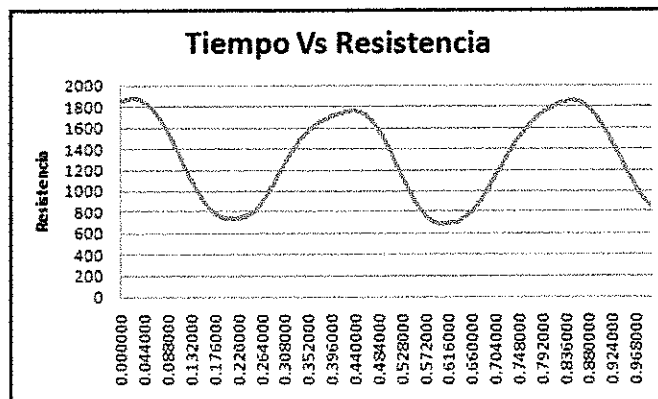


Figura 170. Tiempo Vs Resistencia en Excel.
Fuente. Autores.

El propósito de este capítulo es documentar las aplicaciones que se desarrollaron con el fin de explotar las herramientas tecnológicas que se tienen en la facultad, mostrando el resultado de cada una de las experiencias desarrolladas en la asignatura de DSP's y Bioingeniería Aplicada. Es importante reconocer que estos estudios están sujetos a cualquier tipo de variación con el fin de mejorar su funcionamiento y pueden ser utilizados en cualquier campo de la electrónica.

9. CONCLUSIONES

- Fue necesario realizar el diseño e implementación de la instrumentación electrónica para los sensores y actuadores de los módulos cartesiano y articulado adquiridos por la facultad de ingeniería electrónica, dándole uso a estas herramientas tecnológicas logrando contribuir a la investigación, también generando documentos que faciliten el desarrollo de otras aplicaciones y brindando la solución a una problemática encontrada.
- Se adquirió la información referente a sistemas de instrumentación electrónica identificando el tipo de instrumentación a implementar, para el caso del desarrollo del proyecto se hizo claridad en que era de tipo convencional, enfocando así el estudio a los componentes que integraban el sistema, esto permitió recopilar las características técnicas de cada uno de los sensores y actuadores, apoyados en las herramientas de investigación con las tutorías de los ingenieros de la facultad de Ingeniería Electrónica, libros e Internet, todo esto con el fin de tener claridad sobre el tipo de acondicionamiento de las diversas señales que posteriormente se adquirieron y distribuyeron.
- Teniendo claridad sobre el sistema de instrumentación a emplear, se seleccionaron los dispositivos electrónicos análogos y digitales apropiados, determinados para ser empleados con sensores que permitieran detectar variables de desplazamiento, en cada uno de los módulos se implementaron elementos que facilitaran convertir las variables sensadas en una señal eléctrica en este caso de voltaje, para el modulo robótico cartesiano se emplearon Encoders incrementales y motogeneradores, que por sus características permiten una fácil manipulación y adquisición de señales por parte del usuario, en cuanto al modulo robótico articulado se seleccionaron potenciómetros ya que generan una señal de variación proporcional al desplazamiento. Para los actuadores se utilizaron motores de corriente directa, puesto que la característica de cada sistema es dar movilidad a cada una de sus herramientas según su aplicación.
- La parte clave de este proyecto fue el acondicionamiento de las señales tanto de los sensores como de los actuadores, buscando capturar y emitir señales de voltaje manipulables como base para diseñar sistemas de control y comunicaciones. Cada uno de los módulos presenta un diseño de instrumentación de acuerdo a las características de los dispositivos, para el cartesiano y articulado se determino el tipo de señal generada; el dato proporcionado por el Encoder incremental, es de frecuencia se convierte a

voltaje mediante el LM2907, esta señal se enviaba al seguidor por medio del amplificador LF353, luego va a un acoplamiento con el dispositivo 4N25 para evitar daños en el sistema, filtrando posibles ruidos y por ultimo tomando una señal de salida en voltaje DC. Para el motogenerador se realizo un procedimiento similar, con algunas variaciones, como la señal que brinda el motogenerador es del orden de los mV se hizo necesario *amplificarla mediante el LF353 con ganancia de 10, seguidamente acoplarla y filtrarla*. Para los actuadores se planteo utilizar el L298 un puente H integrado, pero por su baja disipación de corriente limito sus aplicaciones por lo tanto se recurrió a un diseño que soportara una alta potencia para lo cual se empleo el puente H que por su combinación de transistores de potencia 2N3055 permitió tener una buena respuesta en la conmutación de cada actuador.

- Se realizaron los cálculos de los diseños y se simularon cada uno de los sistemas de instrumentación corroborando el buen funcionamiento para hacer la implementación de cada prototipo, donde se encontraron algunas fallas, como sucedió en el puente H cuando se alimento la etapa de potencia con los 12Vdc, se noto una caída de tensión en el cable ya que el calibre que se empleo no soportaba el nivel excesivo de alimentación de corriente, se implementaron filamentos de conexión de un calibre más elevado específicamente los que se utilizan para alterna permitiendo que no se presentaran caídas que afectaran el buen funcionamiento de la carga.
- El diseño de los circuitos impresos se baso en los requerimientos de cada dispositivo, teniendo especial cuidado en el ancho de las pistas como ya se menciono anteriormente el nivel de corriente de el puente H es bastante elevado y para una alta eficiencia fue necesario referenciar este ítem.
- En el manual de usuario se estipuló la estructura mecánica y electrónica de cada uno de los robots, mostrando la conectividad de cables y el orden de instalación en las borneras, esto con el fin de evitar posibles daños mecánicos, también se muestra la conectividad de cada uno de los circuitos impresos y el voltaje con el que se debe polarizar, para prevenir daños en los dispositivos que los integran. Y así mismo las hojas técnicas de los dispositivos poseen la información necesaria la cual se debe leer e interpretar apropiadamente para obtener el funcionamiento óptimo de los elementos electrónicos.

- Con este proyecto de investigación se realizó un artículo de matemática aplicada a los sistemas de instrumentación, el cual participo como conferencia en el congreso internacional de ALAMMI realizado en la UPTC en el mes de junio del presente año, mostrando que la matemática como lenguaje universal es la base fundamental para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto que se emprenda en ingeniería, notándose así que si se *mezcla la teoría con la práctica se tiene un conocimiento más sólido*, que conlleva a la creación de equipos más sofisticados.
- En el trayecto del desarrollo de nuestro proyecto, surgieron inconvenientes que nos llevaron a buscar soluciones prácticas, permitiendo que no solamente se adquirieran conocimientos sino que además experimentalmente se probaban teorías que tal vez no se podían conceptualizar y solo en la práctica se conocieran conceptos de instrumentación electrónica.
- Las aplicaciones generadas en este proyecto, fundamentan la importancia de articular las asignaturas vistas en el trayecto de la carrera, ya que se explotan las diferentes herramientas tecnológicas que posee la Universidad Santo Tomas y así mismo se forman las estructuras mentales de los estudiantes investigadores, logrando desarrollar trabajos que aporten al fortalecimiento de la Facultad De Ingeniería Electrónica.

10. RECOMENDACIONES

- Para la conectividad de los sensores y actuadores de los módulos con la instrumentación electrónica es necesario hacer una correcta lectura del *manual de operación anexo a este libro*, de esta dependerá el buen funcionamiento del sistema.
- En las futuras aplicaciones con los módulos robóticos será necesario hacer unas variaciones a la estructura mecánica, ya que su peso es demasiado elevado y por ello las tareas a realizar serán limitadas.
- Se postula la idea de ubicar sensores de presión en las pinzas pivotes de los módulos, con esto se tendrán datos más exactos de la capacidad de agarre de las mismas como también la caracterización dinámica y estática de cada uno de los sensores ubicados en los robots con el fin de la realización del control de la planta.
- Realizar mantenimiento periódico con intervalos de 3 meses a la estructura mecánica, aplicando aceite en los puntos de engranaje de los sistemas.

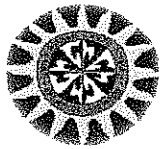
11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Pertenece J: "Amplificadores operacionales y filtros activos. Teoría, proyectos y aplicaciones prácticas". McGraw-Hill. 1990.
- [2] BALCELLS, Josep y ROMERAL, José Luis: "Autómatas Programables", pag.114, Barcelona, España. Editorial Marcombo. 1997. ISBN: 84-267-1089-1.
- [3] By R. C. Dorf and J. A. Svoboda: "Introduction to Electric Circuits". Editorial For Elektroda. Sexta Edición.
- [4] CRAIG, Jhon J: "Introduction to Robotics". Ed Addison Wesley Longman. Segunda Edición.
- [5] CREUS, A. (2005) "Instrumentación Industrial". Ed. Marcombo, Alfaomega. Barcelona.
- [6] DUNN, W. C. "Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control". McGraw-Hill Book Company, 2005.
- [7] GONZALEZ, R C: "Robótica KS FU". McGraw-Hill Book Company. 84-7615-214-0.
- [8] KELLY, Rafael. SANTIBAÑEZ, Víctor: "Control de Movimiento de Robots manipuladores". Editorial Prentice Hall.2003.
- [9] LUECKE, J. "Analog and Digital Circuits for Electronic Control System Applications". Ed. Elsevier. 2005.
- [10] MALONEY. T. J. "Electrónica Industrial Moderna". Editorial Prentice Hall. 3a Ed.2003.
- [11] MAXIMO T, Eugenio: "Theory and Design of Electrical and Electronic Circuits". Editorial For Elektroda.
- [12] PALLÁS, Areny Ramón: "Adquisición y Distribución de señales", pag. 329, Barcelona, España. Editorial Marcombo. 1993.
- [13] R. F. Coughlin and F. F. Driscoll: "Operational Amplifier and Linear Integrated Circuits". Fifth Edition, Prentice-Hall. 1998.

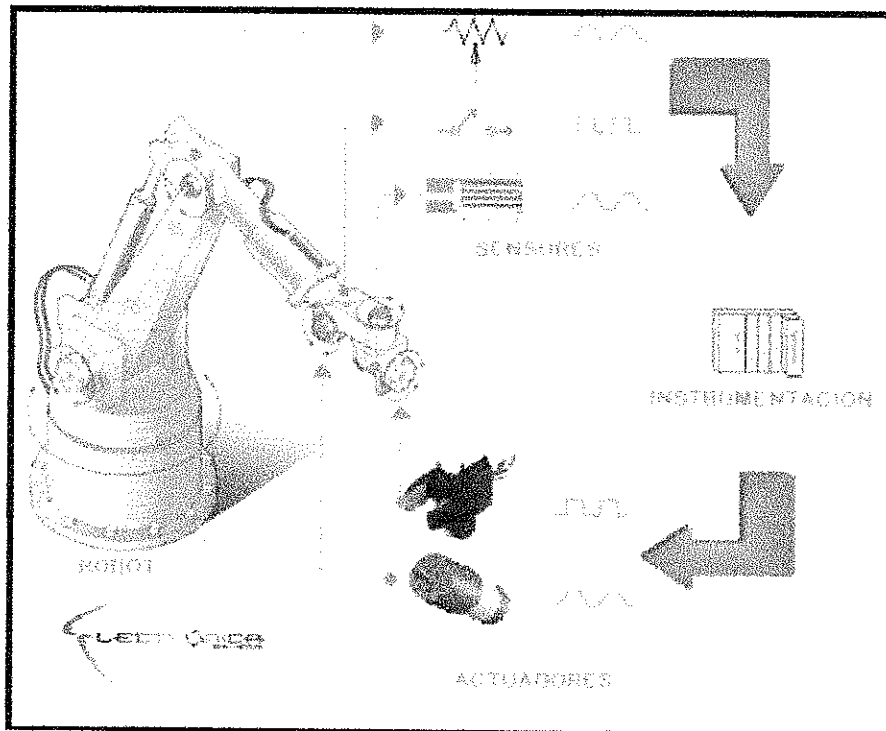
[14] SKOOG, Douglas, HOLLER, James y CROUCH, Stanley, "Principios de análisis instrumental", pag.63. Editorial Cengage. Sexta edición.2001.

[15] STHEPEN J. O Neil: "Motion control Handbook". Editorial Micro Mo electronics. .800-807-9166.

MANUAL DE CONECTIVIDAD Y CORRECCIÓN DE FALLAS



Módulos Robóticos (Cartesiano y Articulado)



Universidad Santo Tomas de Aquino
Facultad de Ingeniería Electrónica

Elaborado por: Mary Yohanna Cruz Guerrero
Diana Lorena Morales Guerrero

INDICE:

- **Seguridad.**
- **Descripción de modulo robótico cartesiano.**
 - Actuadores
 - Sensores
 - Tabla de conectividad cableado
 - Tabla de conectividad de Borneras Actuadores.
 - Tabla de conectividad Borneras Sensores.
- **Descripción de modulo robótico Articulado.**
 - Sensores
 - Actuadores
 - Tabla de conectividad cableado
- **Conexión de instrumentación de cada uno de los Robots.**
 - Instrumentación sensores.
 - Instrumentación Actuadores.
- **Fuente regulada.**
- **Sugerencias.**
 - Generales.
 - Específicas.
- **Corrección Fallas.**
 - En los sensores
 - En los actuadores
 - En el sistema de instrumentación actuadores
 - En el sistema de instrumentación sensores

MANUAL DE USUARIO:

En este manual usted encontrara toda la información para su seguridad y para el uso correcto de los módulos robóticos (cartesiano y articulado). Lea todas las instrucciones antes de utilizar los sistemas de instrumentación y guárdelas para futuras aplicaciones.

Seguridad:

Para el usuario instalador:

- Antes de conectar cualquiera de los subsistemas de instrumentación asegúrese de no tener ningún tipo de alimentación, verifique el posicionamiento de los eslabones, para evitar posibles daños en la estructura mecánica, revise las tensiones de alimentación de cada una de las etapas según la tabla de conectividad.
- Se deben realizar de manera correcta las conexiones de cada uno de los circuitos impresos cada uno con sistema de protección optoacoplado; cualquier problema en la conexión podría ocasionar un daño parcial o total de ella así como encuentra.
- Verifique las numeraciones de las borneras, identificando los sensores y actuadores. Evite sobrepasar el límite de peso de los módulos ya que esto puede generar sobrecargas, causando daños irreversibles en los sistemas de instrumentación.
- No opere los módulos en áreas inestables, tampoco lo exponga a la intemperie puesto que puede causar corrosión y deterioro de las piezas.
- Si presenta algún problema de conectividad o fallo en las piezas que lo integran, es necesario quitar la alimentación del equipo para realizar las correcciones pertinentes.

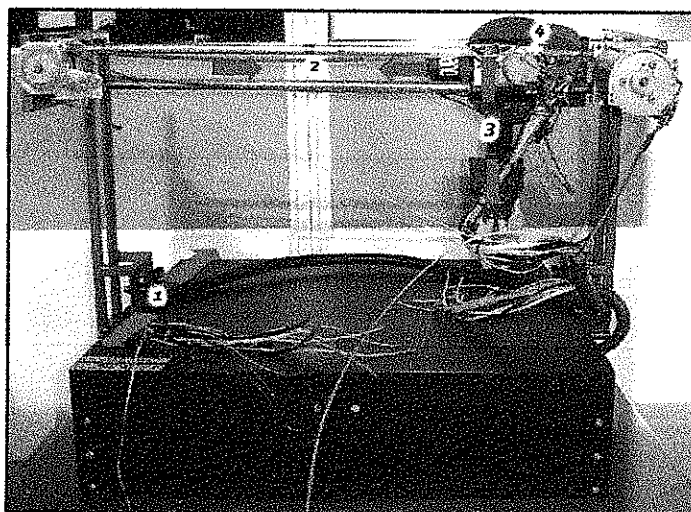
Descripción de modulo robótico cartesiano:

Básicamente esta compuesto por los ejes X, Y, Z, PICH y pinza pivote, permitiendo que se pueda desplazar en 5 grados de libertad, facilitando ubicar la herramienta en la posición deseada, para ejecutar esta operación es necesario activar los motores de Vdc, que a su vez generan una señal que es medida por los sensores de posición.

Partes:

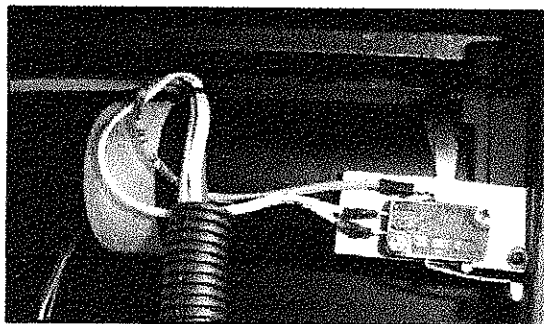
Grados de libertad:

1. Eje X.
2. Eje Y.
3. Eje Z.
4. Eje PICH.



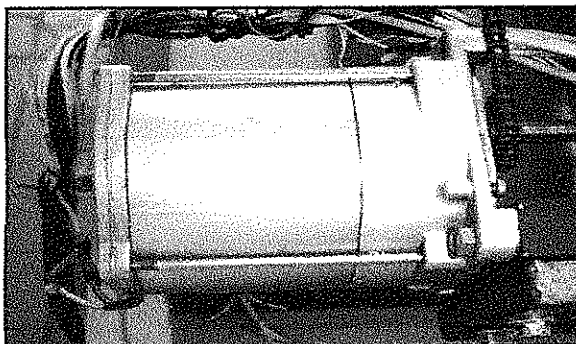
Actuadores:

1. Motor eje X.



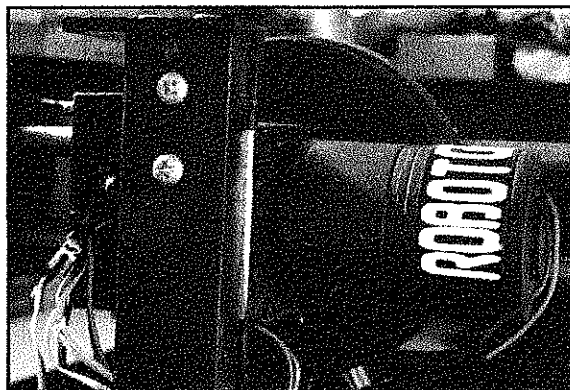
VOLTAJE (DC)	CORRIENTE(A)	POTENCIA(W)
12	3.15	37.8

2. Motor eje Y.



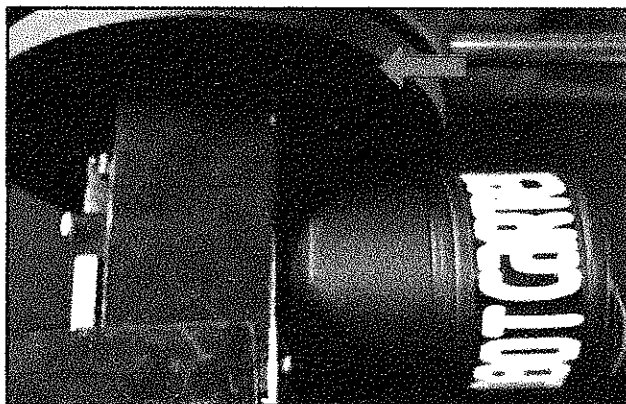
VOLTAJE (DC)	CORRIENTE(A)	POTENCIA(W)
12	1	12

3. Motor eje Z.



VOLTAJE (DC)	CORRIENTE(A)	POTENCIA(W)
12	0.5	6

4. Motor eje PICH.

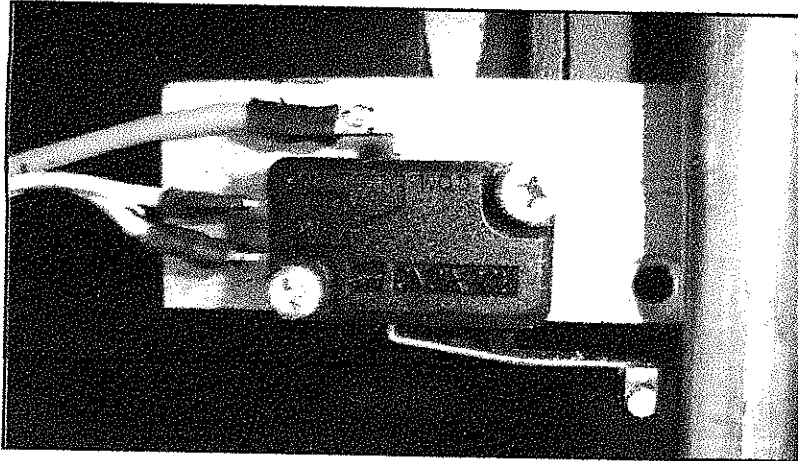


VOLTAJE (DC)	CORRIENTE(A)	POTENCIA(W)
12	0.5	6

Sensores:

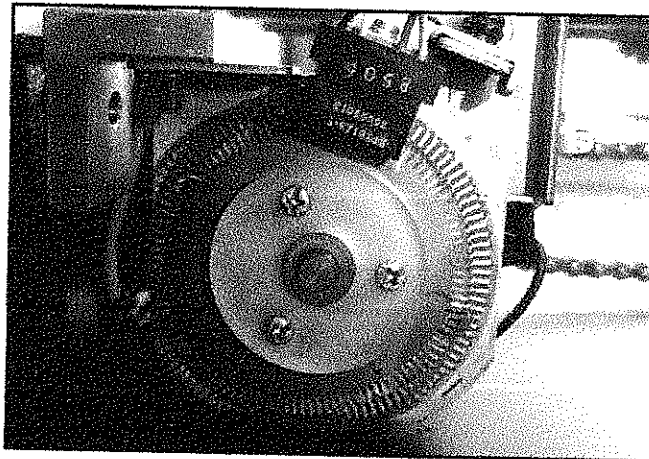
Eje X:

1. *|Sensor fin de curso eje X.*



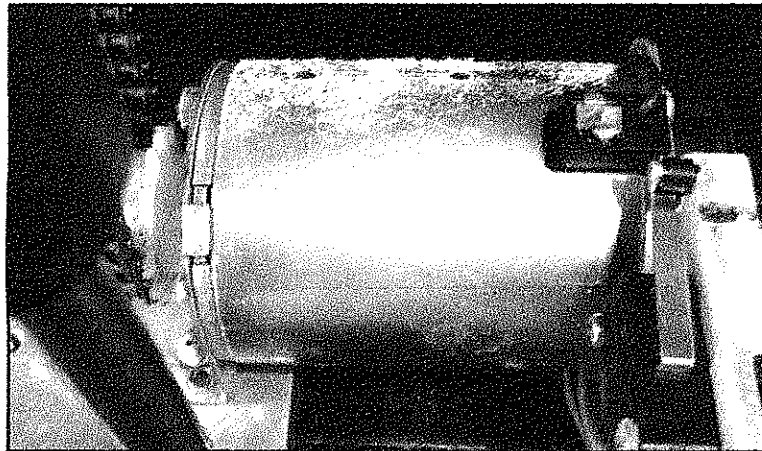
Tipo Variable a Medir: Proximidad.
Efecto físico utilizado para la medición: eléctrico.
Tipo de variable eléctrica que entrega: On-Off
Aporte de energía: Pasivo.

2. *Sensor encoder incremental 110 pasos.*



Tipo Variable a Medir: Física, movimiento angular.
Efecto físico utilizado para la medición: óptico, foto resistivos.
Tipo de variable eléctrica que entrega: digital.
Aporte de energía: Pasivos.

3. *Sensor Motogenerador de 700mV.*



Tipo Variable a Medir: Física, movimiento angular.

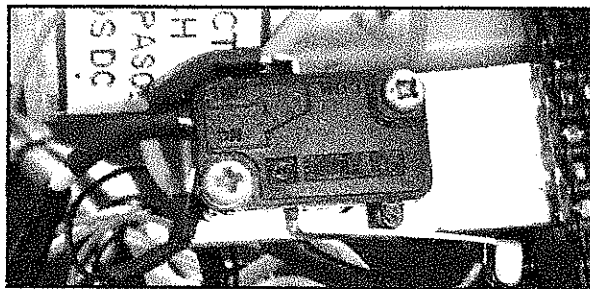
Efecto físico utilizado para la medición: eléctrico

Tipo de variable eléctrica que entrega: Analógica 0-500mV

Aporte de energía: Pasivos.

Eje Y:

1. *Sensor fin de curso.*



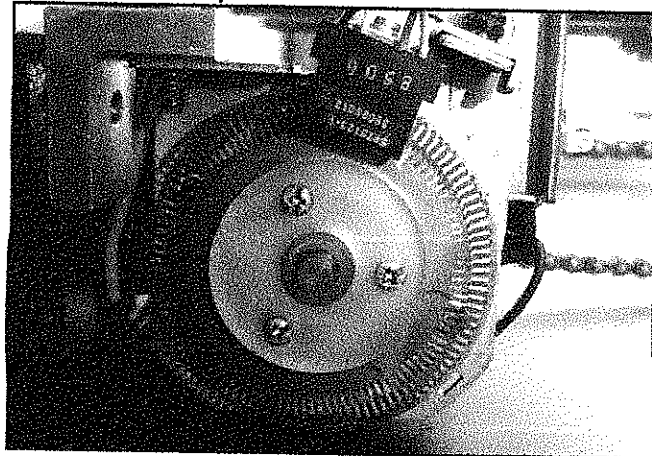
Tipo Variable a Medir: Proximidad.

Efecto físico utilizado para la medición: eléctrico.

Tipo de variable eléctrica que entrega: On-Off

Aporte de energía: Pasivo.

2. *Sensor encoder incremental 110 pasos.*



Tipo Variable a Medir: Física, movimiento angular.
Efecto físico utilizado para la medición: óptico, foto resistivos.
Tipo de variable eléctrica que entrega: digital.
Aporte de energía: Pasivos

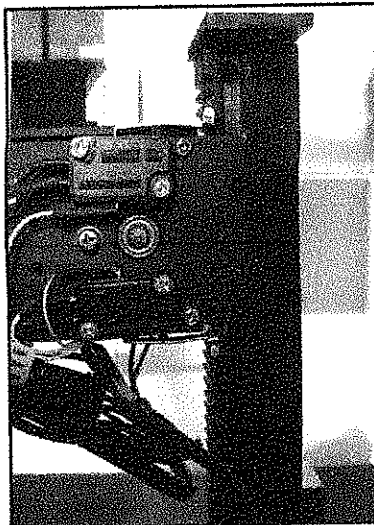
3. *Sensor Motogenerador*



Tipo Variable a Medir: Física, movimiento angular.
Efecto físico utilizado para la medición: Eléctrico
Tipo de variable eléctrica que entrega: Analógica 0-600mV
Aporte de energía: Pasivos.

Eje Z:

1. Sensor fin de curso subida y bajada



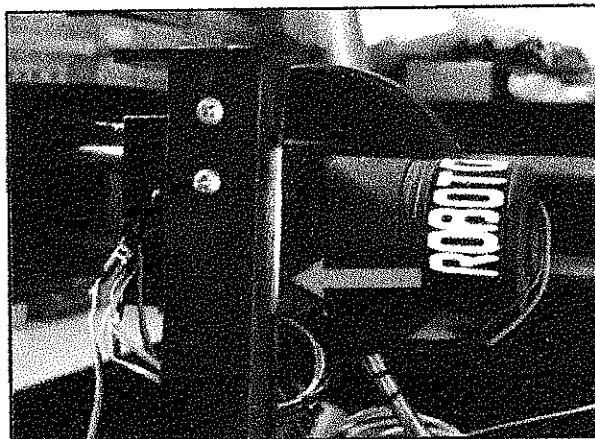
Tipo Variable a Medir: Proximidad.

Efecto fisico utilizado para la medición: eléctrico.

Tipo de variable eléctrica que entrega: On-Off

Aporte de energía: Pasivo.

2. Sensor encoder Incremental de 45 pasos



Tipo Variable a Medir: Física, movimiento angular.

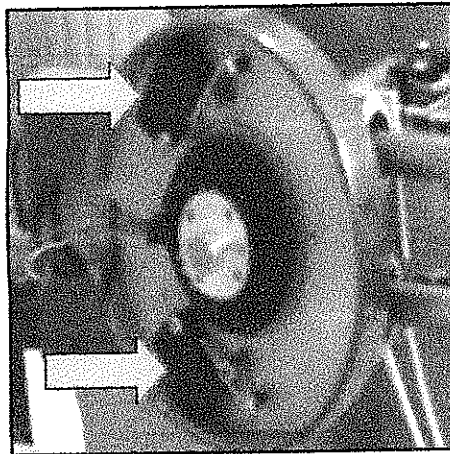
Efecto fisico utilizado para la medición: óptico, foto resistivos.

Tipo de variable eléctrica que entrega: digital.

Aporte de energía: Pasivos.

Eje Pich:

1. Sensor fin de curso derecha e izquierda



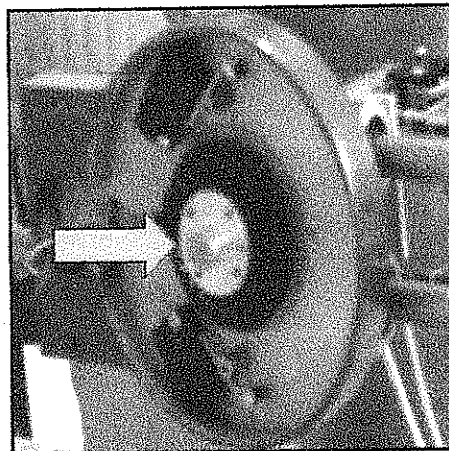
Tipo Variable a Medir: Proximidad.

Efecto físico utilizado para la medición: eléctrico.

Tipo de variable eléctrica que entrega: On-Off

Aporte de energía: Pasivo.

2. Sensor encoder Incremental de 29 pasos



Tipo Variable a Medir: Física, movimiento angular.

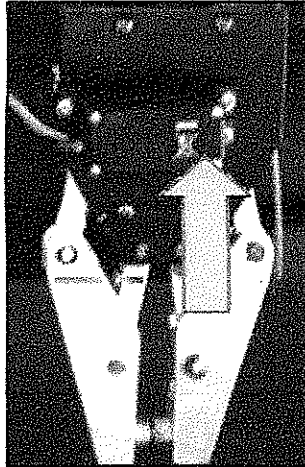
Efecto físico utilizado para la medición: óptico, foto resistivos.

Tipo de variable eléctrica que entrega: digital.

Aporte de energía: Pasivos.

3. Pinza Pivote:

Sensor de Posición (Servomotor):
Potenciómetro logarítmico 0~10K Ω



Tipo Variable a Medir: Física de posición.

Efecto físico utilizado para la medición: Eléctrico, resistivo.

Tipo de variable eléctrica que entrega: Analógica

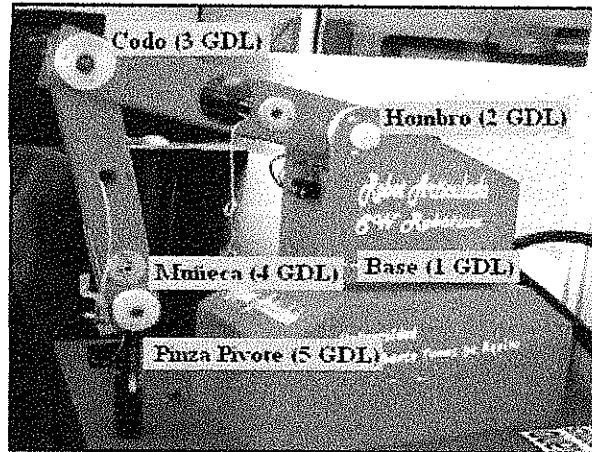
Aporte de energía: Pasivo.

**TABLA DE CONECTIVIDAD DE DISTRIBUCION Y ADQUISICION DE SEÑALES
CARTESIANO:**

Número	Partes (Sensor- Actuador)
1	<i>Encoder 110 pasos eje Y</i>
2	<i>Fin de curso derecha eje Y. (Rec.N)</i>
3	<i>Fin de curso derecha eje Y. (Rec.N)</i>
4	<i>Motor Transmisión eje Z</i>
5	<i>Fin de curso izquierda eje PICH</i>
6	<i>Motogenerador eje Y</i>
7	<i>Encoder 45 pasos eje Z</i>
8	<i>Encoder 29 pasos</i>
9	<i>Servomotor (Señal PWM)</i>
10	<i>Fin de curso izquierda eje Z</i>
11	<i>Fin de curso derecha eje Z</i>
12	<i>Común fin de curso (Amarillo)</i>
13	<i>Fin de curso derecha eje PICH</i>
14	<i>Motor de Transmisión eje Y</i>
15	<i>Motor de Transmisión eje PICH</i>
16	<i>Motor de Transmisión eje X</i>
17	<i>Motogenerador eje X</i>
18	<i>Encoder 110 pasos eje X</i>
19	<i>Fin de curso izquierda eje X</i>
20	<i>Fin de curso derecha eje X</i>
21	<i>Motogenerador encoder 110 pasos</i>

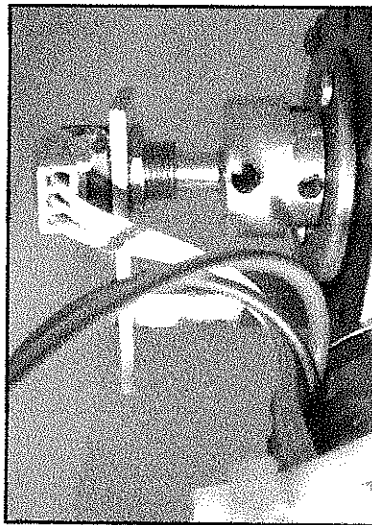
Descripción Modulo Robótico Articulado:

Está compuesto por la base, hombro, codo, muñeca y pinza pivote permitiendo que se pueda desplazar en 5 grados de libertad (GDL), facilitando ubicar la herramienta en la posición deseada, para ejecutar esta operación es necesario activar los motores de Vdc, que a su vez generan una señal que es medida por los sensores de posición.



Base:

Sensor de Posición: Potenciómetro lineal 0~100K Ω



Tipo Variable a Medir: Física de posición.

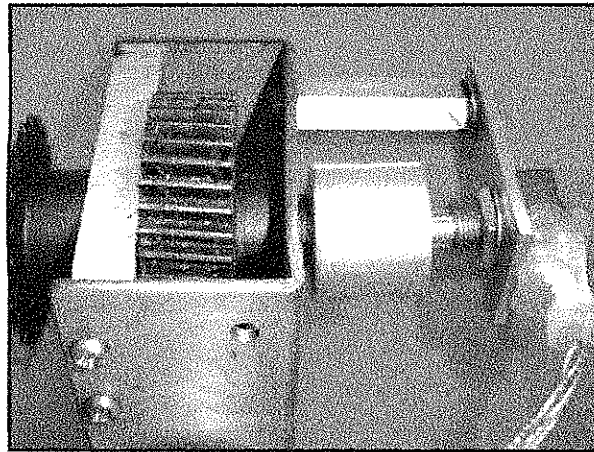
Efecto físico utilizado para la medición: Eléctrico, resistivo.

Tipo de variable eléctrica que entrega: Analógica

Aporte de energía: Pasivo.

Hombro:

1. Sensor de Posición: Potenciómetro lineal 0~100K Ω



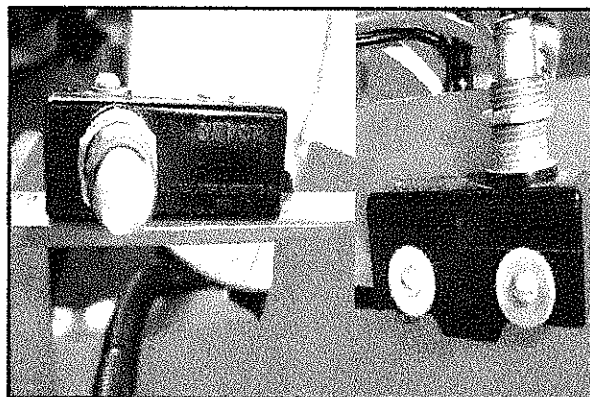
Tipo Variable a Medir: Física de posición.

Efecto físico utilizado para la medición: Eléctrico, resistivo.

Tipo de variable eléctrica que entrega: Analógica.

Aporte de energía: Pasivo.

2. Sensor fin de curso subida y bajada



Tipo Variable a Medir: Proximidad.

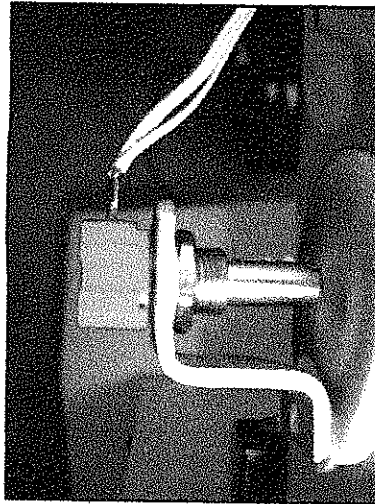
Efecto físico utilizado para la medición: eléctrico.

Tipo de variable eléctrica que entrega: On-Off

Aporte de energía: Pasivo.

Codo:

Sensor de Posición: Potenciómetro lineal 0~100K Ω



Tipo Variable a Medir: Física de posición.

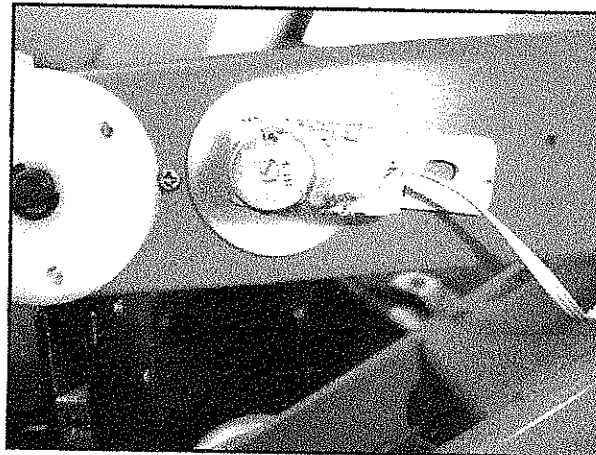
Efecto físico utilizado para la medición: Eléctrico, resistivo.

Tipo de variable eléctrica que entrega: Analógica.

Aporte de energía: Pasivo.

Muñeca:

Sensor de Posición: Potenciómetro logarítmico 0~10K Ω



Tipo Variable a Medir: Física de posición.

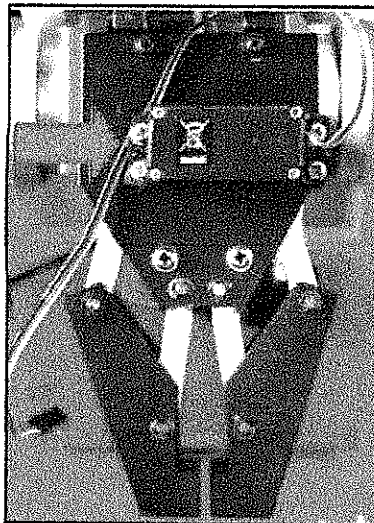
Efecto físico utilizado para la medición: Eléctrico, resistivo.

Tipo de variable eléctrica que entrega: Analógica

Aporte de energía: Pasivo.

Pinza Pivote:

Sensor de Posición Servomotor: Potenciómetro lineal 0~10K Ω



Tipo Variable a Medir: Física de posición.

Efecto físico utilizado para la medición: Eléctrico, resistivo.

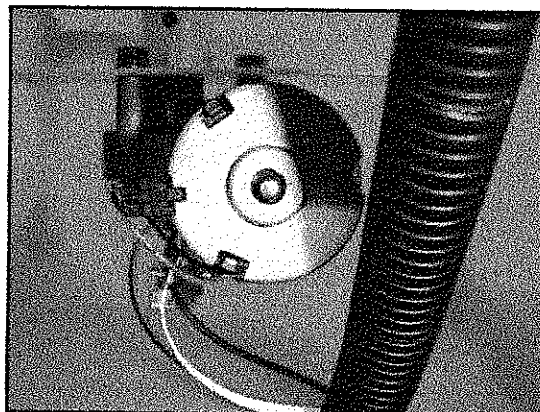
Tipo de variable eléctrica que entrega: Analógica.

Aporte de energía: Pasivo.

Actuadores

Base

Motor de Transmisión base



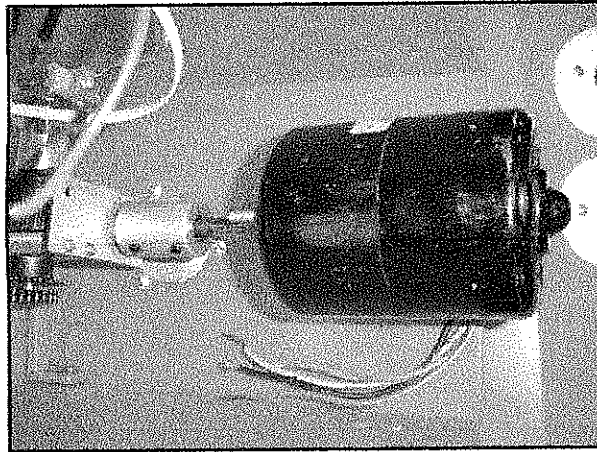
Voltaje DC: 12 Vdc

Corriente: 2 A

Potencia: 24W

Hombro

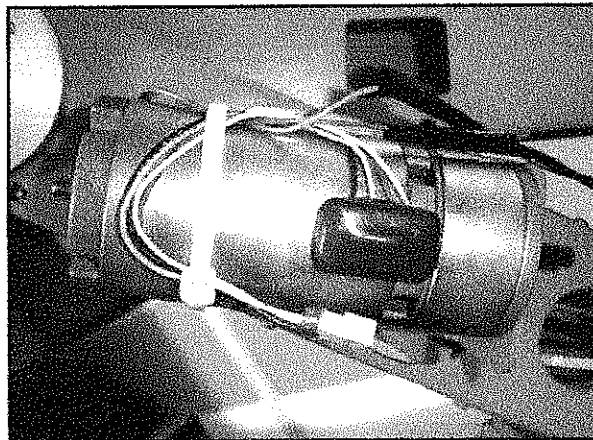
Motor de Transmisión Hombro



Voltaje DC: 12 Vdc
Corriente: 25 A
Potencia: 300W

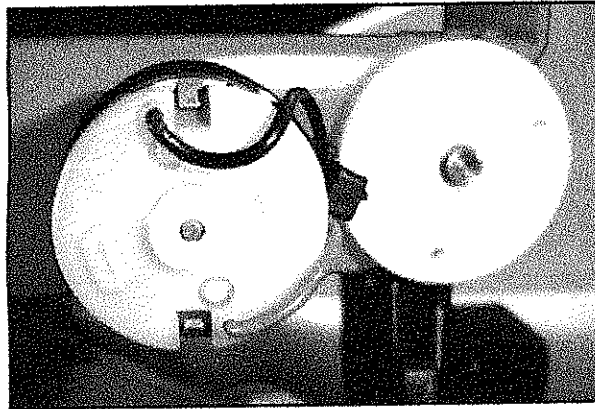
Codo

Motor de Transmisión Codo



Voltaje DC: 12 Vdc
Corriente: 1A
Potencia: 12W

Muñeca
Motor de Transmisión Muñeca



Voltaje DC: 12 Vdc
Corriente: 1A
Potencia: 12W

**TABLA DE CONECTIVIDAD DE DISTRIBUCION Y ADQUISICION DE SEÑALES
ARTICULADO:**

Número	Partes (Sensor- Actuador)
1	<i>Motor Muñeca</i>
2	<i>Positivo bajar</i>
3	<i>Positivo subir</i>
4	<i>Motor Hombro</i>
5	<i>Sensor Hombro</i>
6	<i>Sensor codo</i>
7	<i>Sensor Muñeca</i>
8	<i>Servomotor Pinza (N, R y V)</i>
9	<i>Motor Codo</i>
10	<i>Motor Base</i>
11	<i>Sensor Base</i>

CONEXIÓN DE INSTRUMENTACIÓN PARA ADQUISICION DE SEÑALES DE CADA UNO DE LOS ROBOTS.

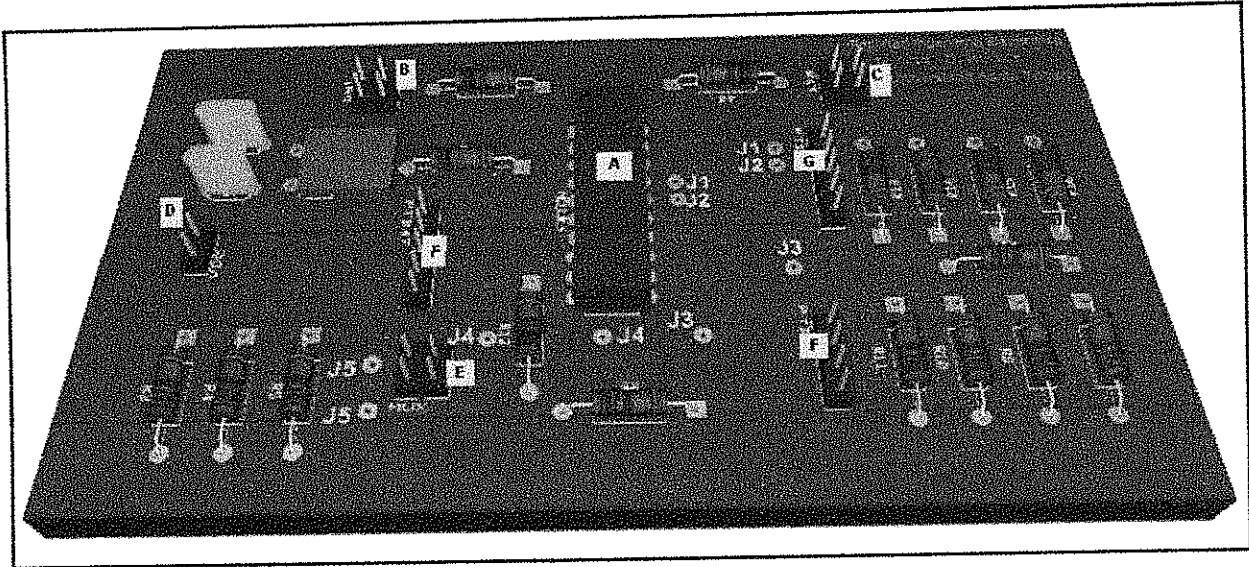
- a) La primera etapa es la entrada de diferentes señales generadas por los sensores las cuales son de tipo análogo que varían de 0Vdc hasta 5Vdc, este voltaje podrá variar dependiendo de la aplicación (potenciómetro, Encoder y motogenerador).
- b) La segunda etapa es la multiplexación análoga, la cual se hace para la optimización de recursos ya que se proporciona un ahorro de hardware, permitiendo seleccionar un canal de salida todo esto se da cuando las entradas del MUX presentan niveles lógicos como se ve en la tabla. Estas pueden ser seleccionadas mediante el software del microcontrolador JK3.
- c) La tercera etapa es la amplificación que dependiendo de las características de las señales adquiridas se utilizara como amplificador seguidor y no inversor.
- d) La cuarta etapa es el optoacoplado que brinda una seguridad al circuito de control con respecto al de potencia.
- e) La quinta etapa es el filtro, este elimina posibles ruidos que puedan afectar las señales generadas que posteriormente serán utilizadas en la etapa de control.

Tabla de Verdad del Multiplexor MPC506A

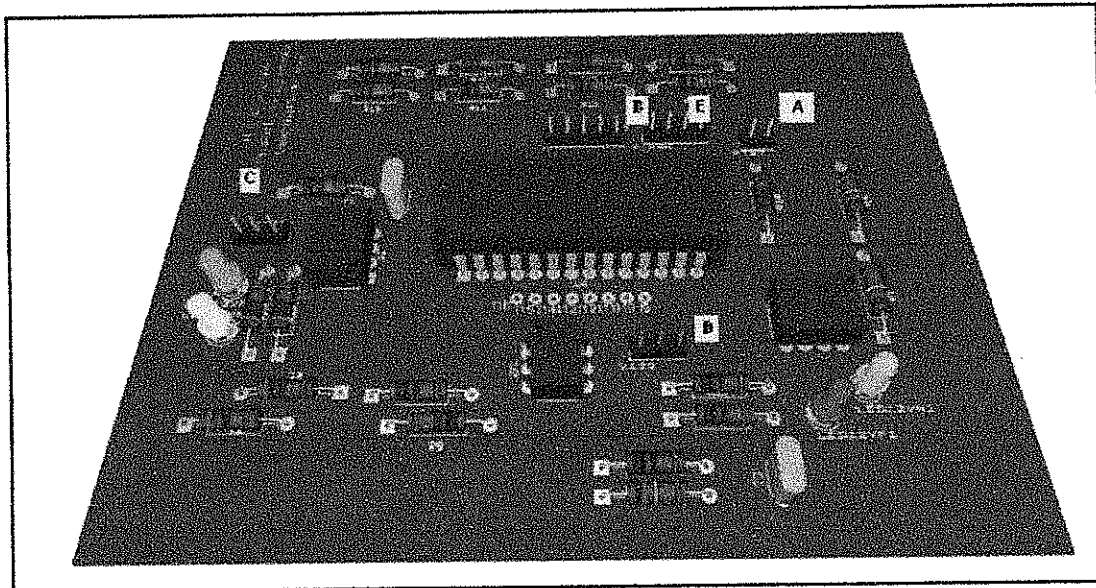
A_3	A_2	A_1	A_0	EN	ON Channel
X	X	X	X	L	None
L	L	L	L	H	1
L	L	L	H	H	2
L	L	H	L	H	3
L	L	H	H	H	4
L	H	L	L	H	5
L	H	L	H	H	6
L	H	H	L	H	7
L	H	H	H	H	8
H	L	L	L	H	9
H	L	L	H	H	10
H	L	H	L	H	11
H	L	H	H	H	12
H	H	L	L	H	13
H	H	L	H	H	14
H	H	H	L	H	15
H	H	H	H	H	16

Conectividad Tarjeta Microcontrolador JK3:

- A) Microcontrolador JK3.
- B) Salida Enable a MUX
- C) Pulsador reset de Microcontrolador.
- D) Alimentación de Impreso a Vdc.
- E) Salida MUX.
- F) Salida digital.
- G) Entrada digital lógica (basada en la tabla de verdad del MUX)

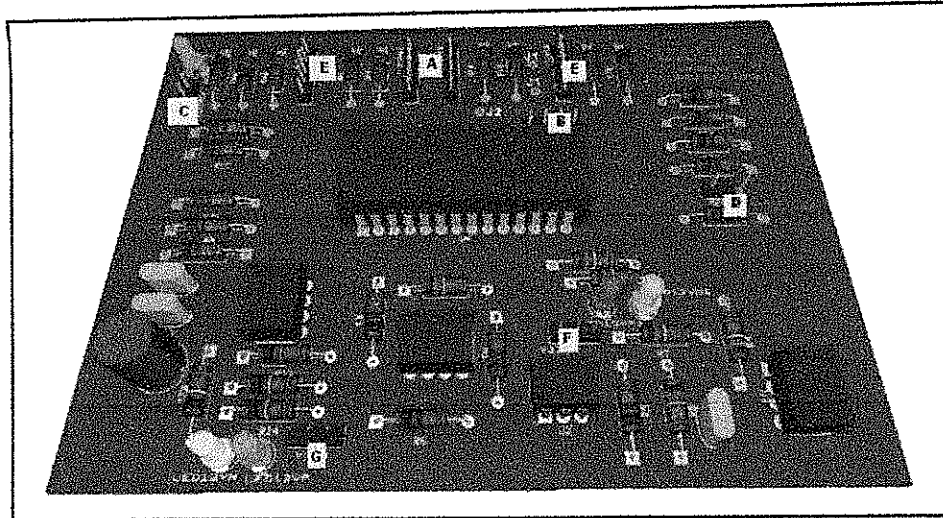


Conectividad Instrumentación de sensor Potenciómetro:



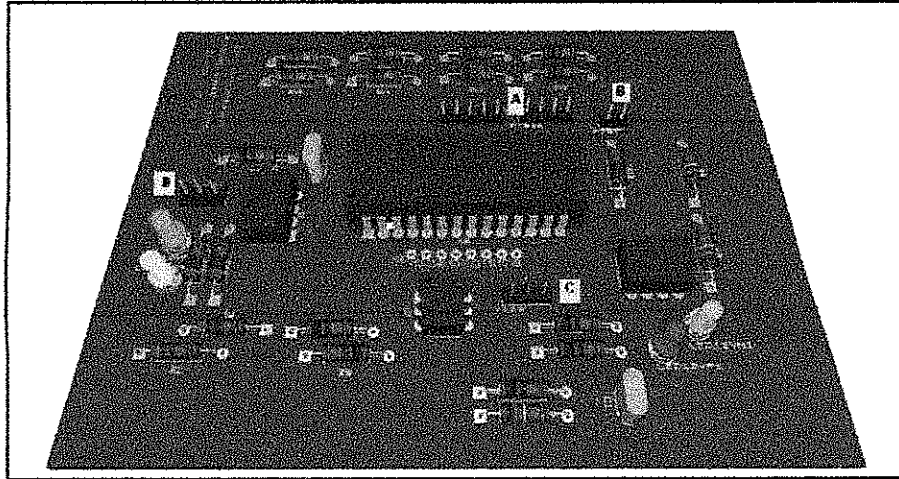
- A) Entrada de la señal de sensor potenciómetro.
- B) Entrada J (E) proveniente de microcontrolador.
- C) Señal de salida en voltaje DC.
- D) Entrada de voltaje para alimentar optoacoplador y filtro proveniente de la fuente con +12Vdc y -12Vdc.
- E) Conexión de Enable (B) proveniente de microcontrolador.

Conectividad Instrumentación de sensor Motogenerador:



- A) Entrada de sensor encoder *EE-SX493*.
- B) Entrada J (E) proveniente de microcontrolador.
- C) Conexión de Enable (B) proveniente de microcontrolador.
- D) Salida de señal en voltios DC.
- E) Conectividad de los puertos de salida del microcontrolador (F).
- F) Entrada de voltaje para alimentar optoacoplador y filtro proveniente de la fuente con +12Vdc y -12Vdc.
- G) Voltaje de polarización MUX (5Vdc), conversor frecuencia-voltaje y amplificador (+12Vdc y -12Vdc).

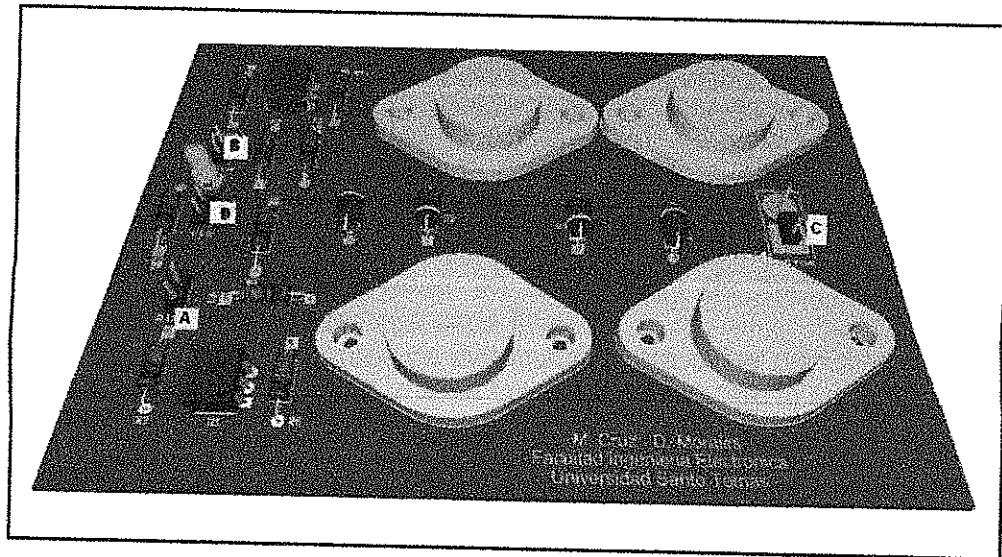
Instrumentación de sensor Encoder.



- A) Entrada de puerto MUX, provenientes de Microcontrolador J (E).
- B) Ingreso de señal del Encoder.
- C) Voltaje de polarización, fuente regulada (+12Vdc, -12Vdc y 5Vdc).
- D) Salida de señal en voltaje DC de motogenerador.

CONEXIÓN DE INSTRUMENTACIÓN PARA DISTRIBUCION DE SEÑALES DE CADA UNO DE LOS ROBOTS.

- a) La primera etapa se compone por las señales generadas por el sistema de control, que son distribuidas según las diferentes aplicaciones. Esta señal debe ser de una tensión específica, ya que el funcionamiento de dicha instrumentación es adecuada con voltajes precisos que fueron medidos y probados previamente con cada uno de los actuadores.
- b) La segunda etapa es el debido aislamiento del sistema de control con el de potencia, este se debe realizar para garantizar la seguridad ante posibles fallas de los diferentes actuadores, estos motores pueden presentar daños mecánicos o eléctricos que podrían averiar todos los circuitos ya que la potencia a la que ellos trabajan son muy altas del orden de los Watts, mientras que los circuitos de control operan en el orden de los mWatts.
- c) La tercera etapa la compone un pre accionamiento para el giro de motores apta para los diferentes tipos de actuadores relacionados a los módulos, esto con el fin de posibilitarlos a que actúen en los grados de libertad que posean.



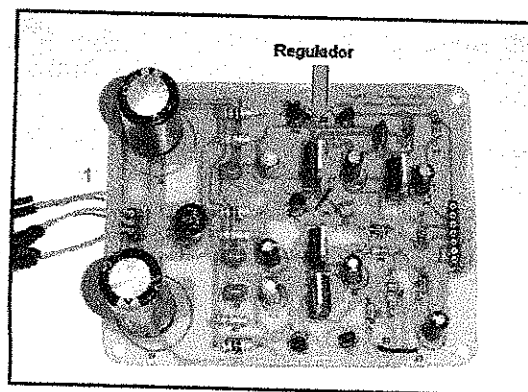
- A) Alimentación de 5Vdc Fuente regulada (Optoacoplamiento)
- B) Pulsador disparo derecha -izquierda.
- C) Salida a motores.
- D) Alimentación de circuito (Batería 12Vdc, 60A)

d) La cuarta etapa la integran los ocho actuadores de los módulos robóticos. En la sección de caracterización de actuadores, se describen cada uno de ellos. Todos los motores operan en voltajes de corriente continua, a diferentes corrientes.

Fuente Regulada:

La fuente proporciona voltajes de +5Vdc, +12Vdc y -12Vdc, suficientes para alimentar cada una de las etapas de instrumentación su conectividad como se ve en la figura.

1. Entrada de transformador de 12Vdc a 1A con TAB central.
2. Salida regulada 5Vdc.
3. Salida regulada +12Vdc.
4. Salida regulada -12Vdc.



Sugerencias.

- **Generales.**

1. Monitorear con frecuencia que el sistema no presente problemas en la orientación de sus herramientas y alimentación.
2. Constatar la continuidad en las salidas de cada robot junto con las borneras a las que llega cada línea.
3. Emplee los elementos de distribución para evitar posibles cortos.
4. Revisar que en cada una de las etapas se recibe la señal indicada.
5. No sobrecargar el sistema

- **Específicas.**

Sensor potenciómetro: Verifique que este polarizado adecuadamente, además de ver la posición si es la adecuada para un buen sensado.

Sensor Encoder: Revise que este bien polarizado para evitar dañar el dispositivo, de igual manera mirar su ubicación para que capture la información.

Motogeneradores: Observar si presenta torque para asegurar la señal de salida

Motores: Tener en cuenta los voltajes de alimentación, junto con al corriente de consumo, puesto que si no se realiza bien el montaje de acuerdo a las características el sistema de instrumentación puede colapsar

Corrección Fallas.

- **En los sensores**

Si el sensor presenta problemas siga los siguientes items para determinar la causa y solucionarla:

- Verifique la polarización del sensor.
- Revise que nada está interfiriendo con la toma de medida del sensor (no esta en contacto con el sistema)
- Inspeccione la señal de salida del sensor y verifique que al someterlo a la característica que sensa muestra variación correspondiente a su tipo de señal de salida.

- **Actuadores**

Si hay alguna falla siga los siguientes pasos para determinar la causa y solucionarla:

- Verifique la polarización del actuador.
- Revise que nada está interfiriendo con el movimiento de la herramienta
- Inspeccione la señal de salida del motor y verifique que al someterlo a la característica de movimiento muestra variación correspondiente al desplazamiento.

- **En el sistema de instrumentación de sensores y actuadores:**

Si el sistema presenta falla y ya reviso el sensor o actuador y este no presenta problemas realice los siguientes pasos para determinar si la falla se encuentra en las tarjetas de acondicionamiento.

- Revise las conexiones eléctricas de la tarjeta
- Verifique las líneas de alimentación de las tarjetas y que estén polarizadas de forma correcta.
- Verificar que tanto la señal de entrada como de salida están presentes en la tarjeta.
- Si una de las dos señales no está presente verifique uno a uno los componentes que conforman el circuito; si es de un sensor empiece por la entrada de señal que viene del sensor, hasta llegar al problema; si es un actuador, empiece por la señal que viene de la tarjeta de instrumentación hasta encontrar el componente de la falla. (Guíese por el esquemático de la tarjeta presente en este manual.)

Análisis Matemático Aplicado al Diseño de Sistemas de Instrumentación Electrónica para Adquisición de Señales en Módulos Robóticos.

Diana Morales.* Mary Cruz.**
Oscar Umaña.*** Fabián Jiménez.****

* Universidad Santo Tomas, Tunja
Colombia (Tel: 057-7440404-Ext. 1050; e-mail: diana.morales@ustatunja.edu.co).
** Universidad Santo Tomas, Tunja
Colombia (Tel: 057-7440404-Ext. 1050; e-mail: mary.cruz@ustatunja.edu.co).
*** Universidad Santo Tomas, Tunja
Colombia (Tel: 057-7440404-Ext. 1050; e-mail: oumana@ustatunja.edu.co).
**** Universidad Santo Tomas, Tunja
Colombia (Tel: 057-7440404-Ext. 1050; e-mail: fjimenez@ustatunja.edu.co).

Abstract: This paper describes the mathematical analysis for the design, simulation, construction and definitive implementation of instrumentation systems for signal acquisition. The applied mathematics allows to design algorithms and procedures to model, to represent, to simplify and to evaluate electronic systems in industrial applications such as the robotics in this case of study.

This mathematical development allows implement the electronic systems for data acquisition for the robotic manipulator located in the research laboratory of the Santo Tomas University, to be enabled later in the realization of scientific projects in electronic areas such as robotics, control, industrial communications and instrumentation.

Keywords: Electronics, Instrumentation, Sensors, Circuits Analysis, Integrated Circuits, Electronics Design, Signal Conditioning, Optoelectronics.

1. INTRODUCCION

En Ingeniería Electrónica el análisis matemático para el diseño, simulación, construcción de prototipos e implementación definitiva de los mismos, es una herramienta fundamental puesto que la matemática aplicada permite diseñar algoritmos y procedimientos para modelar, representar, simplificar y evaluar sistemas electrónicos en aplicaciones industriales como lo es este caso de estudio.

Este documento describe los algoritmos matemáticos utilizados para el diseño, análisis e implementación del sistema de instrumentación electrónica si la adquisición de señales de un modulo robótico manipulador, que la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomas Tunja posee en su Laboratorio de investigación, para ser posteriormente habilitado en la realización de proyectos científicos en las áreas de la robótica, control, comunicaciones industriales e instrumentación.

De esta manera se dan a conocer los fundamentos y algoritmos matemáticos utilizados en Ingeniería Electrónica para el Diseño de la Instrumentación Electrónica y sus aplicaciones en Robótica, partiendo de un análisis teórico de los principios de operación y configuración de los componentes.

2. SISTEMA DE INSTRUMENTACION

Para precisar el objetivo y desarrollo del documento se introducirá en la definición genérica de algunos conceptos establecidos particularmente para el Sistema Robótico trabajado. Este Sistema en forma Global cuenta con varios subsistemas interconectados e interactuantes entre sí, que disponen de elementos diferenciados cumpliendo con funciones bien específicas, estos subsistemas son: el Subsistema Robótico, el Subsistema de Instrumentación Electrónica (Adquisición y Distribución de Señales), el Subsistema de Mando o Control y el Subsistema de Comunicaciones.

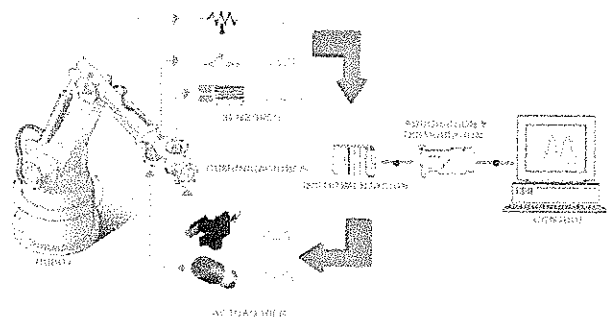


Fig. 1. Esquema del Sistema Robótico.

El Subsistema Robótico corresponde al bloque electromecánico compuesto por una estructura mecánica, cuyos eslabones denotan 5 grados de libertad en cada modulo robótico y, poseen dispositivos actuadores correspondientes a motores DC que aportan la energía para ejecutar las actividades físicas de desplazamientos, posicionamientos, agarres o demás tareas, para las cuales el robot está diseñado. Así como los actuadores están instalados apropiadamente sobre la estructura robótica, también lo están los dispositivos sensores que miden o toman la información de variables físicas del medio en el cual el robot se desenvuelve, tales como posiciones y fuerzas, entre otras.

El Subsistema de Instrumentación Electrónica integra a todos los circuitos electrónicos que se utilizan para el acondicionamiento de las señales eléctricas tanto de entrada provenientes de los dispositivos sensores, como de salida entregadas a los actuadores del Subsistema Robótico. Las señales de entrada provenientes de los sensores deben ser adquiridas digitalmente por el Subsistema de Control y, después de un procesamiento digital, se deben entregar señales de salida en el formato y con la potencia necesaria para energizar los dispositivos actuadores.

El Subsistema de Control es el encargado de tomar las decisiones de operación y generar las acciones de control necesarias para que el sistema robótico funcione según las especificaciones de trabajo. Este subsistema está encarnado en un computador digital que mediante el Software LabView® recibe los datos digitales de las señales de entrada del Subsistema de instrumentación y mediante un algoritmo de programación digital genera las acciones de control digitales para ser entregadas a los actuadores a través de su Subsistema de Instrumentación.

Por último el Subsistema de Comunicaciones es el encargado de transferir la información entre subsistemas o para supervisar en forma remota el sistema utilizando protocolos de comunicación industrial.

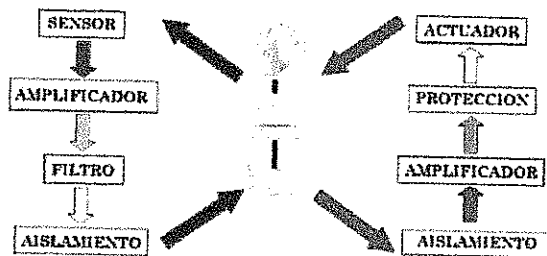


Fig. 2. Esquema del Sistema de Instrumentación. a) De Entrada para Adquisición. b) De Salida para Distribución.

El sistema de instrumentación electrónica de entrada se compone de los siguientes bloques electrónicos de acondicionamiento: amplificación, filtrado, aislamiento, protección, transmisión y adquisición digital de señales de sensores hacia el Subsistema de Control. De igual manera el sistema de instrumentación electrónica de salida se compone de los siguientes bloques electrónicos de acondicionamiento: distribución, conversión analoga, aislamiento, protección, transmisión, amplificación y filtrado de señales de salida

desde el Subsistema de Control hacia los actuadores del robot.

3. DISEÑO DE SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES DE ENTRADA

A continuación se discuten los conceptos fundamentales para el diseño de los circuitos de acondicionamiento de señales provenientes de los potenciómetros lineales utilizados en las 4 articulaciones del robot para medición de posiciones angulares, el arreglo de galgas extensométricas ubicadas en la pinza de agarre del manipulador para medir presión, los sensores de corriente de los motores y los fines de curso que limitan el avance y retroceso de los mismos para proteger el sistema mecánico.

3.1 Diseño de Circuitos Electrónicos de Captura y Amplificación de Señales.

Los elementos resistivos son los sensores más comunes ya que son económicos y fáciles de acondicionar y tienen rangos de operación desde 100Ω s hasta centenas de $K\Omega$ s, dependiendo del sensor y de la variable física a medir, por ejemplo las galgas extensométricas para medir presión están en el rango de 350Ω - 3500Ω y los potenciómetros lineales para medir posiciones angulares están en el rango de 0Ω - $100K\Omega$.

3.1.1 Puentes Resistivos: los puentes suelen ser una alternativa atractiva para la medición de pequeños cambios de resistencia. El puente de Wheatstone básico (Analog Devices, 1999) se muestra en la Fig. 3 consta de cuatro resistores conectados en forma cuadrilateral, una fuente de voltaje (o corriente) se conecta a través de una de las diagonales, y un detector de voltaje se conecta a través de la otra diagonal. El detector mide la diferencia entre las salidas de dos divisores de tensión conectadas a través de la alimentación.

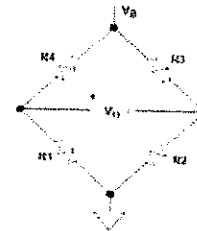


Fig. 3. Arreglo del Puente de Wheatstone

El análisis matemático de este sencillo circuito se basa en la aplicación de la ley de Ohm por divisores de tensión como se muestra en (Analog Devices, 1999):

$$\begin{aligned}
 V_o &= \frac{R_1}{R_1 + R_4} V_B - \frac{R_2}{R_2 + R_3} V_B \\
 &= \left(\frac{R_1}{R_1 + R_4} - \frac{R_2}{R_2 + R_3} \right) V_B
 \end{aligned} \quad (1)$$

El Puente mide resistencia indirectamente por comparación con una resistencia similar. Los dos principios de operación son como detector nulo o como dispositivo medidor de diferenciales de voltaje. Si se cumple que (Alcalde, 2004):

$$V_o = 0 \quad \text{si} \quad \frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3} \quad (2)$$

El puente de resistencia se encuentra nulo, independientemente del tipo de excitación (corriente o voltaje AC o DC), la magnitud de excitación, o la impedancia del detector. Por lo tanto, si la relación de R_2/R_3 se fija en un valor K , la nulidad se alcanza cuando $R_1 = K \cdot R_4$. Si R_1 es desconocido y R_4 es un resistor variable de precisión, la magnitud de la R_1 se puede encontrar ajustando R_4 hasta que la nulidad se alcance.

Por el contrario, en mediciones de sensores, R_4 puede ser una referencia fija, y la nulidad se produce cuando la magnitud de la variable externa (en este caso presión), es tal que $R_1 = K \cdot R_4$. Las mediciones nulas se utilizan en sistemas retroalimentados que involucran en este caso a los motores DC y pinza del robot articulado. Estos sistemas solicitan la fuerza, del elemento activo (Galgas Extensométricas) para equilibrar el puente que influye en la presión de agarre de la pinza. En este caso, la variación de voltaje en la salida V_o es un indicio del cambio de resistencia. Debido a que los cambios de resistencia son muy pequeños, la variación de voltaje de salida puede ser tan pequeño como decenas de milivoltios, a una excitación de $V_B = 10V$.

En muchas aplicaciones de puente, puede haber dos o cuatro elementos que varían. En la aplicación propuesta se seleccionaron 4 elementos correspondientes a 4 galgas arregladas en puente. En la Fig. 4 se muestran los cuatro puentes de uso común para aplicaciones de sensores y en la Tabla 1 se describen las correspondientes ecuaciones que relacionan el puente a la salida de voltaje, voltaje de excitación y el puente de resistencia valores.

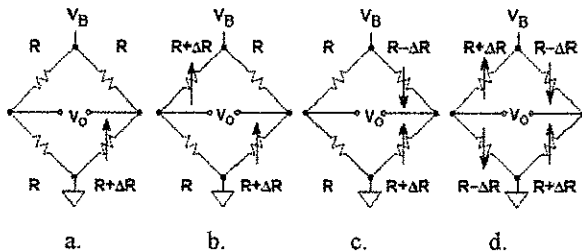


Fig. 4. Configuración de Puentes de Wheatstone para sensores.

Tabla 1. Características de Operación Puentes de Wheatstone

Configuración Puente	a. Un Solo Elemento Variable	b. (I) Dos Elementos Variables	c. (II) Dos Elementos Variables	d. Cuatro Elementos Variables
Tensión de Salida V_o	$\frac{V_B}{4} \left[\frac{\Delta R}{R + \frac{\Delta R}{2}} \right]$	$\frac{V_B}{2} \left[\frac{\Delta R}{R + \frac{\Delta R}{2}} \right]$	$\frac{V_B}{2} \left[\frac{\Delta R}{R} \right]$	$V_B \left[\frac{\Delta R}{R} \right]$
Error Linealidad	0.5%	0.5%	0	0

En el caso seleccionado (d.) este caso, la salida del puente V_o es directamente proporcional a V_B , y la exactitud de la

medición no puede ser mejor que la de la exactitud de la tensión de excitación. De igual manera como el error de linealidad es nulo, el cambio de resistencia es intrínsecamente lineal y no es necesario el uso adicional de un circuito de linealización. Se trata de una configuración industrial estándar para células de carga que se construyen a partir de cuatro galgas.

3.1.2 Circuito Amplificador de Instrumentación: La configuración más popular es el circuito de tres amplificadores operacionales como se muestra en la Fig. 6, donde los amplificadores A_1 y A_2 actúan como buffers de entrada de alta impedancia, R_G es un resistor de ganancia conectado entre las entradas inversoras de cada buffer.

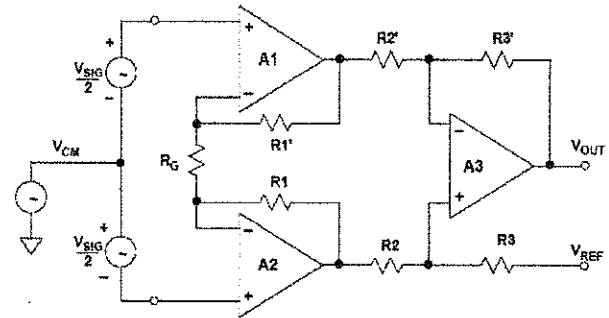


Fig. 5. Configuración Amplificador de Instrumentación.

Si los valores de $R_1 = R_1'$, $R_2 = R_2'$ y $R_3 = R_3'$, se tiene que:

$$V_{OUT} = V_{SIG} \cdot \frac{R_3}{R_2} \left[1 + \frac{2R_1}{R_G} \right] + V_{REF} \quad (3)$$

$$\text{y si } R_2 = R_3$$

$$G = 1 + \frac{2R_1}{R_G}$$

La Relación de Rechazo en Modo Común (CMRR) depende de la proporción de R_3/R_2 a R_3'/R_2' . Además, las señales en modo común sólo son amplificadas por un factor de 1 sin tener en cuenta la ganancia (ningún voltaje de modo común aparecerá por R_G , puesto que ninguna corriente de modo común fluirá en ella porque los terminales de entrada del amplificador no tendrán algún diferencial de potencial significativo entre ellos). Es decir, el CMRR aumentará teóricamente en proporción directa a la ganancia.

$$CMRR \leq 20 \log \left[\frac{G \cdot 100}{\% \text{ DIFERENCIA}} \right] \quad (4)$$

Finalmente, debido a la simetría de esta configuración, los errores en modo común a la entrada de los amplificadores de, si se rastrean, tienden a ser cancelados por la fase de salida del restador. Estas características explican la popularidad de esta configuración, y se encuentran comercialmente disponibles en circuitos integrados (CIs) de bajo costo, elevada precisión y buen ancho de banda como el AD620 de Analog Devices® (Analog Devices, 1999).

3.1.3 Circuito de Amplificación de señal para el Puente Resistivo: La resistencia de la galga cambia en proporción a su longitud, por lo tanto, la resistencia varía cuando la fuerza

aplicada a la pinza que su esta se estire o comprima. Las galgas constan de un cable tendido entre dos puntos, como se muestra en la Fig. 6.

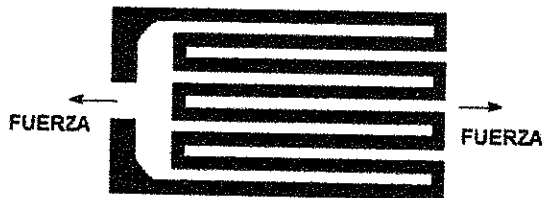


Fig. 6. Galga Extensométrica.

La fuerza que actúa sobre el alambre ($A = \text{área}$, $L = \text{longitud}$, $\rho = \text{resistividad}$) hará que el cable se elongue o acorte, provocando el incremento o decremento proporcional de la resistencia de acuerdo a (Creus, 2005):

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad y \quad (5)$$

$$\frac{\Delta R}{R} = GF \cdot \frac{\Delta L}{L}$$

Donde GF es el Factor de Galga (2,0 a 4,5 para los metales, y más de 150 en semiconductores) y la cantidad adimensional $\Delta L/L$ es una medida de la fuerza ejercida sobre el alambre, y se expresa en *microstrains* ($1\mu\epsilon = 10^{-6}\text{cm/cm}$) que es el mismo que las partes por millón (*ppm*). De la ecuación (3), se debe tener en cuenta que a mayor valor de GF da como resultado cambios proporcionalmente de mayor resistencia, por lo tanto, más sensibilidad.

En la Fig. 7 se muestra el circuito de amplificación de tensión para la medición de presión a través del puente de galgas.

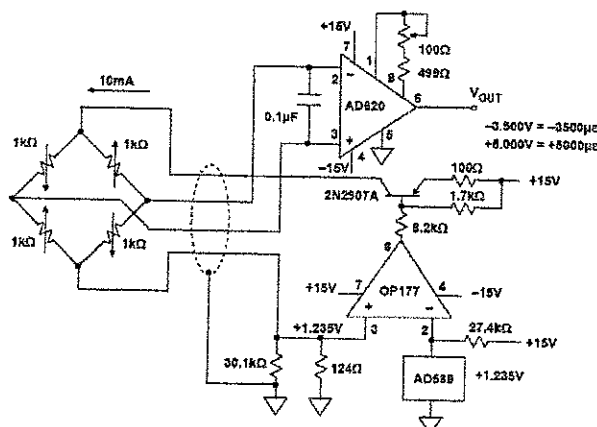


Fig. 7. Amplificador de precisión de Galga Extensométrica usando el amplificador de instrumentación AD620.

Con el fin de facilitar el monitoreo, la excitación de corriente es utilizada. El amplificador operacional de alta precisión OP177 sirve como puente de corriente a 10 mA alrededor de una referencia de voltaje de 1.235V entregada por el regulador AD589. La galga produce una salida de 10.25mV/1000me. La señal amplificada por el amplificador de instrumentación AD620 está configurada para una ganancia de 100.

El voltaje de la galga a escala completa puede establecerse mediante el ajuste del potenciómetro de ganancia de 100Ω de modo que, por una galga de -3500me, la salida entrega -3.5V, y para una galga de 5000me, la salida registra 5.0 V. El condensador de 0.1μF a la entrada del AD620 sirve de filtro contra Interferencia Electromagnética y de Radio Frecuencia (EMI/RFI) en unión con el puente resistivo de 1kΩ. La frecuencia del filtro es de aproximadamente 1.6kHz.

3.2 Diseño de Circuitos Electrónicos de Filtrado de Señales

La interferencia de radio frecuencia (RFI) puede afectar seriamente el desempeño de DC de los circuitos de alta precisión. Debido a su relativo bajo ancho de banda, los amplificadores operacionales de precisión e instrumentación no deben amplificar señales de RF en el rango de los MHz. Sin embargo, si estas señales de fuera de banda pasaran a través de la entrada, salida, fuente de alimentación o clavijas, podrían ser rectificadas por varias junturas en el amplificador y en última instancia causarían un inexplicable y no deseado nivel de offset de DC en la salida.

Un excelente análisis del fenómeno se encuentra en pero el objetivo del documento es mostrar como un correcto filtrado minimiza o evita estos errores (Analog Devices, 1999). La mejor manera de prevenir la rectificación debido a entradas RFI es utilizar un filtro ubicado cerca de la entrada del amplificador operacional, como se muestra en la Fig. 8.

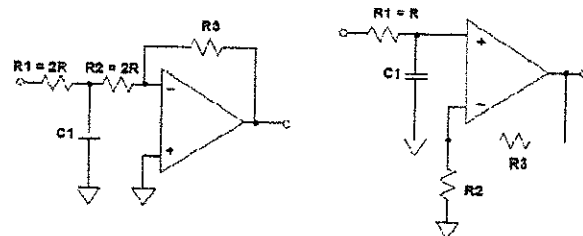


Fig. 8. Arreglo de filtros de entrada para prevenir RFI.

En el caso del operacional con entrada inversora, el condensador de filtro C_1 se encuentra entre R_1 y R_2 . La ganancia de lazo cerrado DC del circuito es:

$$G_{cl} = -\frac{R_3}{R_1 + R_2} \quad (6)$$

Y C_1 no está conectado directamente a la entrada inversora del operacional, ya que daría lugar a la inestabilidad. El ancho de banda del filtro se selecciona para ser por lo menos 100 veces mayor que el ancho de banda real de la señal para evitar su atenuación.

$$BW = \frac{1}{2\pi RC_1} \text{ Hz} \quad (7)$$

$$> 100 \text{ BW de la señal}$$

Para la configuración no inversora, el condensador de filtro se puede conectar directamente a la entrada del amplificador, como se muestra. Los amplificadores de instrumentación de precisión, son especialmente sensibles a RFI de modo común. Para esto un apropiado filtrado se muestra en la Fig. 9.

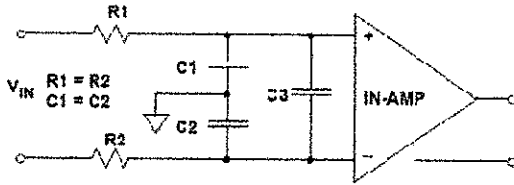


Fig. 9. Filtrado de entrada.

Observe que hay filtrado tanto en modo común (R_1/C_1 , R_2/C_2) como en modo diferencial ($R_1 + R_2$, y C_3). Si R_1/C_1 y R_2/C_2 no están bien combinadas, algunas de las señales de entrada de modo común en V_{IN} se convertirán en una entrada diferencial del amplificador. Por esta razón, C_1 y C_2 deben tener una tolerancia de al menos el 5% uno del otro. R_1 y R_2 deben ser de 1% de tolerancia. El capacitor C_3 atenúa la señal diferencial que puede ser el resultado de la imperfecta adaptación de los filtros de modo común. En este tipo de filtro, C_3 debe ser mucho mayor que C_1 o C_2 , con el fin de asegurar que cualquier señal diferencial, debido a algún desequilibrio de las señales de modo común sea suficientemente atenuada (Dally, Riley, McConnelly, 1993).

El ancho de banda del filtro debe ser seleccionado para ser al menos 100 veces el ancho de banda de la señal de entrada. Los componentes deben ser montados simétricamente en un impreso con una gran superficie plana de tierra y colocados muy cerca de las entradas del amplificador para obtener un desempeño óptimo del filtro. Las ecuaciones que rigen la operación del filtro son:

$$\tau_{DIFF} = (R_1 + R_2)C_3 \quad (8)$$

$$\tau_{CM} = R_1C_1 = R_2C_2 \text{ donde } \tau_{DIFF} \gg \tau_{CM}$$

$$BW = \frac{1}{2\pi(R_1 + R_2)\left[\frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} + C_3\right]} \text{ Hz} \quad (9)$$

La Fig. 10 muestra un filtro real para su uso con el amplificador AD620. El rechazo de modo común se puso a prueba mediante la aplicación de una señal de 1Vpp. La ganancia fue de 1000. La frecuencia de la sinusoidal de entrada fue variada desde DC a 20MHz, y el ancho de banda del filtro fue de aproximadamente 400Hz.

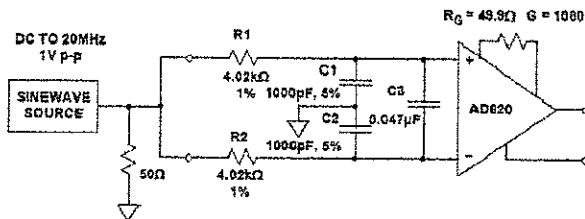


Fig. 10. Filtrado de entrada real.

3.3 Diseño de Circuitos Electrónicos de Aislamiento de Señales

3.3.1 Aislamiento Óptico Digital: Para aislar tierras y separar sistemas de mando con potencia en forma digital el método más fiable de transmisión de señales digitales en interfaces

sin introducir ruido terreno son los optoacopladores. Estos dispositivos son útiles y están disponibles en una amplia variedad de estilos y encapsulados. La corriente es aplicada a un LED transmisor, como se muestra en la Fig. 11. La salida de luz es recibida por un fototransistor y el rango de voltajes de aislamiento va desde 5000V a 7000V.

En el circuito, el LED está controlado con una corriente de 10 mA aproximadamente, esto produce una salida de luz suficiente para saturar el fototransistor. Aunque es excelente para señales digitales, son demasiado no lineales para la mayoría de aplicaciones analógicas, puesto que el fototransistor trabaja en modo de corte y saturación, y los tiempos de subida o bajada pueden variar desde 10μs hasta 20μs en los dispositivos más lentos (Maloney, McMillan, Considine, 1999).

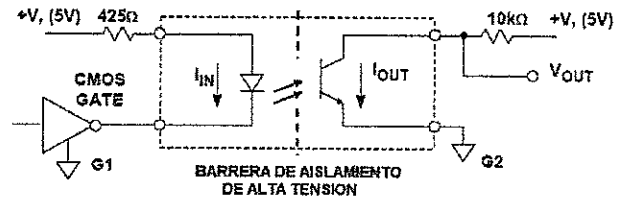


Fig. 11. Optoacoplador Digital.

En el circuito, el LED está controlado con una corriente de 10 mA aproximadamente, esto produce una salida de luz suficiente para saturar el fototransistor. Aunque es excelente para señales digitales, son demasiado no lineales para la mayoría de aplicaciones analógicas, puesto que el fototransistor trabaja en modo de corte y saturación, y los tiempos de subida o bajada pueden variar desde 10μs hasta 20μs en los dispositivos más lentos (Maloney, McMillan, Considine, 1999).

Para la mayoría de las aplicaciones los parámetros I_{IN} (corriente instantánea de entrada) y V_{IN} (voltaje instantáneo de entrada) son todos los que se necesitan para definir la entrada. La Fig. 12 muestra estas características, proporcionando la información necesaria para diseñar la resistencia de control R en el circuito de LED (Analog Devices, 1999).

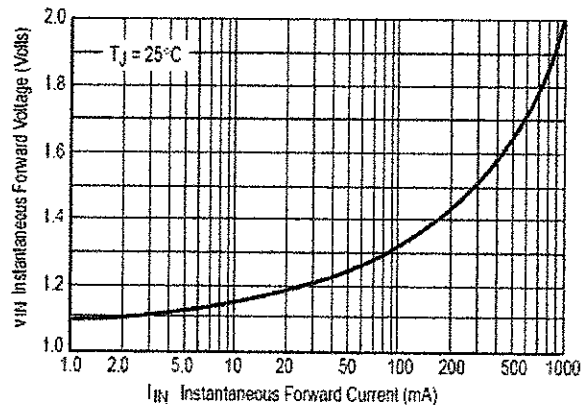


Fig. 12. Curva Característica de entrada de un Optoacoplador 4N25.

La mayoría de las aplicaciones de circuitos requerirá una resistencia de limitación de corriente en serie con el LED de entrada. La resistencia limitadora de corriente se puede calcular a partir de la siguiente ecuación:

$$R = \frac{V_{IN} - V_F}{I_{IN}} \Omega s \quad (9)$$

Donde V_F = Tensión directa del diodo.

3.3.2 Aislamiento Óptico Analógico: También utiliza un enlace óptico entre la entrada y salida. El elemento de entrada es un LED y el elemento de salida es una célula fotoeléctrica. Juntos, actúan como un potenciómetro variable eléctricamente. La salida del elemento es una resistencia, y la tensión aplicada a la resistencia de salida puede ser DC y/o CA. Debido a que la magnitud de entrada de control puede ser un complejo de formas de onda, este tipo de aislamiento es un elemento de control analógico. La Fig. 13 muestra el diagrama de circuito del Optoacoplador analógico:

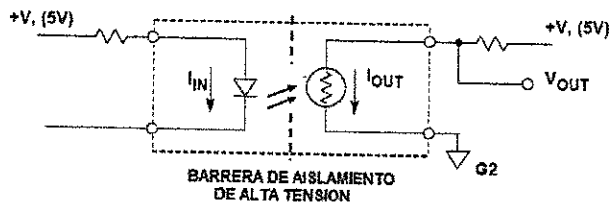


Fig. 13. Optoacoplador Analógico.

Los diodos emisores de luz utilizados emiten haces de luz que coinciden con el espectro de sensibilidad de la célula fotoeléctrica de salida. Los LEDs son elementos ideales de entrada en la mayoría de las aplicaciones que requieren baja tensión y corriente de manejo, responden muy rápido y tienen vida útil prácticamente ilimitada. Son muy resistentes y no se ven afectados por golpes y vibraciones. Dado que el LED es un diodo que conduce en una sola dirección.

El elemento de salida es un resistor dependiente de luz (LDR), también llamada célula fotoeléctrica, esta resistencia pasiva se construye a partir de semiconductores policristalinos de película sensibles a la luz con una muy elevada ganancia de electrones / fotones. La resistencia de la célula fotoeléctrica depende de la cantidad de luz que incide en la celda. Para una determinada iluminación, la cantidad de corriente eléctrica a través de la célula depende de la tensión aplicada. Esta tensión puede ser AC o DC. Las dos formas básicas de configuración de entrada son en serie y en paralelo como se muestra en las Figs. 14 y 15:

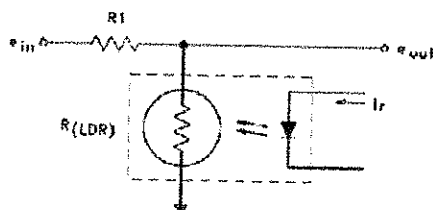


Fig. 14. Configuración Entrada Serie Optoaislador Analógico.

$$G_{serie} = \frac{e_{OUT}}{e_{IN}} = \frac{R_{(LDR)}}{R_1 + R_{(LDR)}} \quad (10)$$

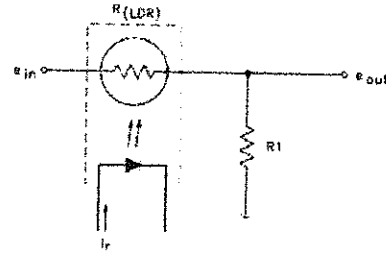


Fig. 15. Configuración Entrada Paralelo Optoaislador Analógico.

$$G_{paralelo} = \frac{e_{OUT}}{e_{IN}} = \frac{R_1}{R_1 + R_{(LDR)}} \quad (11)$$

3.3.3 Aislamiento por Transformador: este aislamiento digital permite separar varias señales de control desde o hacia procesadores de alta velocidad como DSPs (Digital Signal Processors), microcontroladores o microprocesadores (Flanagan, 1998). El transformador de estos dispositivos aísla galvánicamente señales DC / DC como se muestran en el esquema simplificado de operación:

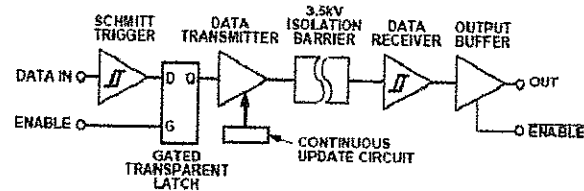


Fig. 16. Esquema Simplificado de un aislador por transformador.

El amplificador de aislamiento tiene un circuito de entrada que está galvánicamente aislado de la fuente de alimentación y el circuito de salida. Además, hay una mínima capacitancia entre la entrada y el resto del dispositivo. Por lo tanto, no hay posibilidad de flujo de corriente DC, y mínimo acoplamiento de CA. Los amplificadores de aislamiento están destinados a aplicaciones que requieren seguridad, mediciones precisas de tensión o corriente de baja frecuencia (hasta unos 100kHz) en presencia de alto voltaje de modo común (a miles de voltios), con alto rechazo de modo común.

También son útiles para recibir señales transmitidas de alta impedancia en ambientes ruidosos, y en mediciones de uso general, donde componentes DC y frecuencias de línea de fuga deben mantenerse en niveles muy por debajo de ciertos mínimos estipulados. Las principales aplicaciones están en entornos eléctricos asociadas con equipos médicos, plantas de energía nuclear y convencional, equipos automáticos de prueba, y sistemas de control de procesos industriales.

En la Fig. 17 se observa una aplicación para medición de corriente en un motor AC con el circuito de aislamiento por transformador AD210 que posee tres puertos de aislamiento, los circuitos de entrada, de salida, y las fuentes de energía son aislados unos de otros. Un aislador de este tipo requiere suministro de potencia de dos terminales DC.

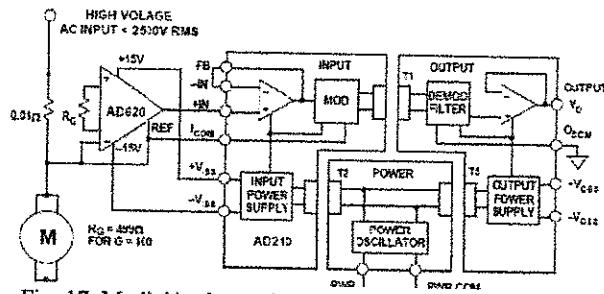


Fig. 17. Medición de corriente de un motor AC usando un Aislador por transformador.

Un oscilador interno (50kHz) convierte la corriente DC a AC, que es transformada, a la sección de entrada blindada, luego, se convierten a DC para la etapa de entrada y la salida de potencia auxiliar.

La portadora AC también es modulada por la salida del amplificador de salida, junto al transformador de la etapa de salida, demodulada por un demodulador sensible de fase (utilizando la portadora como referencia), se filtra, y aísla. El AD210 permite al usuario seleccionar las ganancias de 1 a 100 mediante una resistencia externa, el ancho de banda es de 20 kHz, y el aislamiento de tensión es de 2500Vrms (continuos) y $\pm 3500V$ pico (continuos).

3.4 Diseño de Circuitos Electrónicos de Protección

Un sistema electrónico se construye con sumo cuidado para asegurarse de que cada circuito está plenamente aislado de todos los demás. Una vez el sistema se pone en servicio, pueden ocurrir muchos eventos que modifican la operación del circuito original que pueden causar serios problemas si no son detectados y corregidos. Si bien el circuito de protección no puede corregir una condición anormal actual, puede indicar que existe una condición anormal y proteger al personal y los circuitos de esa condición.

Las condiciones que requieren la protección directa de circuito son: cortos circuitos, exceso de corriente o voltaje, y exceso de temperatura que son establecidos por las especificaciones de operación nominal del sistema.

3.5 Multiplexación Analógica

El multiplexor analógico está conformado por una serie de entradas/salidas conectadas a una línea común de entrada/salida (In1 - In16) ver Fig. 18. Unas entradas de selección ($A_0 - A_3$) determinan cuál es la entrada que se conectará a la salida. Desde el punto de vista interno el multiplexor está formado por un conjunto de interruptores analógicos, de tal manera que en cada instante sólo uno de ellos puede estar cerrado.

Las entradas de selección actúan sobre un decodificador digital, cuyas salidas controlan la activación de los diferentes interruptores analógicos, de tal forma que en cada momento eligen el interruptor que debe ser cerrado. La principal ventaja que presentan los multiplexores analógicos, frente a

los digitales, es su carácter bidireccional, lo que le permite que cada terminal del multiplexor sea posible usarlo como entrada o como salida y el manejo de señales analógicas en vez de digitales. Esto garantiza que se tiene un número n de entradas y un número 2^n salidas.

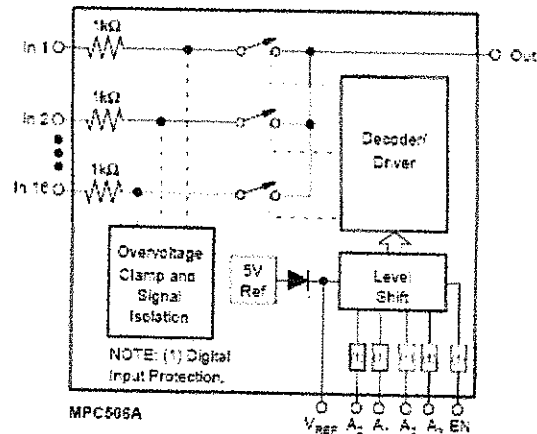


Fig. 18. Diagrama de bloques de un multiplexor analógico de 16 canales (Burr Brown).

Las características estáticas de transferencia de los multiplexores analógicos (de entrada y salida de voltaje) dependen de la resistencia del interruptor activo R_{ON} , la impedancia de carga, la impedancia de la fuente, la corriente nominal de carga y la corriente de fuga del multiplexor.

La impedancia de carga y de la fuente determinan los errores de carga resistivos que se pueden minimizar manteniendo la impedancia de carga lo más elevado posible en el orden de $10^3\Omega$ y la impedancia de alimentación a valores inferiores de 1000Ω con el fin de tener errores del orden del 0.002%. En la Fig. 19 se describe la forma de conectar las resistencias de alimentación R_S y a la impedancia de carga Z_L .

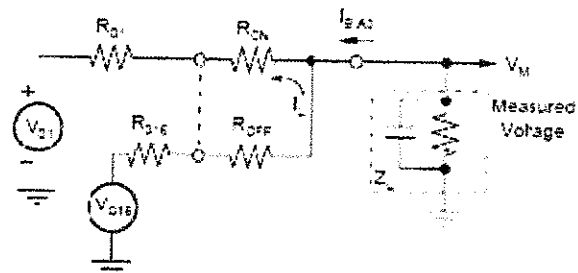


Fig. 19. Circuito Equivalente de Entrada para mejorar la precisión estática del multiplexor analógico.

Analíticamente el error de carga y de la fuente resistiva del multiplexor se define como:

$$\epsilon = (R_S + R_{ON}) = \frac{R_S + R_{ON}}{R_S + R_{ON} + R_L} \times 100\% \quad (12)$$

Donde R_S es la resistencia de la fuente, R_L la resistencia de carga y R_{ON} la resistencia de entrada activa del multiplexor. La corriente nominal genera un voltaje de offset a la entrada

de la resistencia activa del multiplexor determinado por la siguiente ecuación:

$$V_{OFFSET} = (I_B + I_L)(R_{ON} + R_S) \quad (13)$$

Donde I_B es la corriente nominal del multiplexor e I_L la corriente de fuga del multiplexor.

En cuanto a características dinámicas del multiplexor, su tiempo de establecimiento está definido por la red resistiva capacitiva formada entre la fuente y la carga. La relación de transferencia de carga determina una corriente que se transfiere por los interruptores análogos $i = C(dV/dt)$ y está determinada por la amplitud del tiempo de subida de la señal de control aplicada a los interruptores de tecnología CMOS FET (Complementary Metal Oxide Semiconductor – Field Effect Transistor) y las capacitancias en las juntas entre compuerta-drenaje y compuerta-fuente ver Fig. 20.

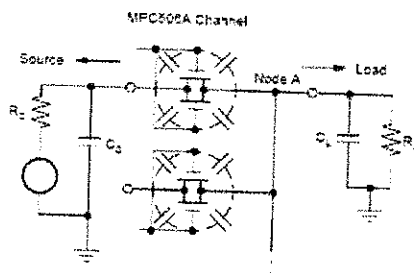


Fig. 20. Efectos en el tiempo de establecimiento de un multiplexor análogo.

La amplitud de los transientes vistos en la fuente y la carga del multiplexor son:

$$dV_L = \left(\frac{i}{C}\right) dt \quad (14)$$

Donde i es la corriente que circula por el interruptor FET y C la capacitancia de la fuente a la carga. El tiempo de respuesta de estos dispositivos está definido en el orden de las centenas de microsegundos.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se materializaron los fundamentos de diseño de circuitos de acondicionamiento de señal tanto de entrada como de salida para los módulos robóticos articulado y cartesiano con que cuenta la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomas Tunja.

Se exploraron las aplicaciones de circuitos electrónicos de instrumentación que permiten acondicionar las señales eléctricas provenientes del medio en que se desenvuelve el robot y su principio de operación.

Este trabajo recalca la importancia del análisis matemático en el diseño y evaluación de desempeño de sistemas de ingeniería electrónicos.

El trabajo parcial mostrado en el documento pretende ser ampliado teniendo en cuenta los circuitos de acondicionamiento de salida, los fundamentos de adquisición

y distribución de señales y la evaluación de desempeño de los circuitos modelados, simulados e implementados.

Las técnicas de procesamiento digital de señales son cada vez más populares en la adquisición de datos, control de procesos, y medición de variables físicas, los procesadores digitales suelen tener suficiente velocidad y capacidad de procesamiento para la mayoría de aplicaciones.

REFERENCIAS

- [1]Alcalde, P. (2004) *Electrotecnia*. Thomsom, Ed. Paraninfo. España.
- [2]Analog Devices, (1999) *Practical Design Techniques For Sensor Signal Conditioning*. Prentice Hall.
- [3]Creus, A. (2005) *Instrumentación Industrial*. Ed. Marcombo, Alfaomega. Barcelona.
- [4]Dally, J.W., Riley, W.F. and McConnell, K.G. (1993) *Instrumentation for Engineering Measurements*, 2nd. Ed. John Wiley.
- [5]Flanagan, W. (1998). *Handbook of Transformer Design and Applications*, McGraw Hill. Boston.
- [6]Maloney, T. McMillan, G. K. and Considine, D. M. (1999). *Process/ Industrial Instruments And Controls Handbook*. McGraw-Hill, New York.
- [7]Pallas A., Webster, B. (1991). *Sensors and Signal Conditioning*, John Wiley, New York.
- [8]Pallas A., (1993). *Adquisición y Distribución de Señales*, Ed. Marcombo, Barcelona.
- [9]PerkinElmer Optoelectronics, (2001). *Photoconductive Cells and Analog Optoisolators*. PerkinElmer Editors. Missouri USA.
- [10]Sherz, P. (2000) *Practical Electronics for Inventors*. McGraw Hill. New York.
- [11]Valkenburg, V. *Analog Filter Design*, (1996). Oxford University Press.
- [12]Wobshall, D. (1987) *Circuit Design for Electronic Instrumentation*, 2nd Ed., McGraw-Hill.