

Instrumentación Virtual, Control y Adquisición de Datos para Unidades de Cuidados Intensivos

Camilo Ernesto Pardo Beainy, Milton Forero López, Viviana Salamanca Sierra,
Luís Fredy Sosa Quintero

Semillero de Investigación Vital Signal & Control Medical Equipment I+D, Universidad Santo Tomas, Tunja, Boyacá, Colombia.

Abstract– The disposition of tools of the industrial Automation, like SCADA (Supervision Control and Data acquisition), in the hospital services is a tendency, that optimizes the processes and services of the health; these tools, provide resources with support, validating, facilitating and making agile the processes, as much of diagnosis (monitoring), as of specialized intervention (control) and legal responsibilities (reports). This document presents/displays advances in the technological development of an application, where techniques oriented to the control, the communications, the virtual and conventional instrumentation take advantage of, the management and information processing, among others; proposing a system of monitoring, registry and control, reliable and flexible, improving the UCIN (Units of Intensive Cares Neonatal), as well as other processes in the clinical atmosphere.

Keywords– Virtual Instrumentation, Bioengineering, Incubator, SCADA, LabVIEW.

I. INTRODUCCIÓN

Las estrategias para el monitoreo de señales, facilitan y agilizan los procesos de diagnóstico e intervención médica, al identificar, analizar, caracterizar y evaluar estas señales, se pueden relacionar con lo patológico, mediante herramientas de procesamiento de información, permitiendo diagnósticos cada vez mas indiscutibles con un alto grado de certeza.

Los SCADA, son la mejor y más económica alternativa para generar centros robustos de supervisión, control y adquisición de datos; ofreciendo todas las ventajas de un sistema automatizado. El cuerpo humano, integra diversos tipos de proceso, donde, un síntoma que hace referencia a causas especiales, representa infinidad de variables complementarias, que muchas veces no se analizan. El no identificar su relación lógica, causa-efecto, no significa que deba desconocerse, todo lo contrario, se necesita proveer herramientas de ingeniería que las evidencien mediante señales, y a partir de ellas, encontrar nuevas formas de diagnóstico e intervención médica.

II. REFERENTE HOSPITALARIO

En las regiones apartadas de los centros tecnológicos, el problema de la salud, se debe a factores tanto económicos, como tecnológicos, entre otros. Para superar estos inconvenientes, se vinculan la academia y otros sectores en la investigación, aportando nuevos desarrollos y aplicaciones; generando nuevos materiales, técnicas de diagnóstico, técnicas de supervisión e intervención, tanto invasiva (quirúrgica), como externa (tratamientos y terapias), tales como las terapias de ultrasonido, el transplante de órganos vitales o los simuladores de cirugía.

III. SCADA DENTRO DE LAS IPS

SCADA se basa en dos aplicaciones de la informática y las telecomunicaciones: Redes de comunicación de datos y bases de datos; y viene aplicando hace más de dos décadas en sectores industriales, posicionándose como una forma de control de procesos distribuidos, al integrarse con elementos de instrumentación tradicional y virtual. Permitiendo mediante el trabajo con señales bioeléctricas o de imágenes; visualizar órganos del cuerpo, factor determinante en el diagnóstico o parte médico, y en los tratamientos, los cuales deben ser vigilados en el proceso de recuperación.

Un sistema típico SCADA debe cumplir por lo menos con las siguientes características:

Visualización de alarmas, generación de históricos, ejecución de programas en línea, flexibilidad en la presentación de datos, tener arquitectura con comunicaciones abiertas, estructura modular, posibilidad de programación, importación y exportación de históricos e instrumentación Virtual.

IV. APLICACIÓN PRÁCTICA EN NEONATOLOGÍA

Las Incubadoras Neonatales requieren supervisión y control especializados, donde variables como temperatura, humedad, nivel de oxígeno etc, se deben regular, garantizando la seguridad del neonato. Al integrar SCADA



Fig. 1 a) Panel de Alarmas en Instrumentación creado con LabVIEW6i.
b) Pantalla de reporte en una estación local (proceso)

al proceso, se aplican todas sus ventajas y otros beneficios como: menor exposición del neonato con agentes perturbadores y contaminantes.

De acuerdo al nivel de jerarquía en la pirámide de automatización CIM (Manufactura Integrada por Computador), los diferentes usuarios acceden a paneles que les permiten interactuar con el proceso. La Figura 1a, muestra el Panel de alarmas del nivel de campo. En esta pantalla se pueden observar los estados de funcionamiento de actuadores y sensores, e ingresar a otros menús para modificar los procesos y ver reportes de operación y mantenimiento.

Los reportes se crean automáticamente de acuerdo al tiempo programado y a las tareas en supervisión. Reportes que según el nivel de seguridad, contendrán información de los niveles superiores de la pirámide CIM o de los procesos locales. La Figura 1b muestra el resumen del reporte de fallas de sensores y actuadores de una unidad de incubación, donde mediante una codificación se establece el dispositivo de referencia, el tipo de falla y el procedimiento realizado para corregirla.

Los paneles, presentan la información de forma gráfica y amigable, en la Figura 2, se muestra el panel de usuario para una sesión de mantenimiento, donde se pueden modificar parámetros de comunicación, operación, presentación de información, etc.

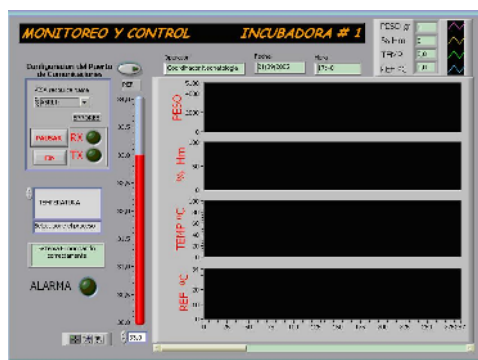


Fig. 2 Pantalla de seguimiento y control de la unidad neonatal

En cuanto al intercambio de información, el sistema permite la comunicación desde el nivel de enfermería neonatal, con múltiples unidades neonatales (hasta 255 incubadoras), utilizando direcciones de identificación (ID c/u), direcciones de origen, distribuidas en los niveles superiores al nivel de proceso. Cada unidad posee múltiples módulos (Procesos), con tareas específicas de control: temperatura, humedad, monitoreo de peso, etc. Son administrados por un sistema de gestión (Controlador unidad), que enruta la información, y se comunica con el operador del proceso (personal especializado) y la enfermería neonatal (Central de monitoreo), almacenando el comportamiento del módulo durante un tiempo, determinado por la capacidad de almacenamiento y el tiempo de muestreo. En la Figura 3 se puede observar el diagrama general de la configuración modular del sistema.

El protocolo de comunicación diseñado, está conformado por dos tramas, (ver Figura 4) una para la supervisión y otra para el control del proceso; (control: 10 datos y supervisión: 6 datos, de ocho bits cada uno). Otra diferencia entre las tramas, es el estado del bit más significativo del bloque control; si el estado de este bit es un 1 lógico, la trama es de control, de lo contrario, es de supervisión.

El campo de Control de la trama, posee, un espacio de 7 Bits, que determina el tipo de información a intercambiar, existiendo 128 tramas para control, y 128 para supervisión.

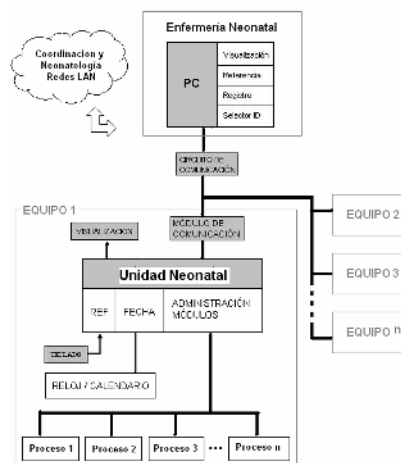


Fig. 3 Diagrama general de la configuración modular del sistema

FORMATO DE LA TRAMA DE CONTROL									
DELIMITADOR DE INICIO	DIRECCION	ESCLAVO	COS	CONTROL DISTRIBUCION	DATO 1	DATO 2	DATO 3	DIRECCION DE ERRORES	DELIMITADO FINAL
7F	XX	XX	I	Solo 0	XX	XX	XX	XX	7F

FORMATO DE LA TRAMA DE SUPERVISION									
DELIMITADOR DE INICIO	DIRECCION	ESCLAVO	COS	CONTROL DISTRIBUCION	DIRECCION DE ERRORES	DELIMITADOR FINAL			
7F	XX	XX	0	Solo 0	XX	7F			

Fig. 4 Tramas de comunicación de Control y Supervisión

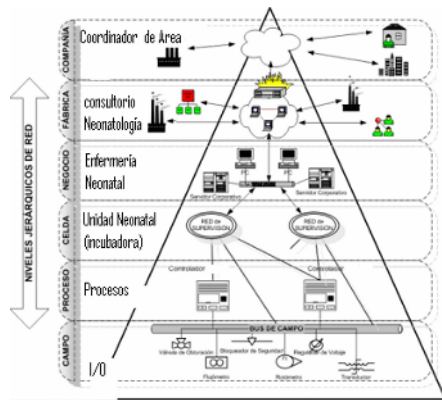


Fig. 5 SCADA aplicado en neonatología a procesos de incubación

La implementación de SCADA médico en máquinas de incubación neonatal, se ilustra en la Figura 5 y se describe por niveles así:

A. Nivel de Coordinador de Área

Corresponde al director de Neonatología, quien tiene responsabilidades y funciones similares a la gerencia institucional, para este proceso. (Nivel en desarrollo)

B. Nivel de Consultorio de Neonatología

Corresponde a los procesos de gestión, donde el médico Neonatólogo accede a la información, hace cambios en el sistema según el nivel de seguridad, solicita reportes y/o administra los recursos de la unidad neonatal. (Nivel en desarrollo)

C. Nivel de Unidad Neonatal (Incubadora)

Comunicaciones: Realiza operaciones de gestión de la información entre procesos y enfermería neonatal, así como verificación de información, delimitadores y demás bloques de la trama, realiza detección de errores aplicando Checksum.

Instrumentación: Módulo interfaz entre el nivel de enfermería y la unidad neonatal, conformado por los transceivers RS485 y RS232.

Control: Enrutamiento de las señales de proceso e instrucciones de niveles superiores, variación de parámetros en los subniveles, mediante el uso de teclado, generación de fecha, hora y sincronización del sistema.

Monitoreo: Visualización de los procesos del equipo a través de LCD e indicadores lumínicos y sonoros.

El sistema contiene los siguientes elementos:

1. Carcasa de Incubadora de uso médico.
2. Resistencia de calefacción de 250 W.
3. Ventilador de bajo ruido.
4. Acondicionadores de señales.
5. Sensores de temperatura, humedad, peso.
6. Sensores de estado de instrumentación.
7. Microcontroladores de la familia Motorola (CPU08)
8. Memorias EEPROM seriales.
9. Reloj calendario (años 2000-2100).
10. Pantalla LCD.
11. Teclado matricial.
12. Aplicación en LabVIEW 6i.
13. Interfaz RS232-RS485.
14. Computador de exigencias moderadas.
15. Simulación y módulos de prueba ECG, Oximetría, etc.

D. Nivel de Procesos (controladores)

Comunicaciones: Lleva los parámetros de la planta (sensores, actuadores y proceso) a la unidad de control de proceso y codifica la información para ser enviada a los niveles superiores.

Instrumentación: Realiza el acondicionamiento de señal para la instrumentación de planta (sensores y actuadores), así como los aislamientos necesarios que garantizan la seguridad de equipos, pacientes y operarios en planta.

Control: Ejecuta los algoritmos de control de acuerdo a la referencias y estimaciones del medio (perturbaciones), para ello es fundamental el modelamiento matemático de la planta, caracterizando su comportamiento.

Monitoreo: Por medio de indicadores lumínicos tipo LED y sonoros que relacionan el estado de la instrumentación y el valor de las variables con respecto a un patrón establecido.

E. Nivel de Sensores y Actuadores

Instrumentación: Las variables temperatura ambiente de incubación, y humedad relativa, son controladas y variables como temperatura y peso del neonato, se monitorean. La temperatura ambiente de incubación, tiene una ventana de operación de 0°C a 50°C, esta señal se toma mediante 3 sensores AD22100. Un ventilador de bajo ruido homogeniza el ambiente de la cámara de incubación. El actuador de temperatura consta de una resistencia de calefacción, la caída de tensión en la resistencia se controla por ángulo de fase mediante PWM, de acuerdo a la temperatura deseada en las consideraciones médicas. La señal de control varía de 0 a 5 voltios, la tensión de alimentación de la resistencia es de 120 VAC RMS, y la

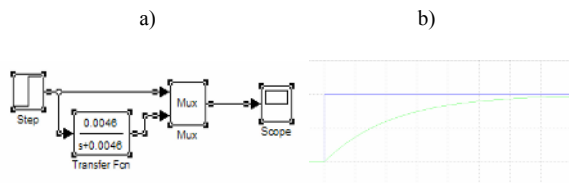


Fig. 6 a) Diagrama de simulación de la función
b) Resultado de la simulación

señal de referencia tiene una ventana de operación de 0 a 5V normalizada. La temperatura del neonato tiene ventana de operación de 0°C a 50°C , la señal es sensada con el termistor de precisión 44031, que se coloca según consideraciones médicas en el cuerpo del neonato. El acondicionamiento de señal se realiza mediante la utilización de un puente de Wheatstone y amplificadores de instrumentación. La humedad relativa del ambiente, tiene una ventana de operación de 0% a 100%, esta señal es tomada mediante el sensor HIH3610. El estado de operación de los sensores, se realiza con lectura individual, promediación y comparación de las lecturas; el estado del ventilador se verifica mediante la comprobación de movimiento por la interrupción de un haz lumínico, y la operación normal de las resistencias, mediante lecturas de corriente.

Control: La función de transferencia de la planta se halló por curva de reacción, determinada a partir de un valor de la variable manipulada, igual o mayor al 63% de su valor final, para encontrar la constante de tiempo del proceso, el tiempo de respuesta y la dinámica del sistema. Teniendo en cuenta el rango de operación deseado con condiciones iniciales $t=0$ y una $T=26^{\circ}\text{C}$, hasta un máximo de $T=50^{\circ}\text{C}$, se observó que se trata de un sistema de primer orden como se ilustra en la Figura 6a) y 6b).

El sistema requiere un valor estable de temperatura, dado por la referencia, que se modifica en un rango entre 0 y 50 grados Celsius. El controlador opera sobre los actuadores, modificando la temperatura y regulándola según la referencia indicada; generando una respuesta adecuada frente a las perturbaciones (en condiciones normales de trabajo) que se puedan presentar.

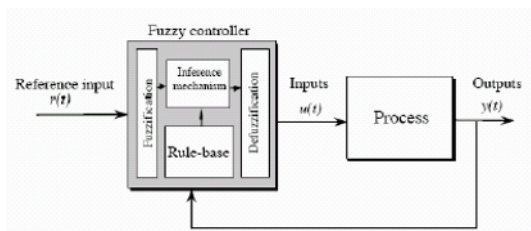


Fig. 7 Estructura de un controlador difuso con sus cuatro componentes principales

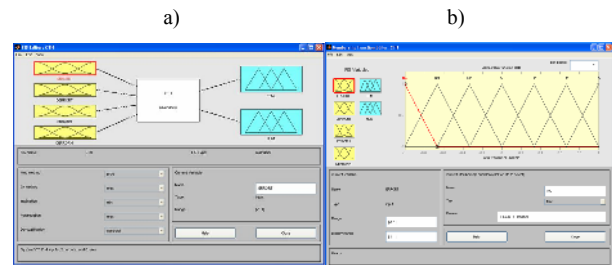


Fig. 8 a) Asignación de variables lingüísticas de entrada y salida
b) Elección de la función de pertenencia.

Los controladores difusos (ver Figura 7), heredan de la teoría de control convencional, la idea de incluir elementos proporcionales, integrales y derivativos, que optimizan el desempeño del sistema a controlar.

El primer bloque es la fuzzificación, que transforma las variables de entrada en valores difusos. El siguiente bloque, son las reglas base, donde se calcula la influencia de cada una de ellas en las decisiones finales.

Por ultimo, el bloque de defuzzyficación, halla una salida de tipo único o numérico, con relación a una entrada proveniente del mecanismo de inferencia, que está indeterminada o imprecisa. El control de temperatura y humedad de la cámara de incubación, aplica un controlador difuso, para el cual se tienen en cuenta elementos: proporcional y derivativo; donde los antecedentes de las reglas, combinan los valores del error y la variación del error respectivamente. Para el controlador difuso se ha utilizado el software Matlab 6.5 y su toolbox de fuzzy logic. Utilizando como variables lingüísticas de entrada: error, dererror, erroh, derroh y variables lingüísticas de salida: Temperatura(T), Humedad Relativa(H). Las figuras 8 a) y 8 b) muestran la asignación de variables lingüísticas de entrada-salida, y la elección de la función de pertenencia del proceso respectivamente.

V. RESULTADOS MÁS SIGNIFICATIVOS

Control y monitoreo de temperatura ambiente, humedad relativa, aplicando Servo Control Difuso.

Monitoreo de temperatura y peso neonatal, estado de los dispositivos actuadores y sensores del sistema.

Distribución de tareas, flexibilidad, adaptabilidad y seguridad modular, mediante el diseño y elaboración de protocolos de gestión administrativa, Control, Supervisión y Comunicaciones, permitiendo la inclusión de nuevos módulos (Electrocardiografía, Oximetría, Ritmo cardiaco, etc.).

Interfaz humano maquina que establece un dialogo de fácil comprensión, con un lenguaje claro, gráfico y numérico, mediante teclados, pantallas LCD y PC.

Bases de datos de usuarios, generación de reportes de fallas y mantenimiento, creando la hoja de vida del equipo, evento tras evento.

Creación de aplicaciones y sesiones que garanticen los niveles de seguridad de acceso, en dependencia a la pirámide de automatización CIM usando LabView.

VI. CONCLUSIONES

Los sistemas SCADA, ofrecen la mejor y más económica alternativa para generar centros robustos de supervisión, control y adquisición de datos; lo cual mejora sustancialmente los procesos de producción de cualquier tipo de organización, los índices de calidad, supervisión, mantenimiento, velocidad etc.

La instrumentación Virtual (VI) acompañada de un hardware mínimo (Sensores, tarjetas de adquisición, redes y controladores) y con el software de plataforma, puede convertir un PC de exigencias moderadas en un poderoso instrumento de medición de mucha precisión y fiabilidad.

Debido a las exigencias de seguridad que requiere un equipo de uso médico, se debe garantizar el óptimo funcionamiento del sistema, indicando permanentemente el estado de su operación.

En un sistema de medida, cuando se va a elegir el sensor, se deben tener en cuenta factores como: la magnitud a medir, las características de salida, y alimentación, las características ambientales, entre otros factores.

Una variable lingüística, es una variable cuyos valores, pueden expresarse mediante términos del lenguaje natural y se representan mediante conjuntos difusos, caracterizados

por funciones de pertenencia dentro del universo de discurso.

Un sistema difuso, es basado en el conocimiento. Que se estructura en un conjunto de reglas simbólicas del tipo “si-entonces”, que utilizan términos del lenguaje natural para representar información vaga o imprecisa.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestras familias, a la Universidad Santo Tomás y a nuestro semillero de investigación. Por el apoyo exhaustivo e incondicional.

REFERENCIAS

1. Morcillo, P; Cocera, J. *Comunicaciones Industriales*. Paraninfo, 2000. ISBN: 8428327068.
2. Ogata, K. *Discrete-Time Control Systems*. 2ª ed. Pearson Education, 1995. ISBN: 0130342815.
3. Zhou, K; Doyle, J. *Essentials of robust control*. Louisiana State University. EEUU. Prentice Hall. (2000).
4. Smith, C; Corripio A. *Principles and practice of automatic process control*. 2ª ed. United States of America. John Wiley & Sons. (1997). ISBN: 0-471-57588-7

Autor: Camilo Ernesto Pardo Beainy
 Instituto: Universidad Santo Tomás
 Calle: Calle 19 # 11-64
 Ciudad: Tunja
 País: Colombia
 E-mail: camilo_e_p@hotmail.com