

Universidad Nacional del Altiplano

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y
SUPERVISIÓN DISTRIBUIDO MULTIPLATAFORMA UTILIZANDO
EL ENTORNO DE PROGRAMACIÓN DELPHI Y FIREBIRD**

PRESENTADO POR:

JOHN ARMANDO GALINDO QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PUNO - PERÚ

2015

Universidad Nacional del Altiplano

FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN
DISTRIBUIDO MULTIPLATAFORMA UTILIZANDO EL ENTORNO DE
PROGRAMACIÓN DELPHI Y FIREBIRD

TESIS PRESENTADA POR:

JOHN ARMANDO GALINDO QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE :


M. Sc. Ing. PEDRO BEJAR MUÑOZ


PRIMER MIEMBRO :


M. Sc. Ing. IVÁN DELGADO HUAYTA

SEGUNDO MIEMBRO:


Mg. Ing. KARLOS ALEXANDER CCANTUTA CHIRAPO

DIRECTOR DE TESIS :


M. Sc. Ing. DAVID SALINAS MENDOZA

PUNO – PERÚ

2015

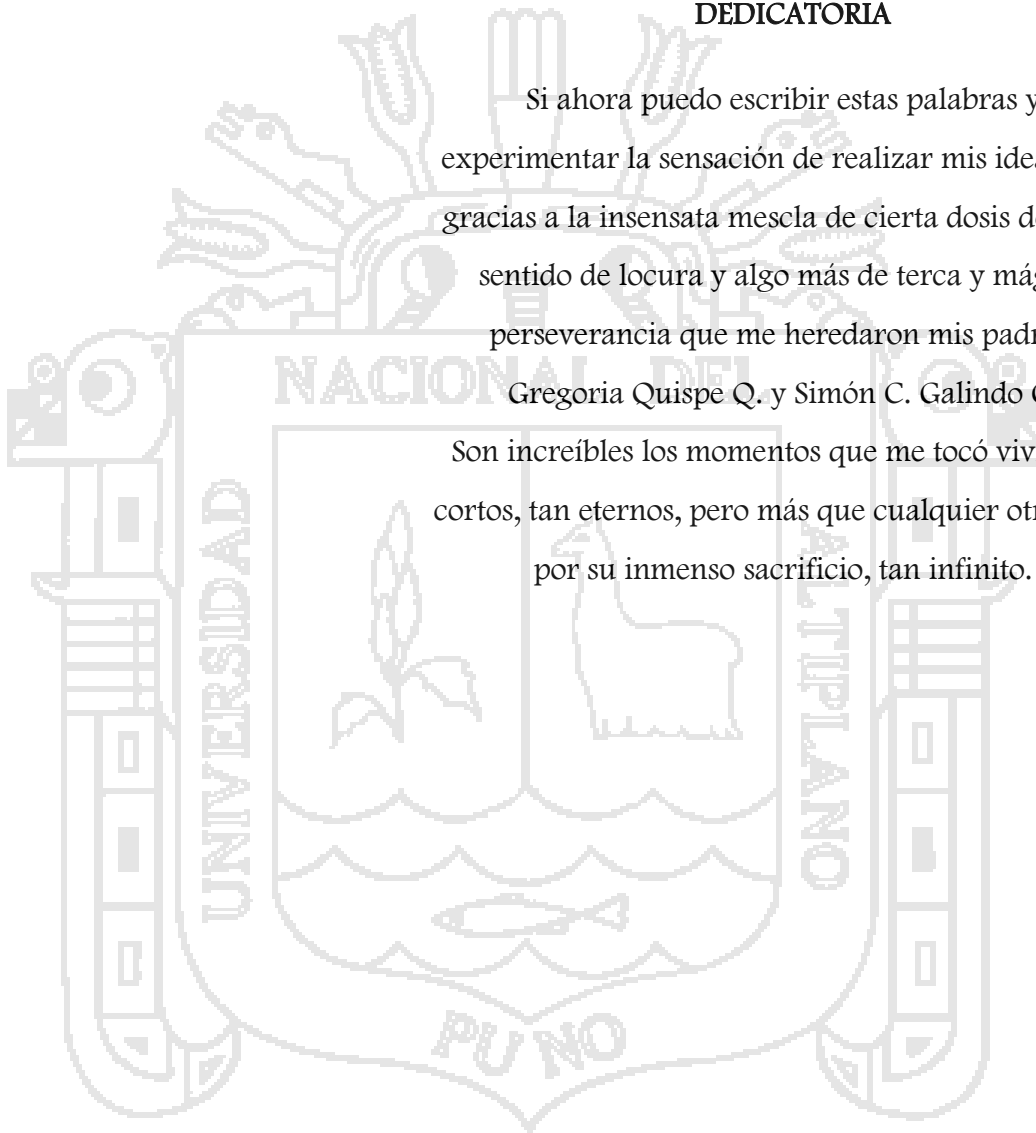
ÁREA: Automatización e instrumentación**TEMA: Instrumentación y control de procesos**

DEDICATORIA

Si ahora puedo escribir estas palabras y experimentar la sensación de realizar mis ideales, es gracias a la insensata mezcla de cierta dosis de buen sentido de locura y algo más de terca y mágica perseverancia que me heredaron mis padres:

Gregoria Quispé Q. y Simón C. Galindo C.

Son increíbles los momentos que me tocó vivir, tan cortos, tan eternos, pero más que cualquier otra cosa, por su inmenso sacrificio, tan infinito.



AGRADECIMIENTO

Debo agradecer infinitamente y de manera muy especial a todos mis hermanos, pues siempre están cerca de algún modo, apoyándome incondicionalmente, dándome lecciones con sus experiencias vividas, acompañándome. Pues de hecho, mi personalidad con todos mis defectos y virtudes la cultivamos juntos. Es necesario aprender de nosotros mismos, dialogar, compartir; pero el tiempo pasa tan repentinamente, tan insolente e irrespetuosa que solo nos queda un momento para conocernos un poco más, una vez más en la vida.

Se aprende mucho de los demás. Soy de los que piensan que las personas se muestran como son, solo en los momentos más críticos y es en esos instantes en los que mejor se conoce a los que nos rodean. Pero en nuestras vidas lo importante es el tiempo compartido con los que nos rodean, aprendiendo juntos, preparándonos de alguna manera para la vida, intentando ser profesionales. Agradezco todo lo aprendido a mis amigos más cercanos, a mis amigos más que compañeros de la universidad y a los docentes que nos formaron. Es digno de admirar en las personas el valor de compartir información sin alguna condición, haciéndola institución, encaminándonos hacia una mejor sociedad. Es preciso recordar entonces, aquella expresión que nos recuerda que hay veces olvidamos que cuando alguien nos dedica su tiempo, aunque sea un instante, nos está regalando lo único que no recuperara jamás.

Debo mencionar que haber realizado mis ideales, es la mejor sensación que he podido experimentar, fue como sentirse nuevamente un niño, es realmente increíble. A los que me rodean, decirles que nunca dejen de luchar por ver realizado sus ideales, hagamos algo cada día para ver realizado nuestros sueños y estar cada día más cerca de algo realmente increíble y el día que lo hagan, se darán cuenta que es la mayor y mejor satisfacción personal que hayan podido experimentar. Pienso que no hay nada más importante en nuestro desarrollo personal y emocional más que profesional, para ser mejores personas y enfocarnos hacia una nueva sociedad.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
CAPITULO I	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	18
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	19
1.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.1.2 PROBLEMA GENERAL	20
1.1.3 PROBLEMAS ESPECÍFICOS	20
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	21
1.2.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA	21
1.2.2 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	22
1.2.3 JUSTIFICACIÓN SOCIAL	22
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	23
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	23
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
CAPITULO II	24
MARCO TEÓRICO	24
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	25
2.1.1 DISEÑO DE SISTEMAS SCADA CON CONEXIÓN A BASES DE DATOS, VISUALIZACIÓN Y CONTROL EN DISPOSITIVOS MÓVILES.	25
2.1.2 DESARROLLO DE UN SISTEMA SCADA PARA USO EN PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS.	26
2.1.3 SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN INDUSTRIAL MULTIPLATAFORMA.	28
2.1.4 SISTEMA DE CONTROL INALÁMBRICO: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y APLICACIÓN EN CALDERA INDUSTRIAL	30
2.2. SUSTENTO TEÓRICO	32
2.2.1 TEORIA GENERAL DE LOS SISTEMAS DE CONTROL	32
2.2.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL	33

A) CON RESPECTO A SU CAUSALIDAD	33
B) CON RESPECTO AL PRINCIPIO FÍSICO	34
C) CON RESPECTO A LA ECUACIÓN QUE LO DESCRIBE	34
D) CON RESPECTO A SU NÚMERO DE ENTRADAS Y SALIDAS.	34
E) CON RESPECTO AL TIPO DE SEÑALES QUE SE PROCESAN	35
F) CON RESPECTO AL COMPORTAMIENTO O TRATAMIENTO DE LA SEÑAL DE SALIDA	36
G) CON RESPECTO A LA ARQUITECTURA DE CONTROL	38
CONTROL CENTRALIZADO	38
CONTROL DESCENTRALIZADO DE ENTRADAS Y SALIDAS	38
CONTROL SUPERVISADO	39
CONTROL DISTRIBUIDO	39
CONTROL, SUPERVISIÓN Y GESTIÓN	40
2.2.1.2 SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO	41
PROPIEDADES DE LOS SISTEMAS DISTRIBUIDOS	41
A) FLEXIBILIDAD	41
B) EFICIENCIA	42
C) ROBUSTEZ	43
D) SEGURIDAD	45
2.2.2 AUTOMATIZACIÓN E INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS	46
2.2.3 TEORÍA ENFOCADA AL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN	47
2.2.3.1 SISTEMA FÍSICO O PLANTA	48
A) PLANTA.	48
B) SISTEMA DINÁMICO	48
C) COMPORTAMIENTO	49
D) SEÑAL	49
E) MODELADO	50
F) ECUACIONES DIFERENCIALES Y EN DIFERENCIAS	50
G) LINEALIZACIÓN Y SISTEMAS LIT	51
H) TRANSFORMADA DE LAPLACE Y TRANSFORMADA Z	52
I) FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA Y ECUACIÓN DE ESTADO	54
J) NOCIÓN DE DISEÑO	55
K) DIAGRAMAS DE BLOQUES	56
2.2.3.2 SISTEMA DE DATOS MUESTREADOS	57
A) DIGITALIZACIÓN	58
B) ALIASING.	60
C) ADQUISICIÓN DE DATOS	60
2.2.3.3 PROCESAMIENTO Y BASE DE DATOS	61
A) PROCESAMIENTO	62
B) FILTROS	62
C) ELIMINACIÓN DE RUIDO	62

D) ALGORITMOS	63
E) BASE DE DATOS	63
F) GESTORES DE BASES DE DATOS	64
2.2.3.4 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN O RED DE DATOS	64
A) REDES DE ÁREA LOCAL (LAN)	65
B) PROTOCOLOS	65
C) ETHERNET	65
D) ETHERNET INDUSTRIAL	66
E) ARQUITECTURA	67
F) ESTANDARIZACIÓN	69
2.2.3.5 APLICACIONES DE CONTROL Y SUPERVISIÓN	69
A) PROGRAMAS O APLICACIONES INFORMÁTICAS	69
B) RELACIÓN ENTRE SOFTWARE Y HARDWARE	70
2.3 GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS	71
2.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	81
2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL	81
2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICA	81
2.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	82
CAPITULO III	83
DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN	83
3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	84
3.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	84
3.1.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	84
3.1.3 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	85
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN	86
3.2.1 POBLACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	86
3.2.2 MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	86
3.2.3 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN	86
3.3 MATERIAL EXPERIMENTAL	87
3.3.1 PROTOTIPO DE CONTROL DE NIVEL	87
3.3.2 DISPOSITIVO DE ADQUISICIÓN DE DATOS	87
3.3.3 COMPUTADORAS PERSONALES	88
3.3.4 DISPOSITIVOS MÓVILES	88
3.3.5 CAPA FÍSICA DE RED	89
3.3.6 PROGRAMAS UTILIZADOS	91
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN	93
3.4.1 TÉCNICAS	93

3.4.2	MEDICIÓN	93
3.4.3	REVISIÓN DE HOJAS DE DATOS	93
3.4.4	INSTRUMENTOS	93
3.5	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	94
3.5.1	PROCESAMIENTO DE DATOS	94
3.5.2	PRESENTACIÓN DE LOS DATOS EN UNA INTERFAZ GRÁFICA	94
3.5.3	CRITERIOS DE ELECCIÓN	94
3.5.4	PROCEDIMIENTO DEL EXPERIMENTO	95
3.5.5	PLAN DE TRATAMIENTO DE DATOS	97
3.5.6	DISEÑO ESTADÍSTICO PARA PRUEBA DE HIPÓTESIS	97
 CAPITULO IV		 99
 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		 99
4.1	ANÁLISIS	100
4.1.1	PLANTA O SISTEMA FÍSICO	101
4.1.1.1	MODELADO	102
4.1.1.2	LINEALIZACIÓN DEL MODELO	104
4.1.2	SISTEMA DE DATOS MUESTREADOS	106
4.1.2.1	DISEÑO DEL CIRCUITO	106
4.1.2.2	PROGRAMACIÓN DEL DISPOSITIVO	108
4.1.3	PROCESAMIENTO Y BASE DE DATOS	112
4.1.3.1	INTERFAZ DE DIGITALIZACIÓN DEDICADO O CLIENTE	113
4.1.3.2	SERVIDORES DE APLICACIÓN	115
	INTERFAZ DE USUARIO DEL SERVIDOR DE APLICACIONES.	116
4.1.3.3	CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS	116
4.1.3.4	SERVICIOS REST	118
4.1.4	SISTEMAS DE COMUNICACIÓN O RED DE DATOS	118
4.1.5	APLICACIONES DE CONTROL Y SUPERVISIÓN	120
A)	DISCRETIZACIÓN DEL SISTEMA DINÁMICO	121
B)	DISCRETIZACIÓN DEL FILTRO PASA BAJOS	122
C)	DISCRETIZACIÓN DEL ALGORITMO DE CONTROL PID	124
4.1.5.1	IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ DE USUARIO	125
A)	INTERFAZ DE USUARIO PARA COMPUTADORAS PERSONALES	126
B)	INTERFAZ DE USUARIO PARA DISPOSITIVO CELULAR	127
4.1.5.2	FUNCIONES ADICIONALES DEL SISTEMA	128
A)	NOTIFICACIONES Y ALARMAS	128
B)	PROGRAMACIÓN DE TAREAS	128
C)	GENERACION DE INFORMES	129

D) INTEGRACIÓN CON OTRAS APLICACIONES	129
4.1.5.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS APLICACIONES INALÁMBRICAS	130
4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	132
4.2.1 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS EN FLEXIBILIDAD	132
4.2.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS EN EFICIENCIA	132
4.2.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS EN ROBUSTEZ	133
4.2.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS EN SEGURIDAD	133
CONCLUSIONES	134
SUGERENCIAS O RECOMENDACIONES	136
BIBLIOGRAFÍA	138
ANEXOS	140



ÍNDICE DE CUADROS

Tabla N° 1

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES DE ACUERDO A LOS
OBJETIVOS DE ESTUDIO

82



ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafica N° 1	GRAFICA REFERENCIAL DEL PROCEDIMIENTO DE EXPERIMENTACIÓN	96
Grafica N° 2	VARIACIÓN DEL SENSOR DE VOLTAJE DE SALIDA Y NIVEL DE TANQUE	101
Grafica N° 3	LAS SOLUCIONES SMART WIRELESS REDUCEN LOS COSTOS DE INSTALACIÓN HASTA EN UN 90%, PERMITIENDO AL USUARIO PROPORCIONAR UNA RENTABILIDAD SÓLIDA DEL PROYECTO. FUENTE: EMERSON - PROCES MANAGEMENT	131



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1	ESQUEMA BÁSICO DE UN SISTEMA DE CONTROL, LA SALIDA DEL SISTEMA SE DEBE A LA INTERACCIÓN DE LA ENTRADA CON EL PROCESO	32
Figura N° 2	ELEMENTOS DE SISTEMA DE CONTROL A LAZO ABIERTO	36
Figura N° 3	ELEMENTOS DE SISTEMA DE CONTROL A LAZO CERRADO	37
Figura N° 4	DIAGRAMA FUNCIONAL DE SISTEMA DE CONTROL CENTRALIZADO: A) PROCESADOR CENTRAL, B) COMPUTADORA PERSONAL, C) ENTRADAS DESDE SENSORES Y MEDIDORES, D) SALIDAS HACIA LOS ACTUADORES	38
Figura N° 5	DIAGRAMA FUNCIONAL DE UN SISTEMA DE CONTROL DESCENTRALIZADO: A) PROCESADOR CENTRAL, B) COMPUTADORA PERSONAL, C) DISPOSITIVOS DE ENTRADA Y SALIDA DISTRIBUIDA	38
Figura N° 6	DIAGRAMA FUNCIONAL DE UN SISTEMA DE CONTROL SUPERVISADO: A) COMPUTADORA PERSONAL, B) SISTEMA MÍNIMO DE CONTROL, C) PROCESADOR LOCAL, D) DISPOSITIVOS DE ENTRADA Y SALIDA	39
Figura N° 7	DIAGRAMA FUNCIONAL DE UN SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO: A) PROCESADOR CENTRAL, B) COMPUTADORA PERSONAL, C) SISTEMA MÍNIMO DE CONTROL, D) PROCESADOR LOCAL, E) DISPOSITIVOS DE ENTRADA Y SALIDA	40
Figura N° 8	DIAGRAMA FUNCIONAL DE UN SISTEMA DE CONTROL SUPERVISIÓN Y GESTIÓN: A) COMPUTADORA PERSONAL B) GESTIÓN DE INFORMACIÓN, C) PROCESADOR CENTRAL, D) SISTEMA MÍNIMO DE CONTROL E) PROCESADOR LOCAL, F) DISPOSITIVOS DE ENTRADA Y SALIDA	41
Figura N° 9	PIRÁMIDE DE AUTOMATIZACIÓN IZQUIERDA MODELO TEÓRICO CIM, DERECHA MODELO REAL TIA. AL IMPELMENTAR EL MODELO CIM EN UNA EMPRESA REAL LOS NIVELES DE CONTROL Y SUPERVICION SE FUCIONAN PARA SER PARTE DE UN SOLO NIVEL DE SISTEMAS DE CONTROL	46
Figura N° 10	UN BLOQUE COMO ELEMENTO	56
Figura N° 11	DETECTOR DE ERROR EN LA IZQUIERDA Y PUNTO DE BIFURCACIÓN A LA DERECHA	56
Figura N° 12	MUESTREADOR IDEAL UNIFORME REPRESENTADA DE FORMA APROXIMADA DESDE LA VELOCIDAD ANGULAR IMAGINARIA DEL INTERRUPTOR	58
Figura N° 13	PARTES DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	60
Figura N° 14	SUBSISTEMAS DE UN SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE BASES DE DATOS O SISTEMA DE GESTIÓN DE BASE DE DATOS	64
Figura N° 15	ARQUITECTURA CLIENTE-SERVIDOR	67
Figura N° 16	ARQUITECTURA PEER-TO-PEER	67
Figura N° 17	ARQUITECTURA SERVIDO PROXY	68
Figura N° 18	SISTEMAS COMPATIBLES	68
Figura N° 19	EXPLICACIÓN GRAFICA DE INTEGRACIÓN DE SEÑAL Y SISTEMA	71

Figura N° 20	CAPA DE SOFTWARE MIDDLEWARE	78
Figura N° 21	ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DESARROLLADO	100
Figura N° 22	SISTEMA FÍSICO PARA EL CONTROL DE NIVEL DE AGUA EN UN RESERVORIO	101
Figura N° 23	UN FLUIDO EN FLUJO LAMINAR A TRAVÉS DE UNA TUBERÍA QUE SE ESTRECHA. EL VOLUMEN DE LA PORCIÓN SOMBREADA A LA IZQUIERDA ES IGUAL AL VOLUMEN DE LA PORCIÓN SOMBREADA A LA DERECHA.	103
Figura N° 24	SALIDA DE UN LÍQUIDO POR UN ORIFICIO EN UN TANQUE CON RAPIDEZ V1	103
Figura N° 25	DIAGRAMA DEL CIRCUITO PARA EL DISPOSITIVO CAD – CDA	107
Figura N° 26	VENTANA DE CONFIGURACIÓN PARA EL MICROCONTROLADOR PIC18F4550 DE ACUERDO AL CRISTAL UTILIZADO EN EL CIRCUITO Y A LA VELOCIDAD QUE TRABAJAMOS	108
Figura N° 27	VENTANA DE CONFIGURACIÓN DE LA LIBRERÍA PARA CREAR EL DRIVER HID. LO IMPORTANTE ES EL VID Y EL PID QUE SE IMPRIME AL DISPOSITIVO	109
Figura N° 28	FORMULARIO CREADO EN DELPHI XE6 PARA EL MUESTREO Y ENVIÓ DE SEÑAL SETPOINT	113
Figura N° 29	VISUALIZACIÓN DE LA INTERFAZ DEL SERVIDOR DE APLICACIONES EN SUS DOS ESTADOS	116
Figura N° 30	MODELO RELACIONAL DE LAS TABLAS CONTENIDAS EN BASE DE DATOS	117
Figura N° 31	BASE DE DATOS VISTA DESDE EL IDE DE FIREBIRD	117
Figura N° 32	ARQUITECTURA EN CAPAS	118
Figura N° 33	VISUALIZACIÓN DE SEÑALES DE CONTROL SEÑAL DE CONTROL Y EL SETPOINT	127
Figura N° 34	VISUALIZACIÓN DE SEÑALES DE CONTROL SEÑAL DE CONTROL Y EL SETPOINT EN LA INTERFAZ MÓVIL	128

RESUMEN

Con el fin de aplicar las tecnologías, hoy accesibles a la gran mayoría de personas, en procesos industriales; es que en el presente trabajo de investigación describimos el proceso seguido en el diseño e implementación de un sistema de control y supervisión distribuido multiplataforma utilizando principalmente el entorno de programación Delphi y el gestor de base de datos de licencia libre Firebird. Se procuró que este, tuviera las principales prestaciones de los sistemas industriales como de: flexibilidad, eficiencia, robustez y seguridad. El sistema, lo aplicamos a un prototipo de control de nivel de agua en un tanque. La investigación se basa en tres objetivos específicos. Primero, la adquisición de datos del prototipo de la formas más fiable posible. Segundo, la creación del sistema que nos permite realizar el control y supervisión del prototipo con algún algoritmo de control digital ejecutado desde algún punto conectado a la red Ethernet de forma cableada o inalámbrica. Y por último, realizamos pruebas de funcionalidad y de las prestaciones que tiene de acuerdo al objetivo general. Durante el proceso de implementación del sistema, se identificaron cinco etapas que obedece estrictamente al seguimiento que se realiza a la señal: (a) Planta o sistema físico, (b) Sistema de datos muestreados, (c) Procesamiento y base de datos, (d) Sistemas de comunicación o red de datos y (e) Aplicaciones de control y supervisión. Las etapas llevadas a cabo, resultaron indispensables en cuanto a la manipulación, procesamiento y análisis en las que se basa la investigación, llegando consecuentemente a realizar un sistema para el sector industrial altamente potencial.

Palabras claves: Datos Muestreados, Control, Supervisión, Multiplataforma, Ethernet Industrial.

ABSTRACT

In order to apply the technologies, today accessible to the vast majority of people in industrial processes; It is that in the present investigation described the process followed in the design and implementation of a monitoring and control system mainly distributed platform using the Delphi programming environment and the database manager license free Firebird. They tried this, have major benefits for industrial systems such as: flexibility, efficiency, robustness and security. The system, applied it to a prototype control water level in a tank. The research is based on three specific objectives. First, data acquisition prototype of the most reliable ways possible. Second, the creation of the system that allows us to control and supervision of the prototype with a digital control algorithm executed from any connected to the Ethernet network either wired or wireless point. Finally, we test the functionality and performance that is according to the general objective. During the process of implementing the system, five stages that strictly obeys the monitoring that is done to the signal were identified: (a) Plant or physical system, (b) sampled data system, (c) processing and database (d) communication systems or data network and (e) control and monitoring applications. The steps carried out, proved indispensable in terms of handling, processing and analysis in which the research is based, consequently getting to realize a system for highly potential industry.

Keywords: Sampled Data, Control, Supervision, Multiplatform, Industrial Ethernet.

INTRODUCCIÓN

Un sistema de control y supervisión distribuido digital, nos ayuda a realizar y optimizar de manera automática algún proceso que quisiéramos mejorar, ayudándonos a realizar las tareas de la manera más simple como creamos posible. En la actualidad, las herramientas que nos ofrece la era de la información nos permiten por ejemplo, el desarrollo de este tipo de sistemas en múltiples plataformas, a partir de los programas disponibles en la internet. Además, estos sistemas son cada vez más implementados y desarrollados no solamente en el ámbito industrial sino que se extiende inevitablemente a las distintas áreas de estudio en la sociedad y con distintas herramientas disponibles libremente. Esto debido a las múltiples aplicaciones que se pueden desarrollar como una alternativa más económica a las tecnologías industriales existentes en el mercado, pues suelen ser prácticamente inaccesibles para la gran mayoría de usuarios y más en nuestra región.

El diseño e implementación de un sistema de control y supervisión distribuido multiplataforma utilizando el entorno de programación Delphi y el gestor de base de datos Firebird descrito en el presente, incrementa las posibilidades de solución de los problemas latentes en nuestra región como la falta de tecnología aplicada al sector industrial. De acuerdo al proceso científico, el presente obedece a los lineamientos comunes que debería tener un trabajo de investigación científica como es:

CAPÍTULO I. Describimos el planteamiento del problema de investigación a partir de la incongruencia existente en la sociedad de: accesibilidad de la tecnología e información, y el alto costo de los sistemas industriales dedicados.

CAPITULO II. Describimos el marco teórico necesario enfocado objetivamente al sistema y al seguimiento estricto al el proceso que sigue la señal.

CAPÍTULO III. Describimos de forma general la metodología de la investigación seguida para el análisis e interpretación de resultados.

CAPÍTULO IV. Está orientado al minucioso análisis de sistemas con todas las técnicas matemáticas aplicadas y herramientas utilizadas durante el diseño e implementación del sistema. Con lo cual conseguimos las respectivas conclusiones y recomendaciones.

Para llevar a cabo este proyecto, el proceso de diseño e implementación lo clasificamos en cinco etapas en las que se basa este trabajo:

- a) La etapa de planta o sistema físico, consiste en el armado del prototipo de nivel, además se describe de forma minuciosa el proceso de modelado y linealización en tiempo continuo para fines de análisis y control.
- b) La etapa de sistema de datos muestreados, describe el diseño, armado y programación del dispositivo para que pueda funcionar con tecnología USB-HID que nos permita digitalizar la señal analógica para ser procesado con herramientas digitales y esta señal pueda ser enviada a la planta. Cabe resaltar que el lenguaje de programación “C” es la principal herramienta utilizada para muestrear la señal.
- c) La etapa de procesamiento y base de datos, describe el proceso minucioso seguido para manipular y almacenar en los servidores la señal adquirida mediante un filtro digital pasabajo y algoritmos de control PID debidamente discretizados e implementados en código pascal de Delphi a partir del modelo discreto hallado previamente.
- d) Sistemas de comunicación o red de datos, en esta etapa se describe el armado y configuración de todo el sistema de comunicaciones requerido para un sistema de comunicaciones con las especificaciones mínimas de Ethernet Industrial. Es importante resaltar que la arquitectura que procuramos armar es del tipo PEER TO PEER, este

consiste básicamente en la configuración Cliente-Servidor pero con la posibilidad de conectar varios servidores y clientes indistintamente.

e) La última etapa denominada, aplicaciones de control y supervisión, describe el proceso seguido para crear el software necesario que permite al usuario final realizar tareas de control y supervisión desde diferentes plataformas a través de una interfaz amigable e intuitiva. La característica de sistema de control distribuido se logra en esta etapa, gracias a que las aplicaciones pueden realizar y ejecutar algún tipo de algoritmo de control independientemente.





1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Formulación del problema

En nuestra actual sociedad, el avance de la tecnología prácticamente marca el ritmo de vida de las personas, tal es así que es indispensable contar con un teléfono móvil inteligente, una computadora personal o algún dispositivo electrónico que nos permitan básicamente tener acceso a la información y de alguna forma mejorar nuestra calidad de vida. Pero este escenario no es casual, recordemos que los mayores cambios del progreso de nuestra sociedad se atribuyen principalmente a dos acontecimientos que se dieron desde la década de los sesenta: el desarrollo de los microprocesadores y el desarrollo de las redes de información y las comunicaciones a alta velocidad. Es en este contexto en el que aparece el concepto de "Sistemas Distribuidos" que se ha popularizado tanto en la actualidad y que tiene como ámbito de estudio las redes Internet, redes de teléfonos móviles, redes corporativas, redes de empresas, redes industriales, entre otros.

En la industria, como es de suponer, el desarrollo del control distribuido avanza paralelamente al desarrollo de las tecnologías y las telecomunicaciones, es así que cada día es más la necesidad de disponer de dispositivos inteligentes para realizar el control y supervisión de forma remota, desde cualquier punto distinto al área geográfica de producción, transformando la industria a un nuevo nivel, más accesible, móvil e intuitiva sin dejar de lado la seguridad y confiabilidad de estos sistemas. En el mercado existe cierta variedad de sistemas de tiempo real, pero estas tecnologías tienen un costo elevado para la mayoría de las empresas de nuestra región, y cualquier necesidad en particular por parte de los usuarios requiere un costo adicional, siendo de estas tecnologías aún más costosas y hasta prácticamente inaccesibles.

En este contexto social, más la incongruencia de: accesibilidad de las tecnologías y el alto costo de las aplicaciones de control y supervisión en tiempo real. Es que es necesario e inevitable diseñar e implementar un sistema de control y supervisión distribuido como una alternativa tecnológica que pueda ser implementado en múltiples plataformas y sobre un estándar de comunicaciones basado en software profesional mucho menos costoso como es Delphi y el gestor de base de datos de licencia libre como es Firebird, con las ventajas que ofrece estas herramientas y un gran potencial en cuanto a las prestaciones del sistema como por ejemplo la incursión en el área de control inalámbrico vía dispositivos móviles.

1.1.2 Problema general

¿El diseño e implementación de un sistema de control y supervisión distribuido multiplataforma utilizando el entorno de programación Delphi y el gestor de base de datos Firebird, ofrecerá las prestaciones mínimas requeridas en este área como son las de un sistema flexible, eficiente, robusto y seguro?

1.1.3 Problemas específicos

- a) ¿El sistema a desarrollar cumple con las características mínimas de fiabilidad de muestreo y cuantización de señales, adquisición de datos en tiempo real así como la ejecución de respuestas efectuadas por los actuadores?
- b) ¿Las técnicas de almacenamiento, procesamiento, y gestión de datos en tiempo real nos permitirán la manipulación de datos, control y supervisión de procesos en un entorno distribuido multiplataforma?
- c) ¿Las tecnologías utilizadas de comunicación, hardware y software que se usan para la implementación del sistema de control y supervisión distribuida nos ofrecerán las prestaciones en algún grado aceptable de flexibilidad, eficiencia, robustez y seguridad?

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Como futuros ingenieros, es importante tener siempre presente los conceptos teóricos bien definidos de las diferentes áreas de las ciencias y aplicarlos a la práctica para el beneficio de nuestra sociedad, pero es aún mejor si el aporte que realizamos llega a nuestro entorno más cercano. Una de las formas de lograr esto, es solucionar nuestros problemas creando nuestra propia tecnología con nuestras propias herramientas y de acuerdo a nuestras múltiples necesidades.

Uno de los problemas de nuestra región es por supuesto la falta de tecnología en nuestra industria, además las existentes en el mercado son muy costosas. Entonces, el desarrollo de un sistema de control y supervisión distribuido multiplataforma de bajo costo, utilizando las herramientas adecuadas que nos ofrece la era de la información en que vivimos, es prácticamente inevitable. Además, considerando la incursión de sistemas operativos de licencia libre en múltiples disciplinas y su aceptación en los diferentes sectores industriales, más la tendencia de integrar todos los sistemas de supervisión y control de una forma eficiente y totalmente interoperable. Son las razones por las cuales se desarrolló un estudio enfocado a crear una herramienta que nos permitiera controlar y supervisar algún proceso en cualquier tipo de sistema operativo o plataforma.

1.2.1 Justificación técnica

En la actualidad, una planta de producción o manufactura exige la integración de sistemas de instrumentación, adquisición de datos, control y supervisión, además de estar actualizados, especialmente con equipamiento tecnológico moderno. Esta creciente necesidad tecnológica más la de contar con información en tiempo real de procesos, así como el registro y gestión de datos para la toma de decisiones oportunamente y sin la necesidad de estar cerca de las líneas de producción, es una ventaja que se puede aprovechar de este tipo de sistemas. Además, con esta plataforma basado en tecnologías

de comunicación Ethernet, TCP/IP, de bases de datos y de dispositivos móviles, se intenta proveer de un soporte básico para el desarrollo de sistemas capaces de dotar de inteligencia los procesos de adquisición de grandes cantidades de variables, facilitar su procesamiento, ejecutar elaborados algoritmos de control, visualizar el comportamiento de los procesos, en un todo sin necesidad de recurrir a sofisticados ambientes especializados

1.2.2 Justificación económica

La implementación de un sistema de control y supervisión de procesos con capacidad de ser ejecutado en cualquier tipo de plataforma, sistema operativo o dispositivo móvil con funciones de almacenamiento y acceso remoto en beneficio de los usuarios del sistema por medio de Internet y dispositivos móviles mediante un único protocolo, reduce sustancialmente los costos de implementación y operación al utilizar herramientas de bajo costo y hasta de software libre. Así, el sistema que se presenta es una herramienta de bajo costo y de altas prestaciones, además este puede implementarse de forma sencilla, con el mínimo requerimiento de licencias de software, no dependiendo de un fabricante.

1.2.3 Justificación social

Al estar soportados por una herramienta de programación profesional y la filosofía de herramientas libres y de estándares abiertos, el sistema facilita su integración con otros ambientes de control y supervisión. Además, permite la escalabilidad, conectividad y mantenibilidad, a objeto de disponer de toda la inteligencia en sitio para ejecutar las funciones de control, supervisión en tiempo real, facilitando las tareas de producción al personal y optimizando sus resultados finales, por ejemplo al someter los resultados a un mejor análisis para mantener y en el mejor de los casos mejorar la calidad de sus productos.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de control y supervisión distribuido multiplataforma utilizando el entorno de programación Delphi y el gestor de base de datos de licencia libre Firebird.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Diseñar e implementar un prototipo de censado de nivel de un tanque de agua y una tarjeta de adquisición de datos para diferentes arquitecturas que nos permitan la obtención y procesamiento de señales de un sistema físico.
- b) Diseñar e implementar el programa de base de datos, el programa servidor de aplicaciones y programas cliente para diferentes plataformas, que interactuando entre sí, nos permitan el almacenamiento, procesamiento, y gestión de datos en tiempo real para el control y supervisión de procesos mediante una interfaz amigable e intuitiva.
- c) Realizar pruebas de adquisición, control y supervisión en varias plataformas y en entornos de comunicación cableados e inalámbricos para el análisis de sus prestaciones de estabilidad, escalabilidad, confiabilidad y robustez.



2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Se realizaron e implementaron muchos estudios y sistemas orientados a la supervisión, control y adquisición de datos para diferentes empresas, con diferentes programas y en sus distintos rubros o áreas. A continuación mencionaremos algunas de ellas.

2.1.1 Diseño de sistemas SCADA con conexión a bases de datos, visualización y control en dispositivos móviles.

Este trabajo explica la creación de un sistema SCADA, utilizando el programa para desarrollo de aplicaciones Labview, el cual requirió conexión hacia bases de datos, específicamente a bases creadas utilizando el programa de computo MySQL. También explica cómo se logró ver y controlar ese sistema a través de un teléfono inteligente, con lo cual, implementando estas medidas en un entorno físico, se puede disminuir el tiempo de falla dentro de una empresa y alcanzar una mayor productividad.

El desarrollo del sistema SCADA comienza con la creación de un algoritmo que controla el nivel y la temperatura de líquido en un tanque, utilizando la herramienta Labview. Luego se procede a crear la base de datos de los usuarios que tendrán acceso al sistema SCADA, los cuales podrán ver y cambiar los parámetros del sistema para su funcionamiento óptimo.

A continuación se procede a crear la interfaz gráfica del programa para el teléfono inteligente y a introducir la programación en la computadora, que permitirá que el teléfono controle el proceso. Por último se programa el teléfono para que haga lo que el usuario le solicite.

De sus conclusiones de estudio

- a) Los sistemas de control deben ser de fácil visualización y sobre todo ser amigables con el usuario, ya que el mismo no debe ser un experto para entender lo que sucede en la fábrica.
- b) Un sistema SCADA debe tener la capacidad de establecer un registro de actividades, de alarmas y mediciones realizadas durante los procesos, para que en caso de tener que reemplazar parte del equipo de la producción, se tenga un patrón de comportamiento deseado que deberá ser provisto por el equipo nuevo; de esta premisa surge la necesidad de la conexión del sistema a una base de datos como por ejemplo: una base de datos en MySQL, la cual fue utilizada en este Sistema.
- c) Por medio del sistema SCADA que se realizó, se logró que el sistema fuera capaz de crear automáticamente respaldos de la base de datos en la cual se encuentran usuarios y alarmas que el sistema ha presentado con anterioridad. Estos respaldos son posteriormente almacenados en un servidor FTP en prevención de un fallo de la computadora donde se encuentra el sistema. Es por ello que se tienen dichos datos, los cuales se consideran de vital importancia, en una localidad segura; ahorrando de esta manera tiempo y dinero en una nueva configuración del sistema, que a su vez deberá ser reinstalado en el equipo nuevo.

2.1.2 Desarrollo de un sistema SCADA para uso en pequeñas y medianas empresas.

El trabajo que presentaré a continuación muestra el desarrollo de un sistema automatizado para ser implementado en empresas de bajos recursos, las cuales no pueden acceder a sistemas comerciales similares. Dichas empresas siguen manteniendo elevados costos en registros a mano, impresiones, correos y mano de obra, consecuentemente no pueden competir con las empresas extranjeras que si tienen fondos para invertir en ese

tipo de software. El desarrollo de dicho software promueve el uso de software libre, respetando la complejidad, compatibilidad, recursos y los requerimientos de operatividad y seguridad de pymes.

El desarrollo de la tesis se divide 4 partes: marco teórico, diseño, seguridad, e implementación. Esos 4 capítulos engloban toda la información y los procedimientos con que fue desarrollado “Soft-Control”. Una vez visto todos los capítulos, el lector será capaz de entender términos clave en automatización, obtendrá conocimientos informáticos, conocerá más acerca de lenguajes de programación tanto web como de escritorio, conocerá el concepto de base de datos, además sabrá los pasos para realizar un diseño de software según la ingeniería de software, estará al tanto de las tecnologías de software libre que existen hoy en día y podrá proponer una solución empresarial para la automatización industrial con un software de costo muy bajo, eficiente y confiable.

De sus conclusiones de estudio

- a) Los sistemas SCADA están evolucionando conjuntamente con las tecnologías de la información, esto implica que el hardware ya no es limitante del mismo. Es el software el que le da el mayor valor agregado al sistema.
- b) Las tecnologías de código abierto son igual de competentes e incluso más competentes que algunas tecnologías de pago. Esto significa que las tecnologías de código libre son una tendencia para la industria del software en el futuro.
- c) Actualmente, el mayor limitante de los sistemas SCADA no se encuentra alojado en alguna característica del hardware o en el software. Las comunicaciones son un tema muy delicado pues se debe manejar de tal modo que la seguridad no sea baja, ni que baje las velocidades de transferencia de datos.

- d) Los gestores de bases de datos ciertamente son de gran utilidad hoy en día en el desarrollo de estos tipos de software, pues ellos se encargan de funciones tales como la seguridad, almacenamiento, reportes, alertas, etc. Dejando así al sistema SCADA más recursos para que cumpla con sus funciones específicas de supervisión, control y adquisición de datos.
- e) Las metodologías tanto de diseño como de desarrollo de software también son un punto a resaltar hoy en día. No solo se pueden aplicar en el campo de la informática, sino que también, como el caso de la presente tesis, se pueden aplicar para proyectos industriales tales como el desarrollo o implementación de sistemas SCADA.
- f) Con los sistemas de código abierto la pequeña y mediana empresa tiene una gran oportunidad de volverse más competitivo, tener mayor control sobre sus procesos, agilizar el manejo de la información y poder llegar a más clientes.
- g) Con el software de código libre, la pequeña y mediana empresa puede implementar un centro de desarrollo de software. Logrando así disminuir sus costos en software de pago y tener un software hecho a la medida que se adapte totalmente a su forma de operar.

2.1.3 Sistema de control y supervisión industrial multiplataforma.

Este artículo describe las diferentes tecnologías que se pueden utilizar para desarrollar una herramienta que permita una comunicación industrial entre diversas plataformas. También muestra el desarrollo de la herramienta utilizando la mejor opción de comunicación dentro del entorno de estudio particular presentando los resultados obtenidos y sus ventajas en términos de compatibilidad y rendimiento.

Se implementó un sistema de supervisión y control de procesos industriales con capacidad de ser ejecutado en cualquier tipo de plataforma y sistema operativo, con

funciones de almacenamiento y acceso remoto para los usuarios del sistema por medio de Internet y dispositivos móviles, reduciendo así sustancialmente los costos de implementación y operación al utilizar herramientas de software libre.

De sus conclusiones de estudio

- a) Con el sistema desarrollado, se pueden generar todas las aplicaciones actualmente requeridas por un sistema de control y supervisión utilizando una plataforma Java y un servidor XML-DA desarrollado en cualquier lenguaje.
- b) A través de la implementación de un Cliente Web de la especificación OPC XML-DA en J2EE, se puede tener acceso ilimitado a los datos de un dispositivo de campo y ejecutar la aplicación en cualquier plataforma, ya sea Linux, UNIX, Windows, o un dispositivo móvil.
- c) Utilizando la especificación OPC XML-DA se pueden integrar todos los servicios necesarios para el control y supervisión de dispositivos de campo en un proceso industrial, y usar los mismos desde cualquier sitio remoto con acceso a Internet, o dentro de una LAN.
- d) Se pueden reducir ostensiblemente los costos de desarrollo de una herramienta de control y supervisión al utilizar sistemas operativos de carácter libre y software de desarrollo de libre distribución, sin perjudicar su calidad y rendimiento.
- e) Para un sistema de control y supervisión en un proceso industrial, los tiempos de respuesta de la herramienta desarrollada en Java son muy buenos y no generan ningún retardo en el desempeño del mismo. Se puede decir que cumplen con la definición de tiempo real bajo condiciones de red específicas y limitadas.
- f) La adquisición de los datos por medio de la aplicación XML-DA puede generar errores y terminaciones de la conexión dependiendo del tráfico en la red.

g) Algunos procesos, especialmente los relacionados con servicios que manejan poca información como ver el estado de un servidor, utilizan muchos recursos para una transacción simple y no son óptimos para un sistema de este tipo, debido a que pueden generar errores y aumentar el tráfico en la red.

h) Para desarrollar un servidor OPC XML-DA sobre lenguaje Java se necesita más que la simple especificación. Debe desarrollarse algún medio o utilizar uno ya desarrollado que permita obtener los datos directamente desde la memoria o que haga una comunicación con los objetos COM.

2.1.4 Sistema de control inalámbrico: diseño, construcción y aplicación en caldera industrial

Este trabajo de investigación y desarrollo tecnológico tuvo como finalidad el diseño y construcción de una unidad de control con capacidad de comunicación en red inalámbrica y cableada, con la finalidad de desarrollar una unidad de control de procesos poderosa, fácil de utilizar, flexible y bajo costo, a través de la cual, sea posible el implementar sistemas de control distribuidos inalámbricos y cableados basados en topologías de red avanzadas como estrella, árbol y malla, dado las diferentes tecnologías de comunicación que hoy en día se manejan en el campo de la automatización de procesos industriales y tomando referencia de las más novedosas y prometedoras ventajas de las tecnologías de avanzada disponibles en el mercado internacional.

El sistema incluye el desarrollo de un driver de comunicación en dos capas, el cual fue desarrollado bajo la plataforma del microcontrolador ATmega 328 con bootloader Arduino y la capa superior en ambiente de desarrollo LabVIEW, con la finalidad de facilitar al usuario el desarrollo de la aplicación de control y lograr que las tareas de comunicación entre las unidades de control y cuarto de supervisión sean completamente transparentes para el programa del usuario.

De sus conclusiones de estudio

- a) El protocolo de comunicaciones cableado Ethernet, es el que presenta tiempos de respuesta menores respecto a los protocolos inalámbricos Zigbee y WiFi. Sabemos que los módulos utilizados para los 3 protocolos de comunicación presentan sus limitaciones, al tratarse de controladores embebidos de dichos protocolos de comunicación, lo cual significa que al llevarse a cabo las operaciones de transporte, ruteo y acondicionamiento de paquetes en el mismo módulo y permite utilizar estos protocolos en aplicaciones a bajo nivel como desarrollo de placas basados en microcontroladores, los rendimientos que se obtienen en cuanto a velocidad de transferencia en estos módulos son reducidos.
- b) Aun así, estamos convencidos de que el presente sistema representa una gran oportunidad como herramienta para el desarrollo e implementación tanto de redes de sensores, sistemas de adquisición de datos o sistemas de control distribuidos en diversas topologías y tecnologías que permiten al usuario sacar provecho de la infraestructura física de telecomunicación instalada, en el caso de WiFi; bajo consumo energético y cobertura geográfica ilimitada en caso de Zigbee; banda ancha, confiabilidad y robustez de Ethernet y todos ellos en este sistema a bajo costo.
- c) Asimismo, coadyuvará en el fortalecimiento del perfil profesional del egresado de ingeniería electrónica permitiéndole enfocarse en la aplicación de control y adquisición de datos y no en las herramientas tecnológicas auxiliares para dicha tarea.

2.2. SUSTENTO TEÓRICO

2.2.1 TEORIA GENERAL DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

Un sistema de control, se define como un tipo de sistema que se compone de un conjunto de elementos relacionados o dispositivos interconectados que forman una configuración denominada también sistema, de tal manera que el arreglo resultante es capaz de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de otro sistema y hasta controlarse así mismo si este fuera automático.

El problema de control consiste en seleccionar y ajustar un conjunto específico de elementos que al interconectarse, el sistema resultante deberá comportarse de una manera específica, tanto como se desea. En nuestro caso, el sistema de control ofrece señales de salida en función a señales o datos de entrada mediante alguna acción de control, entonces el vínculo entrada-salida tiene una relación de causa y efecto mediante el sistema. Gráficamente un sistema susceptible a ser controlado se representa como se muestra en la figura N°1.

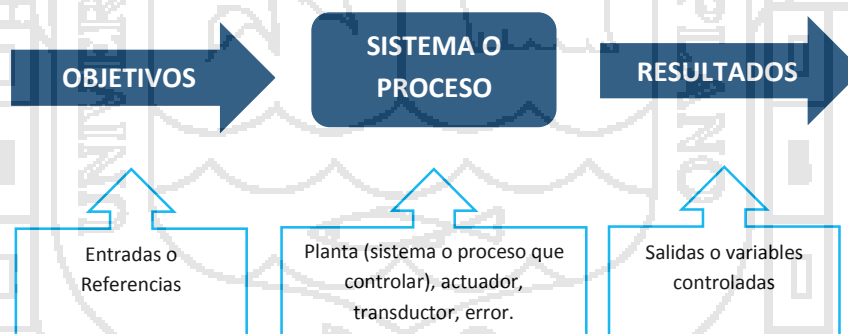


Figura N° 1 Esquema básico de un sistema de control, la salida del sistema se debe a la interacción de la entrada con el proceso.
Elaborado por el autor

Es importante resaltar el hecho de que, no es necesario conocer el funcionamiento interno o cómo interactúan los diversos elementos de un sistema para caracterizarlo. El aspecto más importante de un sistema es el conocimiento de su dinámica, es decir, cómo se comporta la señal de salida frente a una variación de la señal de entrada. Esta característica es conocida como “**principio de caja negra**”. Un conocimiento preciso de

la relación entrada/salida permite predecir la respuesta del sistema y seleccionar la acción de control adecuada para mejorarla.

2.2.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

Existen diferentes formas de clasificar los sistemas de control, debido precisamente a la compleja naturaleza que los caracteriza y a la naturaleza misma que en si es una sola, pero aemos denodados esfuerzos para comprenderla desde sus fundamentos, clasificarla, poder interpretarla y básicamente entender su comportamiento.

a) **Con respecto a su causalidad**

Desde el punto de vista teórico, los sistemas de control se clasifican en: causal y no causal. Un sistema susceptible a ser controlado responde solo durante o después del tiempo en el que se aplica la excitación. Sin embargo al considerar los filtros ideales algunas aproximaciones quizá lleven a un diseño de sistema para el cual la respuesta empieza antes de que se aplique la excitación. Un sistema de tales características no puede construirse realmente (Michael J. 2005).

Por definición, cualquier sistema para el cual la respuesta ocurre solo durante o después del tiempo en el que se aplica la excitación recibe el nombre de sistema causal. Todos los sistemas físicos son causales porque son incapaces de ver el futuro y anticipar una excitación que se aplicara después. Aunque todos los sistemas físicos reales deben ser causales en el estricto sentido de que una respuesta solo debe ocurrir durante o después de la excitación de la causa, existen sistemas de procesamiento de señales reales que algunas veces se describen en un sentido superficial como no causales. Estos son sistemas de procesamiento de datos en los que las señales se registran y luego se procesan fuera de línea en un tiempo posterior para producir una respuesta computada, puesto que la historia completa de la excitación se ha grabado, la respuesta computada en algún tiempo designado en la cadena de datos puede basarse en valores futuros de la excitación ya

registrada. Sin embargo, puesto que la operación de procesamiento de datos completa ocurre después de que ha sido registrada las excitaciones, este tipo de sistemas sigue siendo causal en un sentido estricto (Michael J. 2005).

b) Con respecto al principio físico

Una posible clasificación de estos sistemas puede darse con respecto al principio físico que los define. Así, se tendrían sistemas mecánicos, eléctricos, sistemas de cómputo, hidráulicos, neumáticos, térmicos, biológicos, uno económico, uno político, etcétera. Pero estos sistemas también pueden ser ordenados y clasificados en dos grupos: Los sistemas ideados por los ingenieros que son sistemas artificiales, y aquellos que se han desarrollado orgánicamente a través de la evolución y el crecimiento de la civilización que las denominamos sistemas naturales.

c) Con respecto a la ecuación que lo describe

Otra probable clasificación, es con respecto al orden de la ecuación diferencial que define al sistema, desde una simple ecuación proporcional conocida también como ecuación de orden cero e incrementándose a primer orden, segundo orden, y de orden superior. A la vez, estas ecuaciones pueden ser lineales y no lineales.

Debemos agregar que en el mundo real, los sistemas lineales prácticamente no existen, ya que todos los sistemas son no lineales en algún grado. La suposición de linealidad de los sistemas se realiza para obtener modelos ideales y con esto facilitar el análisis, diseño e implementación de sistemas de control de cualquier tipo.

d) Con respecto a su número de entradas y salidas.

Otra de las varias alternativas para clasificar los sistemas de control es con respecto a su número de entradas y salidas. Cuando un sistema tiene una sola entrada y una sola salida se denomina sistema SISO (single input, single output); cuando posee varias entradas y varias salidas se llama sistema MIMO (multi input, multi output). Así

mismo podemos derivar sistemas como SIMO (single input, multi output) y MISO (multi input, single output).

e) **Con respecto al tipo de señales que se procesan**

Las señales o variables de los sistema dinámicos está en función del tiempo, de acuerdo con ello estos sistemas pueden ser de tiempo continuo y de tiempo discreto, del mismo modo los sistemas.

En un sistema de **tiempo continuo**, el tiempo se considera infinitamente divisible y esta descrito generalmente mediante una ecuación diferencial. Las variables de tiempo continuo se denominan también analógicas, por ser análogos al comportamiento físico natural de los sistemas.

Podemos definir dos tipos de sistemas de control en tiempo continuo: sistemas de control de corriente alterna y de corriente continua o directa. Cuando hacemos referencia a los sistemas de corriente alterna, se dice que estos están modulados según algún esquema de modulación general generalmente en frecuencia. Cuando se hace referencia a un sistema de control de corriente directa, no se debe pensar estrictamente que la dirección de las señales o corrientes correctivas es unidireccional, ya que si fuera así no se produciría en algunos casos la acción correctiva necesaria.

En un sistema en **tiempo discreto**, el tiempo se considera dividido en períodos de valor constante y esta descrito generalmente por una ecuación en diferencias. Los valores de las variables son digitales, las señales en algún o algunos puntos están en forma de pulsos o codificados digitalmente. (Sistemas binario, hexadecimal, etc.) Y su valor solo se conoce en cada período.

Los sistemas de tiempo discreto se pueden dividir en sistemas de control de datos muestreados y sistemas de control digital. En los sistemas de datos muestreados las

señales en el sistema se encuentran en forma de pulsos digitales, mientras que en un sistema de control digital, nos referimos a la utilización en sí, de un controlador digital, como una computadora, microcontrolador o cualquier sistema digital. Los sistemas de datos muestreados, solo reciben información durante instantes específicos, por lo que fuera de estos instantes el sistema no tiene información alguna del proceso controlado.

f) Con respecto al comportamiento o tratamiento de la señal de salida

Dependiendo del tratamiento que el sistema de control realiza con la señal de salida, pueden distinguirse dos topologías de control: sistemas en lazo abierto o no automático y sistemas en lazo cerrado conocidas también como realimentados o automáticos. Para llevar a cabo dicha clasificación, es importante definir el concepto de Acción de control como la cantidad dosificada de energía que afecta al sistema para producir la salida o la respuesta deseada.

Sistema de control de lazo abierto. Es aquel sistema en el cual la acción de control es, en cierto modo, independiente de la salida. Este tipo de sistemas por lo general utiliza un regulador o actuador con la finalidad de obtener la respuesta deseada.

La capacidad que tales sistemas para ejecutar una acción con exactitud depende de su calibración. En general, los sistemas de lazo abierto están regulados por base de tiempo.



Figura N° 2 elementos de sistema de control a lazo abierto
Elaborado por el autor

Sistema de control de lazo cerrado. Son los sistemas en la que la acción de control depende de la salida. Dicho sistema utiliza un sensor que detecta la respuesta real para compararla, entonces, con una referencia a manera de entrada. Por esta razón, los

sistemas de lazo cerrado se denominan sistemas retroalimentados. El término retroalimentar significa comparar. La figura N° 3 muestra la configuración de un sistema retroalimentado.

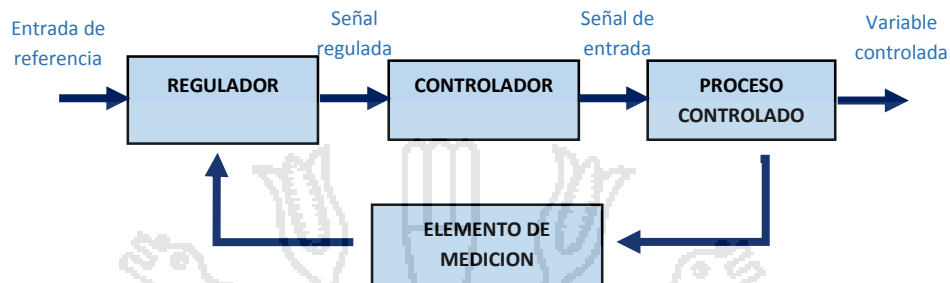


Figura N° 3 elementos de sistema de control a lazo cerrado
Elaborado por el autor

En teoría, todo sistema de lazo abierto puede convertirse a lazo cerrado; sin embargo, la limitante es el sensor, ya que no siempre es posible detectar la salida del proceso. Las características de los sistemas de lazo cerrado son:

Aumento de exactitud en el control del proceso. La retroalimentación atenúa el error para lograr el objetivo de control.

Sensibilidad reducida en las variaciones de las características del sistema. Se refiere a que, dentro de ciertos límites, uno o varios componentes del sistema pueden sustituirse por elementos semejantes al componente original, sin que se aprecien resultados significativos en el desempeño del sistema resultante.

Efectos reducidos de la no linealidad y la distorsión. Los efectos de la no linealidad y de la distorsión, dentro de ciertos rangos, pueden ser no significativos debido a la retroalimentación, ya que ésta tiende a ajustar la respuesta del sistema.

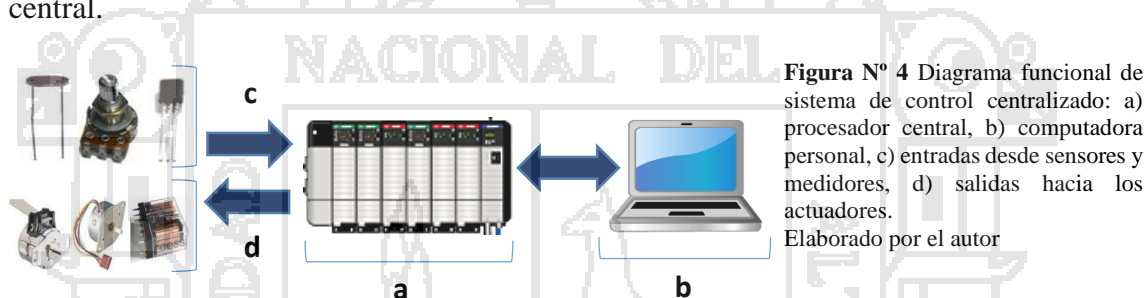
Aumento de ancho de banda del sistema. Con la retroalimentación, el rango de operación del sistema en el dominio de la frecuencia se incrementa.

Tendencia a la inestabilidad. Salvo las anteriores características, el único problema, pero grave, que causa la retroalimentación es la tendencia del sistema a la inestabilidad.

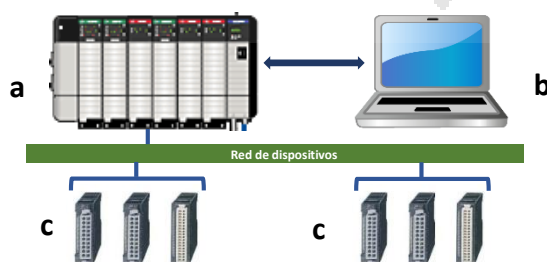
g) Con respecto a la arquitectura de control

Este tipo de clasificación obedece principalmente al continuo crecimiento de las necesidades de las industrias y al acelerado proceso de desarrollo tecnológico tanto en hardware y software.

Control centralizado. Está estructurado en torno a un computador central que recibe todas las entradas del proceso (variables) ejecuta los cálculos apropiados y produce salidas que se dirigen hacia los actuadores o dispositivos finales de control. Es este tipo de control es necesario cablear todos los procesos directamente al computador central. La potencia de tratamiento se concentra en un único elemento denominado computador central.



Control descentralizado de entradas y salidas. En el control descentralizado de entradas y salidas (E/S) se incorpora las primeras redes de control en donde los procesos se conectan al bus o red de control, evitándose el cableado excesivo hacia el computador, las entradas y salidas de los procesos controlados se chequean por eventos, logrando optimizar los recursos de un sistema computarizado, así ejerciendo un control más completo.



Control supervisado. Para dotar a los sistemas con ordenador centralizado del nivel de seguridad adecuado y evitar que una caída de este paralice todo el sistema, surgieron los sistemas de control supervisado, los cuales están formados por pequeños sistemas autónomos que pueden seguir funcionando si se corta la línea de supervisión, estos pequeños sistemas son ahora los que realmente controlan los procesos, así mismo la pc solo se encarga de supervisar, cambiar parámetros de los sistemas autónomos y hacer desconexiones de emergencia.

En la práctica los sistemas de control autónomos están formados por procesos independientes controlados por PLC, RTU, y para poder acceder a los dispositivos de control es necesario utilizar un bus adecuado, aunque el control supervisado permite que el control básico del proceso continúe a pesar del posible fallo del ordenador central, sigue necesitando una ampliación del cableado y un software adicional en caso de querer ampliar el número de entradas y salidas.

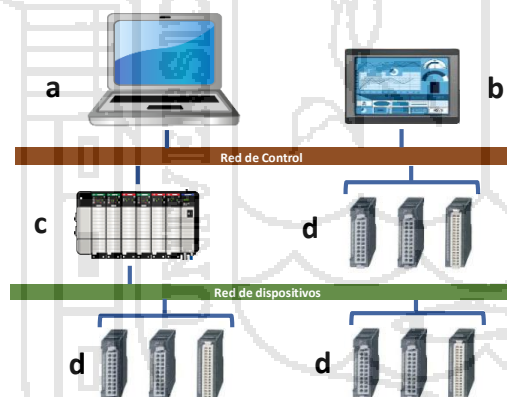


Figura N° 6 Diagrama funcional de un sistema de control supervisado: a) computadora personal, b) Sistema mínimo de control, c) Procesador Local, d) dispositivos de entrada y salida
Elaborado por el autor

Control distribuido. El control distribuido es el paso siguiente en la evolución de los sistemas de control, su potencia de tratamiento de la información se encuentra repartida en el espacio. Se podría decir que los sistemas de control distribuidos fueron desarrollados para proporcionar las ventajas del control por ordenador pero con más seguridad y flexibilidad.

Esta filosofía se basa en instalar pequeños sistemas de control o unidades funcionales para cada sub proceso, generalmente autómatas programables. Todos ellos conectados a través de un sistema de comunicación que los enlaza a un supervisor.

Con esta metodología de control es posible que cada unidad funcional consista en un proceso relativamente sencillo, comparado con proceso global, reduciendo la posibilidad de errores en la programación y permitiendo el empleo de unidades de control más sencillas y por tanto más económicas, al mismo tiempo, la existencia de fallos en otras unidades de control, no implica el paro de los otros subprocesos que se llevan a cabo en la planta.

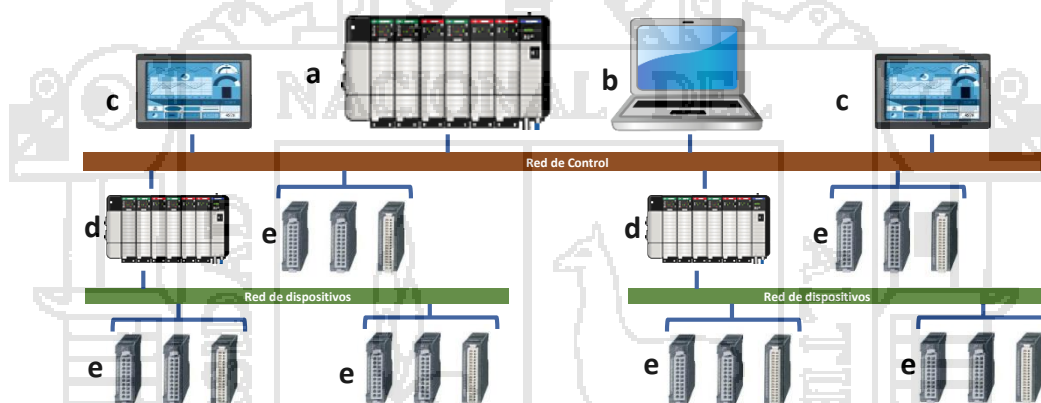


Figura N° 7 Diagrama funcional de un sistema de control distribuido: a) Procesador central, b) computadora personal, c) Sistema mínimo de control. d) Procesador Local, e) dispositivos de entrada y salida. Elaborado por el autor

El procesador central se encarga de la recolección de datos y de sincronizar las acciones o procesos locales, por medio de la PC se tiene acceso a la red de control supervisado y gestionando los recursos del sistema.

Control, supervisión y gestión. El concepto de control, supervisión y gestión, responde a una estructura jerarquizada, produciéndose en la cúspide las decisiones de política empresarial, en el otro extremo, se encuentran las denominadas islas de automatización, mediante autómatas programables, robots, etc. Lo que se pretende es que todo esto se integre en un sistema de control jerarquizado y distribuido que permite la conversión de decisiones de política empresarial en operaciones de control de bajo nivel.

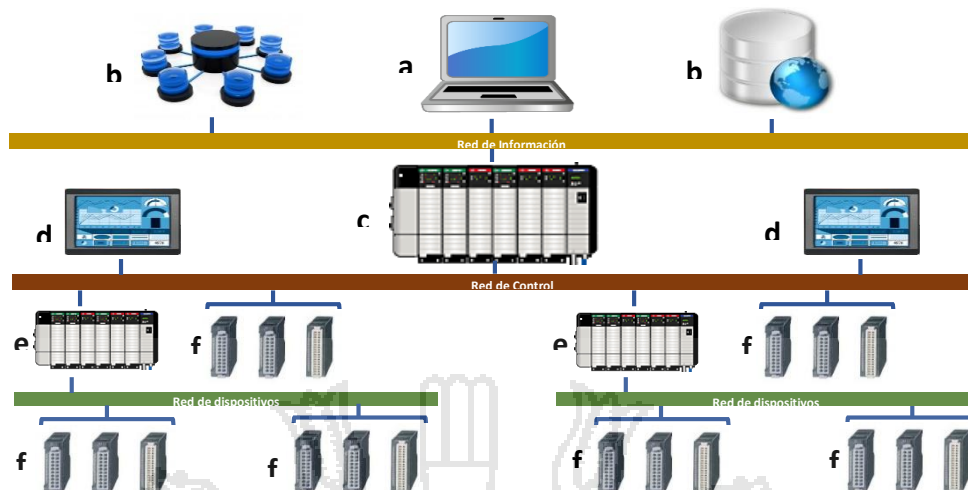


Figura N° 8 Diagrama funcional de un sistema de control supervisión y gestión: a) computadora personal b) gestión de información, c) Procesador central. d) Sistema mínimo de control e) Procesador Local, f) dispositivos de entrada y salida. Elaborado por el autor.

2.2.1.2 SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO

Una definición ampliamente aceptada de un sistema de control distribuido es: Un conjunto de computadoras independientes o autónomas enlazados por una red, que comparten un estado, soportados por aplicaciones que hacen que el conjunto ofrezca una visión de sistema único.

Propiedades de los sistemas distribuidos

Un sistema distribuido, que pretenda ofrecer una visión de sistema único apuntan a incorporar características de: Flexibilidad, eficiencia, robustez y seguridad. Aunque más que características o prestaciones, son problemas muy complejos a las que nos enfrentamos y como ingenieros tenemos por resolver.

a) **Flexibilidad**

Es la capacidad que le permite al sistema adaptarse a cambios y actualizaciones constantemente y de acuerdo a las necesidades que se presentan generalmente para mejorar su funcionamiento. Estos pueden ser en muchos aspectos que involucra:

Escalabilidad: Permite añadir un número indeterminado de nodos a la conexión, y las prestaciones que se obtengan deben de escalar de un modo razonable con el número de

nodos. Esta capacidad permite a la planta aumentar o reducir las distancias físicas entre los equipos que la conforman sin perder calidad en los servicios ofrecidos.

Heterogeneidad: Capacidad de interactuar con elementos que cuentan con características físicas y operativas distintas entre sí, mediante herramientas que le permiten comunicarse e interactuar.

Multifuncionalidad: Capacidad para realizar varias tareas. En nuestro caso, permitir modificaciones y configuraciones especiales para adaptarlo al uso de diversos tipos de procesos, usuarios y computadoras. Desde la más sencilla a la más compleja.

Apertura: Básicamente es el grado hacia el que nuevos servicios de compartición de recursos se pueden añadir aumentando su complejidad sin perjudicar ni duplicar a los ya existentes. Deben de estar definidos por protocolos que permitan añadir fácilmente nuevos sistemas.

Transparencia: El objetivo esencial de un sistema distribuido es proporcionar al usuario y a las aplicaciones una visión de los recursos del sistema como gestionados por una sola máquina virtual. El acceso a un recurso debe ser independiente de su situación física; el sistema debe proveer una capa que identifique uniformemente recursos locales y remotos

Extensibilidad: La extensibilidad de los sistemas distribuidos se determina en primer lugar por el grado en el cual se pueden añadir nuevos servicios de compartición de recursos y ponerlos a disposición para el uso por una variedad de programas cliente.

b) **Eficiencia**

Es la capacidad del sistema de optimizar los recursos disponibles para lograr un objetivo. El verbo optimizar hace referencia a buscar la mejor manera de realizar una actividad. Es decir, eficiencia es el uso racional (menor cantidad) de los mejores recursos

o medios con que se cuenta para alcanzar un objetivo. Un sistema eficiente involucra también:

Interoperabilidad: El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) define interoperabilidad como la habilidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar información y utilizar la información intercambiada. Compartición de recursos e información.

Desempeño: Es el grado de desenvolvimiento o habilidad en la realización de una actividad con respecto a un fin esperado. Nuestro sistema o máquina tendrá un nivel de **desempeño** según los resultados obtenidos para la que fue creada. Deben de atender con prontitud todos los requerimientos del usuario y permitir el trabajo de multitareas sin pérdida de confiabilidad.

Rendimiento: Se refiere a la proporción que surge entre los medios empleados para obtener algo y el resultado que se consigue. En la práctica, es la responsabilidad de asegurarse que las tecnologías de la información y de las comunicaciones implementadas respondan a los requerimientos técnicos y funcionen siempre al máximo de su capacidad.

Productividad: La productividad suele estar asociada a la eficiencia y al tiempo: cuanto menos tiempo se invierta en lograr el resultado anhelado, mayor será el carácter productivo del sistema.

c) **Robustez**

Es la cualidad del sistema de ejecutar aplicaciones de misión crítica, tolerar errores en todo su rango de variación normal dentro de las especificaciones de un proceso, respondiendo como un sistema insensible frente a fuentes de variabilidad. Esta característica busca evitar interrupciones del servicio en las plantas, responder frente a cualquier interferencia o ruido de la señal con la mayor velocidad, los componentes

utilizados en sus redes deben satisfacer elevadas exigencias de comportamiento electromagnético, electrostático y en esencia ser inmune a las más extremas condiciones ambientales.

Fiabilidad: La fiabilidad de un sistema puede definirse como su capacidad para realizar correctamente y en todo momento las funciones para las que se ha diseñado. La forma más evidente de lograr la fiabilidad de todo el sistema es el uso de redundancia, es decir, la información no debe estar almacenada en una sola máquina, sino en un conjunto de ellas.

Tolerancia a fallas: Expresa la capacidad del sistema para seguir operando correctamente ante el fallo de alguno de sus componentes, enmascarando el fallo al usuario o a la aplicación. La degradación de prestaciones debe ser razonable, la tolerancia a fallos implica detectar el fallo, y continuar el servicio de forma transparente.

Concurrencia: Esta característica permite que los recursos disponibles en la red puedan ser utilizados simultáneamente por los usuarios y/o agentes que interactúan en la red. Si el sistema está equipado con un único procesador central, la concurrencia tiene lugar entrelazando la ejecución de los distintos procesos. Si el sistema tiene N procesadores, entonces se pueden estar ejecutando estrictamente a la vez hasta N procesos.

Estabilidad: Que mantiene el equilibrio, no cambia o permanece en el mismo lugar durante mucho tiempo. En nuestro caso, la estabilidad es la propiedad de los sistemas que tienen un nivel de fallos reducido. A menos fallos, mayor estabilidad, y viceversa.

Potencia: Se puede indicar que la potencia es la fuerza, el poder o la capacidad para conseguir algo. Para nuestro caso de estudio, se refiere al potencial de las herramientas utilizadas en la implementación del sistema en su conjunto. Inevitablemente, implementar las propiedades de los sistemas distribuidos será a costa de una pérdida de rendimiento.

d) Seguridad

Es la capacidad del sistema de garantizar la protección de la integridad y la privacidad de los programas, dispositivos y la información que pertenecen a individuos y organizaciones para estar libre de todo peligro o daño que en cierta manera es infalible. Conjuga ambos mundos: el físico y el digital. Nace, como es lógico, de la necesidad de compartir recursos de acuerdo a políticas de seguridad que se hacen cumplir con la ayuda de los mecanismos de seguridad.

Confidencialidad: Nos dice que los objetos de un sistema han de ser accedidos únicamente por elementos autorizados a ello, y que esos elementos autorizados no van a convertir esa información en disponible para otras entidades.

Integridad: Significa que los objetos sólo pueden ser modificados por elementos autorizados, y de una manera controlada.

Disponibilidad: Indica que los objetos del sistema tienen que permanecer accesibles a elementos autorizados; es el contrario de la negación de servicio. Es la fracción de tiempo que el sistema está operativo. El principal parámetro para medir la disponibilidad es el tiempo medio entre fallos, pero hay que considerar también el tiempo de reparación

Consistencia: El problema de mayor complejidad es el de la gestión del estado global para evitar situaciones de inconsistencia entre los componentes del sistema. Este es un aspecto fundamental en el diseño del sistema distribuido. Un modelo de consistencia consiste en un contrato entre los procesos que acceden a los datos. Dicho contrato consiste en que si los procesos siguen ciertas reglas, el almacén de datos les dará ciertas garantías. La consistencia de los datos es definida entre el programador y el sistema, que garantiza que si el programador sigue las reglas, la memoria será consistente, y el resultado de las operaciones de memoria será predecible.

Confiabilidad: Entendida como el nivel de calidad del servicio ofrecido. Debe hacer sentir confianza a los usuarios, al exponer integridad de sus archivos de datos confidenciales y sus transacciones comerciales en una computadora conectada a una red o a internet.

2.2.2 AUTOMATIZACIÓN E INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS

La automatización de los procesos productivos es uno de los aspectos que más ha evolucionado en la industria desde sus comienzos. La integración de tecnologías clásicas como la mecánica y la electricidad con otras más modernas (electrónica, informática, telecomunicaciones, etc.) está haciendo posible esta evolución. Esta integración de tecnologías queda representada en la llamada "pirámide de automatización", la figura N° 9 que recoge los cinco niveles tecnológicos que se pueden encontrar en un entorno industrial. Las tecnologías se relacionan entre sí, tanto dentro de cada nivel como entre los distintos niveles a través de los diferentes estándares de comunicaciones industriales.

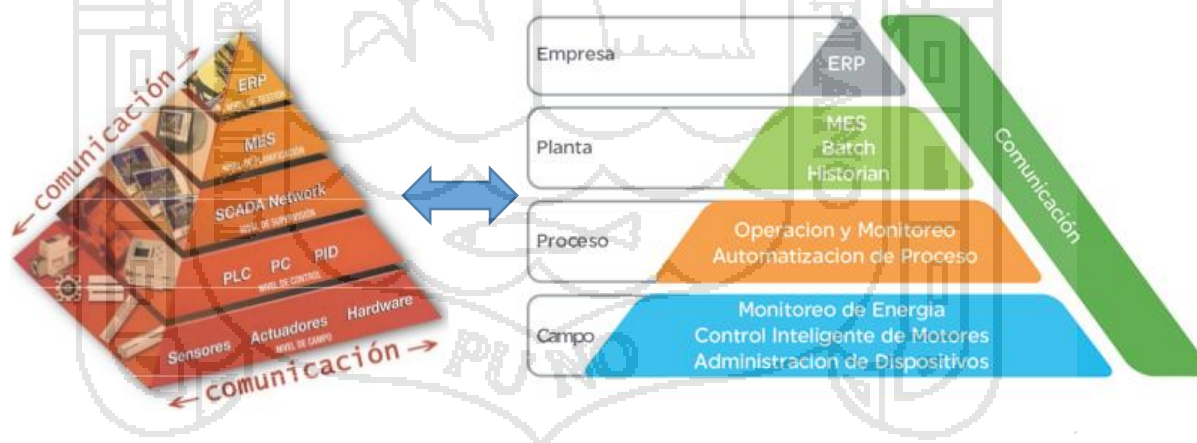


Figura N° 9 Pirámide de automatización izquierda modelo teórico CIM, derecha modelo real TIA. Al implementar el modelo CIM en una empresa real los niveles de control y supervisión se fusionan para ser parte de un solo nivel de sistemas de control.

El primer nivel o "nivel de campo o instrumentación" incluye los dispositivos físicos de medida (sensores) y de mando (actuadores) presentes en la industria, distribuidos en una línea de procesos o de producción.

El segundo nivel o "nivel de control" en este nivel se encuentran los elementos capaces de gestionar los actuadores y sensores, incluye los dispositivos controladores como ordenadores, PLCs, PIDs, etc.

El tercer nivel "nivel de supervisión". En este nivel es posible visualizar como se está llevando a cabo los procesos de la planta. Corresponde a los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA-supervisory control and data acquisition) para tener una imagen virtual.

El cuarto nivel o "nivel de planificación" se encuentran los sistemas de ejecución de la producción (MES-manufacturing execution system).

El quinto nivel. La cúspide de la pirámide ("nivel de gestión") la componen los sistemas de gestión integral de la empresa (ERP-enterprise resource planning), lo que en este nivel interesa es la información relativa a la producción y todo lo relacionado a su gestión.

2.2.3 TEORÍA ENFOCADA AL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN

A continuación desarrollaremos las teóricas que han sido necesarias durante el desarrollo del diseño e implementación del presente proyecto de investigación, esta obedece al estricto seguimiento de la señal, desde su instrumentación hasta la supervisión y control digital del sistema. Para ello, clasificamos el proceso en cinco etapas:

- a) Planta o sistema físico
- b) Sistema de datos muestreados
- c) Procesamiento y base de datos
- d) Sistemas de comunicación o red de datos
- e) Aplicaciones de control y supervisión

2.2.3.1 SISTEMA FÍSICO O PLANTA

El diseño y la implementación de nuestro proyecto, empieza a partir de la observación del fenómeno que pretendemos controlar y la identificación de la señal que pretendemos manipular.

a) **Planta.**

Desde nuestro punto de vista, planta es cualquier objeto o sistema físico que pueda ser controlado con el objetivo de realizar una operación determinada. Con el término “sistema físico”, nos referimos al modelo de un dispositivo o de un conjunto de ellos relacionados entre sí, existentes en el mundo real.

b) **Sistema dinámico**

Para el estudio del comportamiento de estos sistemas disponemos de un objeto matemático especialmente adecuado: El sistema dinámico. Un sistema dinámico se refiere a un fenómeno de carácter cambiante, es decir, que los atributos asociados a ellos sufren variaciones o evoluciona en el tiempo debido a ciertas fuerzas implícitas que lo generan.

Formalmente un sistema dinámico es el objeto matemático formado por un espacio de estados X y una regla que prescribe como varían estos estados a lo largo del tiempo. Esta regla se puede expresar de diferentes formas pero nos interesa fundamentalmente la siguiente:

$$\frac{\partial x}{\partial t} = f(x) \quad (2.1)$$

En donde la función f expresa precisamente la regla que rige el cambio $\frac{\partial x}{\partial t}$ que se produce en el espacio $x \in X$.

c) **Comportamiento**

El comportamiento de un sistema dinámico describe la trayectoria de las magnitudes asociadas al sistema en un periodo de tiempo, esta nos indica gráficamente que ha hecho el sistema durante ese periodo. Es decir, a algo que cambia con el tiempo le asociamos una imagen que se muestra la trayectoria de una magnitud. La representación gráfica de las trayectorias muestra el comportamiento del sistema al que se asocian esas magnitudes, ya que es una imagen geométrica de ese comportamiento.

El conjunto de las **trayectorias** de las magnitudes asociadas a un sistema dan cuenta de su comportamiento durante un periodo de tiempo determinado, muestran una imagen gráfica de que ha hecho el sistema durante ese periodo. En esas trayectorias se pone de manifiesto los cambios que se han producido en los atributos asociados al sistema. Por eso registramos su trayectoria

El comportamiento, en un sentido estricto es la evolución a lo largo del tiempo, de las magnitudes que se consideran relevantes para caracterizar los objetos considerados.

d) **Señal**

Señal, es el fenómeno físico real que varía en el tiempo y que además lleva información. Siendo más explícitos, es como la magnitud asociada a un sistema y que describe una trayectoria en el tiempo. Por ello, las señales se describen en la medida posible mediante funciones matemáticas. No olvidemos que una función es una descripción matemática de la señal.

En el análisis de señales y sistemas, las señales más importantes son los fenómenos que varían en el tiempo ya sean continuos o discretos y que por supuesto existen naturalmente.

e) **Modelado**

El proceso de describir un sistema y analizarlo mediante un modelo sin construir, a menudo recibe el nombre de modelado, con su concurso se procede a la construcción de un objeto artificial: el modelo nos permite profundizar en el conocimiento del sistema, conocer a que pautas responden sus cambios, y básicamente analizar racionalmente el comportamiento de un sistema.

El modelo es un objeto que representa a otro, es un instrumento que nos ayuda a responder preguntas acerca de un aspecto de la realidad al que convenimos en considerar un sistema concreto. Normalmente no tiene un carácter definitivo. Con un modelo se pretende describir un cierto fenómeno o proceso de un sistema. Por tanto recogerá solo aquellos aspectos que resulten relevantes con relación al sistema. No existen descripciones neutrales.

f) **Ecuaciones diferenciales y en diferencias**

Una vez que se han definido los diferentes tipos de sistemas, es necesario conocer la dinámica de los mismos a partir de ecuaciones que los representan y relacionen el comportamiento de una variable respecto a otra. Las ecuaciones diferenciales y en diferencias describen la dinámica de la gran mayoría de los sistemas en tiempo continuo y en tiempo discreto respectivamente.

Las ecuaciones diferenciales son aquellas en que una igualdad se expresa en términos de una función de una o más variables independientes y derivadas de la función con respecto a una o más de esas variables. Las ecuaciones en diferencias son aquellas en que una igualdad se expresa en términos de una función de una o más variables independientes y diferencias finitas de la función. Las ecuaciones diferenciales son importantes en el análisis de señales y sistemas por que describen el comportamiento dinámico de sistemas físicos en tiempo continuo. Las ecuaciones en diferencias resultan

importantes en el análisis de señales y sistemas en virtud de que describen el comportamiento dinámico de sistemas de tiempo discreto.

Tiempo discreto es simplemente puntos espaciados de forma igual en el tiempo, separados por alguna diferencia de tiempo Δt . En las señales y sistemas de tiempo discreto el comportamiento de una señal y la acción de un sistema se conocen solo en puntos discretos en el tiempo y no se definen entre esos mismos.

Las ecuaciones diferenciales tienen varias propiedades a partir de las cuales se clasifican de acuerdo con su tipo (ordinarias y parciales), orden (el orden es el de la derivada de mayor orden en la ecuación) linealidad (lineal y no lineal) y también en homogénea y no homogénea. Las ecuaciones en diferencias se clasifican de manera similar en donde el orden de la ecuación en diferencias es la diferencia del orden más alto después de que se pone en forma estándar.

La gran mayoría de los sistemas se describen al menos de manera aproximada por los tipos de ecuaciones diferenciales o en diferencias que son más fáciles de resolver: ecuaciones diferenciales ordinarias o en diferencias con coeficientes constantes.

g) **Linealización y sistemas LIT**

El mundo real generalmente está descrito por ecuaciones diferenciales o en diferencias no lineales. Una técnica muy común en el análisis de señales y sistemas consiste en utilizar los métodos de los sistemas lineales para estudiar los sistemas no lineales. Es decir, los sistemas no lineales a menudo se linealizan para ser analizados mediante alguna aproximación, este proceso se denomina **linealización del sistema**. Desde luego el análisis no es exacto debido a que realmente no es lineal. Sin embargo muchos sistemas no lineales pueden analizarse con buenos resultados mediante métodos lineales si las excitaciones y respuestas son lo suficientemente pequeñas. No se cambia la realidad del propio sistema, solo la forma en que se escribe matemáticamente.

Por mucho, el tipo de sistema más común analizado en el diseño y análisis de sistemas prácticos es el sistema lineal e invariante en el tiempo. Si un sistema que es tanto lineal como invariante en el tiempo se denomina sistema LIT. La superposición es la base de una técnica poderosa para determinar la respuesta de un sistema lineal con una excitación arbitraria. La característica sobresaliente de las ecuaciones que describen a los sistemas lineales es que la variable independiente y sus integrales y derivadas o sumas y diferencias, solo aparecen elevadas a la primera potencia.

Un sistema invariante en el tiempo es aquel que se describe mediante ecuaciones diferenciales o en diferencias en las que los coeficientes de la variable dependiente y todas sus integrales y derivadas o sumas y diferencias son constantes. Los coeficientes no son funciones del tiempo. Sistema Lineal e invariante en el tiempo se caracteriza por su respuesta al impulso y también por su función de transferencia o su respuesta en frecuencia que es la TFTC de su respuesta al impulso.

h) Transformada de Laplace y transformada Z

En el análisis de señales y sistemas tenemos herramientas matemáticas que nos ayudan facilitándonos enormemente esta tarea de análisis, así tenemos por ejemplo:

Serie de Taylor. Una serie de Taylor es una aproximación de funciones mediante una serie de potencias o suma de potencias enteras de polinomios como $(x - a)^n$ llamados términos de la serie, dicha suma se calcula a partir de las derivadas de la función para un determinado valor o punto a suficientemente derivable sobre la función y un entorno sobre el cual converja la serie. Si esta serie está centrada sobre el punto cero $a = 0$ se le denomina serie de McLaurin. Formalmente está definido como:

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(a)}{n!} (x - a)^n \quad (2.2)$$

La serie de Taylor proporciona una buena forma de aproximar el valor de una función en un punto en términos del valor de la función y sus derivadas en otro punto. Por supuesto, para hacer esta aproximación sólo se pueden tomar unas cuantas expresiones de esta serie, por lo que el resto resulta en un error conocido como el término residual, es a criterio del que aplica la serie en número de términos que ha de incluir la aproximación.

La **transformada de Laplace**: La TFTC es poderosa pero tiene sus limitaciones, expresa señales como combinaciones lineales de senoides complejas, mientras que la transformada de Laplace expresa señales como combinaciones lineales de exponenciales complejas las cuales son las funciones propias de las ecuaciones diferenciales que describen a los sistemas LIT de tiempo continuo. La transformada de Laplace es más general que la transformada de Fourier, la TL puede analizar señales o sistemas no causales.

La TL es una herramienta muy poderosa para el análisis y el diseño de los mismos, permite determinar la respuesta total de una excitación arbitraria, además generalizarla desde la función de transferencia hasta su estabilidad y su respuesta a diversos tipos de señales.

La **transformada Z**: esta herramienta no solo es equivalente a la TL en tiempo continuo, además incrementa el intervalo de aplicaciones para el dominio de la frecuencia al incluir señales que no tienen una TFTD, además da más conocimiento sobre la dinámica y la estabilidad del sistema. Todo lo que sucede en $x[n]$ en TD ocurre en forma directamente correspondiente para $x(t)$ en TC. Es posible analizar sistemas de tiempo discreto con TLTC en puntos igualmente espaciados en el tiempo. en terminos de notación, es conveniente utilizar la TZ

i) **Función de transferencia y ecuación de estado**

Es necesario comentar que el modelo matemático que se desarrolla a partir de un sistema no es único, debido a lo cual se pueden lograr representaciones diferentes del mismo proceso. Estas diferentes representaciones no contradicen una a la otra. Todas contienen información complementaria por lo que se debe encontrar aquella que proporcione la información de interés para cada problema en particular.

Dentro de este contexto, por lo general se emplea la representación en "variables de estado" aunque no por ello el método de "relación entrada-salida" deja de ser interesante a pesar de proporcionar menor información de la planta que una función de transferencia.

Funciones de transferencia. Una planta o cada una de las partes que forman un sistema de control, puede ser representada por un conjunto de ecuaciones integro-diferenciales de n-ésimo orden con coeficientes lineales invariantes en el tiempo. Usando la transformada de Laplace para convertir la ecuación integro-diferencial en una ecuación algebraica considerando que las condiciones iniciales son iguales a cero llegamos a la siguiente expresión:

$$\frac{Y(S)}{U(S)} = \frac{b_{m-1}S^m + \dots + b_1}{S^n + a_n S^{n-1} + \dots + a_1} \quad (2.2)$$

Esta última expresión es denominada la función de transferencia de sistema. La función de transferencia de un sistema lineal con coeficientes constantes invariantes en el tiempo está definida como: "La relación de la transformada de Laplace de la salida con la transformada de Laplace de la entrada, suponiendo condiciones iniciales cero".

El hecho de trabajar con funciones de transferencia, simplifica en gran medida el manejo matemático de los sistemas dado que las ecuaciones diferenciales se

transforman en ecuaciones algebraicas lineales, y las operaciones en el dominio de la frecuencia compleja S son multiplicaciones simples.

Espacio de estados: Un método muy popular para analizar grandes sistemas es a través del análisis de variables de estado. Un conjunto de variables de estado es un grupo de señales en un sistema que junto con la excitación del sistema determina por completo el estado de este mismo en cualquier tiempo futuro.

El número de variables de estado que requiere un sistema fija el tamaño del vector de estado y en consecuencia el número de dimensiones en el espacio de estados que es justo un ejemplo específico de un espacio vectorial. Entonces el estado de un sistema puede conceptualizarse como una posición en el espacio de estados.

La terminología común es que en tanto el sistema responda a sus excitaciones, el estado del sistema siga una trayectoria a través de ese espacio. Es un modo de describir el recorrido a lo largo del tiempo de todos los puntos de un espacio dado. El espacio puede imaginarse, por ejemplo, como el espacio de estados de cierto sistema físico

j) **Noción de diseño**

Diseño se define como el proceso de concebir o inventar las formas, partes y detalles de un sistema para lograr un objetivo específico. El proceso de diseño de sistemas en oposición al análisis de sistemas consiste en formular una función de transferencia deseada para una clase de excitaciones que produce una respuesta o respuestas deseadas. Una vez que se ha encontrado la función de transferencia deseada, el siguiente paso lógico es construir en realidad o quizás simular el sistema. El primer paso en la construcción o simulación corresponde a formar un diagrama de bloques que describa la interacción entre todas las señales. Este paso se denomina “realización” y surge del concepto de hacer un sistema real en vez de solo un conjunto de ecuaciones que describan su comportamiento.

La realización se puede desarrollar de tres formas: canónica o directa, en cascada y en paralelo. Cuando los sistemas se simulan mediante métodos computacionales la forma de la realización el sistema tiene un efecto en la precisión y abecés en la estabilidad de la realización. Las formas en paralelo y en cascada resultan con menos error en la medición que en la forma canónica por que los cálculos son más localizados.

k) Diagramas de Bloques

Los diagramas de bloques son una representación gráfica de las variables de un sistema, y está constituido de tres partes principales: Elementos, Detectores de error y Puntos de Bifurcación.

Un elemento muestra la dependencia funcional de una variable con respecto a la otra. Por lo general en un bloque se incluye una función de transferencia parcial que a su vez puede ser usada para generar un bloque que represente al sistema total.

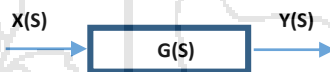


Figura N° 10 Un bloque como elemento.
Elaborado por el autor

Un detector de error (figura 1.21) es una parte del diagrama que entrega la diferencia de dos señales incidentes. En ocasiones este elemento puede ser usado como un sumador de señales

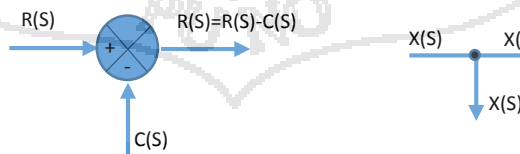


Figura N° 11 detector de error en la izquierda y punto de bifurcación a la derecha.
Elaborado por el autor

Y por último un punto de bifurcación es aquél donde una salida se deriva hacia otros elementos del diagrama (figura 1.22). Usando estos elementos básicos es posible

obtener la representación en diagramas de bloques de un sistema de control de lazo cerrado.

Es importante hacer notar que las señales en cada punto del diagrama de bloques pueden ser de naturaleza totalmente diferente una de la otra, es decir, mientras la salida puede ser temperatura, la señal a la salida del sistema de medición B(s) puede ser voltaje, presión, corriente, intensidad luminosa, etc.

2.2.3.2 SISTEMA DE DATOS MUESTREADOS

La segunda etapa de nuestro proyecto, consiste básicamente en convertir la señal analógica proveniente de nuestro sistema físico a una señal digital. Este proceso, se inicia al muestrear la señal en tiempo continuo a través de un dispositivo que nos permita realizar esta tarea. Pero este dispositivo no solamente convierte la señal analógica en digital, sino también realiza el proceso inverso, es decir de digital a analógico, por supuesto que ello depende del código que le imprimamos al microcontrolador.

Los sistemas modernos a menudo utilizan subsistemas en TD para sustituir a los en TC para incrementar la flexibilidad y confiabilidad del sistema. Los sistemas que contienen tanto subsistemas en tiempo discreto como en tiempo continuo y mecanismos para convertir entre si señales en TD y en TC se denominan sistemas de datos muestreados o en ocasiones sistemas híbridos.

El primer tipo de sistemas de datos muestreados utilizado para sustituir un sistema en TC surge de una idea natural. Se convierte una señal en TC en una en TD con un convertidor analógico-digital (CAD). Se procesan las muestras del CAD en un sistema en TD de algún tipo. Luego se convierte la respuesta en TD de nuevo a la forma en TC mediante un convertidor digital-analógico (CDA). El diseño deseado tendría una respuesta del sistema de datos muestreados muy cercana a la que tendría proveniente del

TC, para realizar lo anterior debe elegirse $h[n]$ de manera apropiada y para eso es necesario entender también las acciones de los CAD y los CDA.

a) Digitalización

La digitalización o conversión analógica-digital (conversión A/D) consiste básicamente en realizar de forma periódica medidas de la amplitud (tensión) de una señal redondear sus valores a un conjunto finito de niveles preestablecidos de tensión (conocidos como niveles de cuantificación) y registrarlos como números enteros en cualquier tipo de memoria o soporte. En esta definición están patentes los cuatro procesos que intervienen en la conversión analógica digital:

Muestreo

Muestrear una señal, es el proceso de adquirir sus valores de una señal solo en puntos discretos en el tiempo. Consiste en tomar muestras periódicas de la amplitud de onda de una señal analógica a una frecuencia de muestreo (número de muestras por segundo) o tasa de muestreo constante, para cuantificarlas posteriormente.

Una manera de visualizar el muestreo, es mediante el ejemplo de una señal de voltaje y un interruptor utilizado como un muestreador ideal. El interruptor se cierra en un tiempo infinitesimal en puntos discretos definidos en el tiempo.

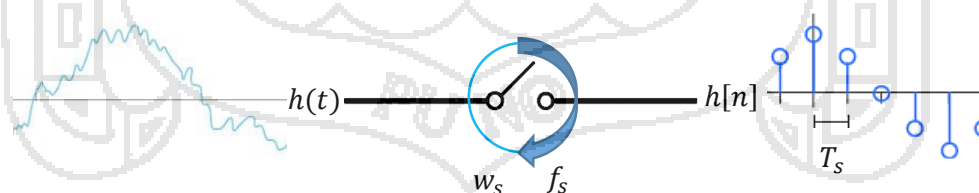


Figura N° 12 Muestreador ideal uniforme representada de forma aproximada desde la velocidad angular imaginaria del interruptor.
Elaborado por el autor

La figura N° 12 puede entenderse mejor si imagina que el interruptor gira a una velocidad cíclica constante f_s en ciclos por segundo o a una velocidad angular constante w_s en radianes por segundo. En este caso el tiempo entre muestras es:

$$T_s = \frac{1}{f_s} = \frac{2\pi}{\omega_s} \quad (2.3)$$

Los valores de $h(t)$ que se adquieren en los instantes muestreados de muestreo son $h(nT_s)$. La especificación del tiempo de la muestra nT_s puede sustituirse especificando simplemente el número n que define el índice de la muestra.

Por simplicidad, convenimos la igualdad $h[n] = h(n\Delta t)$, los paréntesis cuadrados distinguen a una función de tiempo discreto de una función de tiempo continuo. En la notación $h[n]$, el tiempo no se indica de manera explícita, puesto que el tiempo entre valores en tiempo discreto consecutivos de la función h siempre es Δt que es lo mismo que el tiempo fijo y constante entre muestras denotado por T_s , por ello es que no se necesita indicar el tiempo en forma explícita.

Retención:

Las muestras tomadas han de ser retenidas (retención) por un circuito de retención (hold), el tiempo suficiente para permitir evaluar su nivel (cuantificación). Desde el punto de vista matemático este proceso no se contempla, ya que se trata de un recurso técnico debido a limitaciones prácticas, y carece, por tanto, de modelo matemático.

Cuantificación:

Proceso de limitar los valores de amplitud de la señal muestreada en un conjunto de valores finitos de amplitud. Se mide el nivel de voltaje de cada una de las muestras. Consiste en asignar un margen de valor de una señal analizada a un único nivel de salida. Incluso en su versión ideal, añade, como resultado, una señal indeseada a la señal de entrada: el ruido de cuantificación.

Codificación:

La codificación consiste en traducir los valores obtenidos durante la cuantificación al código binario. Hay que tener presente que el código binario es el más utilizado, pero

también existen otros tipos de códigos que también son utilizados. Durante el muestreo y la retención, la señal aún es analógica, puesto que aún puede tomar cualquier valor. No obstante, a partir de la cuantificación, cuando la señal ya toma valores finitos, la señal ya es digital.

b) Aliasing.

Efecto que causa que las señales continuas distintas se tornen indistinguibles cuando se muestrean. Cuando esto sucede, la señal original no puede ser reconstruida de forma unívoca a partir de la señal digital

c) Adquisición de datos

En la aplicación de procesamiento de señales reales, en sistemas reales muchas veces no se tiene una descripción matemática de las señales, es necesario medirlas y analizarlas para descubrir sus características. Si se desconoce la señal, el proceso de análisis se inicia con la adquisición de la misma. Adquisición de datos, es el proceso de medir, digitalizar la señal, analizar, presentar, guardar los datos y registrar la señal desde un fenómeno del mundo real en un periodo de tiempo. Un sistema de adquisición de datos involucra básicamente las siguientes partes: figura 2.12.

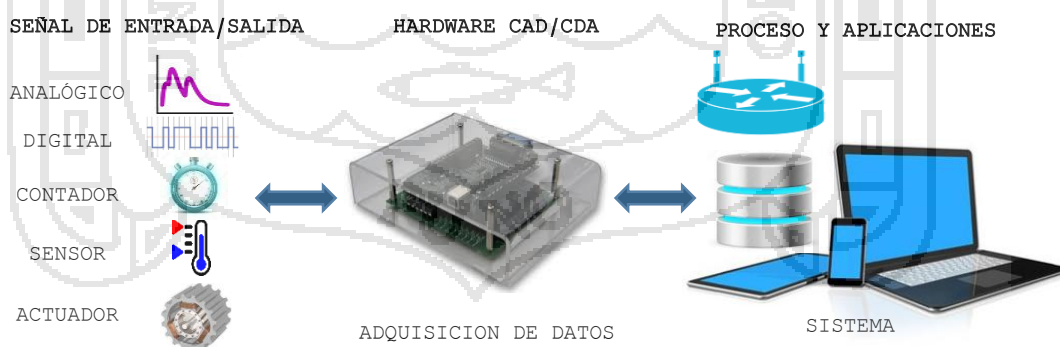


Figura N° 13 Partes de un sistema de adquisición de datos.
Elaborado por el autor

Los sistemas de adquisición de datos incorporan señales, sensores, actuadores, acondicionadores de señal, dispositivos de adquisición de datos y software de aplicaciones. Mientras cada sistema de adquisición de datos es definido por estos

requerimientos de aplicación, todos los sistemas buscan un objetivo común el de adquirir, analizar y presentar la información.

Señal física de entrada y salida: Una señal física de entrada y salida es típicamente una señal de voltaje o corriente.

Hardware o dispositivo de adquisición de datos: El dispositivo o hardware de adquisición de datos (DAQ) actúa como una interfaz entre la computadora y el mundo exterior. Su función principal es actuar como un dispositivo que digitaliza señales analógicas tanto como el computador puede interpretar. Un dispositivo de adquisición de datos usualmente tiene funciones como: Entradas analógicas, Salidas analógicas, Entradas y salidas digitales, Contadores y relojes.

Driver software: El driver o el programa driver es la capa de software que facilita la comunicación con el hardware. Este conforma la capa media entre el software de aplicación y el hardware. El programa driver también prevee a un programador tener el nivel de registro de programación o comandos complicados en orden para acceder a las funciones de hardware.

Proceso y aplicación: El programa de aplicación agrega la posibilidad de análisis y presentación al programa driver. Nuestro programa de aplicación normalmente realiza tareas como: Monitoreo en tiempo real, Análisis de datos, Muestreo de datos, Algoritmos de control y ofrece interfaz maquina humana (HMI)

2.2.3.3 PROCESAMIENTO Y BASE DE DATOS

Una vez digitalizada nuestra señal, lo siguiente es procesarla o manipularla con algunas técnicas matemáticas o algoritmos informáticos, de tal manera que la señal adquirida nos sea útil para nuestro propósito. Que no es más que almacenar la señal digital, tan parecida a la analógica para ser reproducida y distribuida en tiempo real sobre un área teóricamente ilimitada.

a) Procesamiento

El procesamiento de señal es la aplicación de una serie de operaciones lógicas y matemáticas a un conjunto de datos provenientes de una señal para modificarla, mejorarla o transformarla de algún modo para producir información significativa, mediante la ayuda de un ordenador.

En un sistema de instrumentación que mide por ejemplo el nivel de agua en un reservorio en un proceso industrial, no se sabe exactamente como varía los parámetros de estos procesos. A pesar de eso, sus variaciones se encuentran normalmente dentro de algún intervalo conocido y es posible que no varíe más que alguna medida o velocidad máxima debido a las limitaciones físicas del proceso. Este conocimiento permite diseñar un sistema de procesamiento apropiado. Este tipo de señales suelen tratarse como si fueran aleatorias y generalmente se tratan con filtros.

b) Filtros

Un filtro se podría decir que es un dispositivo que separa algo deseable de algo indeseable. En nuestro caso podría definirse como un dispositivo para separar valores de la señal por encima o por debajo de cierto nivel o dentro y fuera de ciertos intervalos de nivel. En forma convencional, un filtro es un dispositivo que separa la potencia de una señal en un intervalo de frecuencias de la potencia en otro intervalo de frecuencias.

c) Eliminación de ruido

Toda señal útil siempre tiene una señal indeseable agregada a ella llamada ruido. Un uso muy importante de los filtros es la eliminación del ruido de una señal. Las fuentes de ruido son muchas y variadas. Mediante el diseño cuidadoso, es posible reducir el ruido hasta un mínimo pero nunca puede eliminarse por completo.

En informática un filtro digital se implementa a partir del estudio y análisis de filtros analógicos, estos son modelados, linealizados y discretizados mediante algoritmos

matemáticos y finalmente implementados en sistemas discretos mediante algoritmos informáticos que permiten representar datos como secuencias de bits.

d) Algoritmos

No existe una definición formal y única de algoritmo, pero una definición aplicable al ámbito de la informática, suele ser como el número fijo de pasos, instrucciones o acciones necesarios para transformar información de entrada (el problema) en una salida (la solución) y realizar una tarea. De todas formas, algunos algoritmos carecen de final o no resuelven un problema en particular. Existen ciertas propiedades que alcanzan a todos los algoritmos, con excepción de los denominados algoritmos paralelos: el tiempo secuencial (los algoritmos funcionan paso a paso), el estado abstracto (cada algoritmo es independiente de su implementación) y la exploración acotada (la transición entre estados queda determinada por una descripción finita y fija).

e) Base de datos

Después de obtener una señal útil, la siguiente tarea es almacenar la información para ser reutilizada con el fin de desarrollar un sistema de control distribuido. Almacenar información no es otra cosa que guardar o registrar la señal discreta en una base de datos.

Una base de datos (cuya abreviatura es BD) es una entidad en la cual se pueden almacenar datos de manera estructurada, con la menor redundancia posible con el propósito de proporcionar visualizar, ingresar o actualizar información a diferentes usuarios al mismo tiempo. Por ello, el concepto de base de datos generalmente está relacionado con el de red ya que se debe poder compartir esta información. De allí el término base. "Sistema de información" es el término general utilizado para la estructura global que incluye todos los mecanismos para compartir datos que se han instalado. Una base de datos puede ser local, es decir que puede utilizarla sólo un usuario en un equipo,

o puede ser distribuida, es decir que la información se almacena en equipos remotos y se puede acceder a ella a través de una red.

f) Gestores de bases de datos

Un gestor de base de datos es un programa diseñado para la manipulación y administración de los datos almacenados en la base de datos. Esta tarea realiza con un sistema llamado DBMS (Database management system) que es un conjunto de servicios (aplicaciones de software) que permite: un fácil acceso a los datos, el acceso a la información por parte de múltiples usuarios y la manipulación de los datos encontrados en la base de datos (insertar, eliminar, editar)

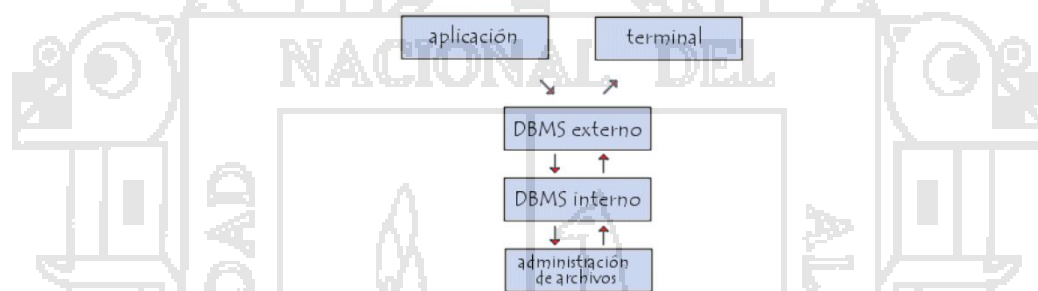


Figura N° 14 subsistemas de un sistema de administración de bases de datos o sistema de gestión de base de datos

El DBMS puede dividirse en tres subsistemas: El sistema de administración de archivos: para almacenar información en un medio físico. El DBMS interno: para ubicar la información en orden y El DBMS externo: representa la interfaz del usuario.

2.2.3.4 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN O RED DE DATOS

Para que los datos almacenados puedan ser utilizados por los distintos usuarios para distintos fines, el sistema requiere de un sistema de comunicación que nos permita la transmisión y recepción de datos a una alta velocidad y en tiempo real.

Un sistema de comunicación se define como un conjunto de componentes, subsistemas u ordenadores independientes que permiten la transferencia o intercambio de información a través de un medio de red compartido. La transferencia de información de

un lugar a otro debe ser eficiente, confiable y segura a través de los distintos medios existentes ya sean cableados o inalámbricos.

a) Redes de área local (LAN)

Es un grupo de equipos que están conectados dentro de un área geográfica relativamente pequeña a través de una red en su versión más simple, generalmente con la misma tecnología (la más utilizada es Ethernet). La velocidad de transferencia de datos en una red de área local depende de la tecnología que se use y oscila desde los 10 Mbps hasta 1 Gbps. Las redes LAN se pueden conectar entre ellas a través de líneas telefónicas y ondas de radio. Un sistema de redes LAN conectadas de esta forma se llama una WAN, siglas del inglés de wide-area network.

b) Protocolos

Los protocolos de red son normas que permiten a los ordenadores comunicarse. Un protocolo define la forma en que los ordenadores deben identificarse entre si en una red, la forma en que los datos deben transitar por la red, y cómo esta información debe procesarse una vez que alcanza su destino final. Los protocolos también definen procedimientos para gestionar transmisiones o "paquetes" perdidos o dañados.

Aunque cada protocolo de la red es diferente, todos pueden compartir el mismo cableado físico. Este concepto es conocido como "independencia de protocolos," lo que significa que dispositivos que son compatibles en las capas de los niveles físicos y de datos permiten al usuario ejecutar muchos protocolos diferentes sobre el mismo medio físico.

c) Ethernet

Es un estándar de redes de área local que se base el principio de que: Todos los equipos en una red Ethernet están conectados a la misma línea de comunicación compuesta por cables cilíndricos. Ethernet define las características de cableado y

señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI. Especificado en una norma, IEEE 802.3. Una LAN Ethernet suele utilizar cable coaxial o calidades especiales de cables de par trenzado. Ethernet también se utiliza en las redes LAN inalámbricas.

La comunicación se lleva a cabo por medio de la utilización un protocolo denominado CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect que significa que es un protocolo de acceso múltiple que monitorea la portadora: detección de portadora y detección de colisiones). Con este protocolo cualquier equipo está autorizado a transmitir a través de la línea en cualquier momento y sin ninguna prioridad entre ellos. Esta comunicación se realiza de manera simple: Cada equipo verifica que no haya ninguna comunicación en la línea antes de transmitir. Si dos equipos transmiten simultáneamente, entonces se produce una colisión (o sea, varias tramas de datos se ubican en la línea al mismo tiempo). Los dos equipos interrumpen su comunicación y esperan un período de tiempo aleatorio, luego una vez que el primero ha excedido el período de tiempo, puede volver a transmitir.

d) Ethernet industrial

Está basado en el estándar IEEE 802.3 par Ethernet y 802.11 para wireless LAN. Sus avances radican en la seguridad de procesos de automatización en cuando al ancho de banda o mayor velocidad, protección de la red y datos dentro de la empresa. Para los procesos que requieren de comunicaciones inalámbricas de fácil movilidad y conectividad ofrecen un sistema fiable, robusto y seguro. En el campo industrial, son indispensables una alta velocidad e inmunidad al ruido. Tanto Ethernet como IEEE 802.3 están implementadas en hardware, en general a través de una tarjeta de interface en un ordenador o a través de una placa principal en el propio ordenador

e) **Arquitectura**

En general se podría ver a un sistema distribuido como la unión de una tecnología de red y el uso de potentes maquinas multiprocesadores. Cuando se vaya a diseñar un sistema distribuido se debe de considerar las siguientes características: compartición de recursos, apertura, concurrencia, escalabilidad, tolerancia a fallos y transparencia. Para ello se plantean varias arquitecturas.

Arquitectura cliente-servidor: En este entorno un equipo central brinda servicios de red a los usuarios. En este modelo ay dos tipos de procesos, los clientes son procesos que hacen peticiones se servicio y los servidores proveen esos servicio.

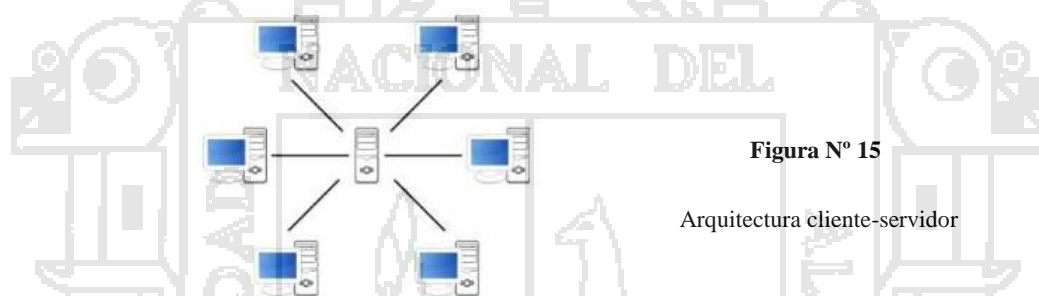


Figura N° 15

Arquitectura cliente-servidor

Arquitectura Peer-To-Peer (P2P): En esta arquitectura "de igual a igual" la comunicación se lleva a cabo de un equipo a otro sin un equipo central y cada equipo tiene la misma función, la comunicación es simétrica. Se aprovechan, administran y optimizan el uso del ancho de banda de los demás usuarios por medio de su conectividad, obteniendo más rendimiento en las conexiones y transferencias.

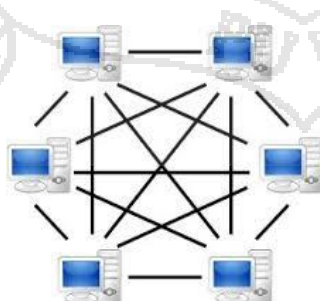
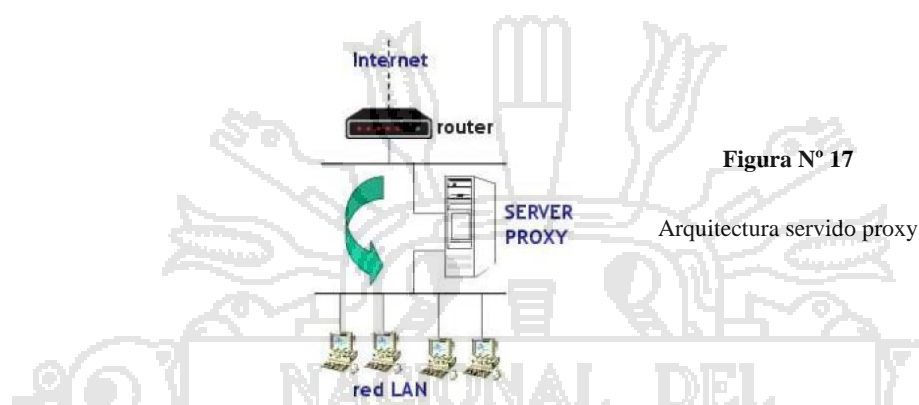


Figura N° 16

Arquitectura Peer-To-Peer

Arquitectura servidor Proxy: un proxy es un servidor intermediario que acepta peticiones http de clientes u otros intermediarios y genera a su vez peticiones hacia otros

intermediarios o hacia el servidor web destino. Actúa como servidor del cliente y como cliente del servidor; realiza un cierto tipo de funciones a nombre de otros clientes en la red para aumentar el funcionamiento de ciertas operaciones, también sirve de seguridad, esto es, tiene un firewall. Permite administrar el acceso a internet en una red de computadoras permitiendo o negando el acceso a diferentes sitios web.



Arquitectura agentes móviles: los agentes móviles son programas de software capaces de viajar por redes de computadoras como internet, de interactuar con hosts, pedir información a nombre de un usuario y regresar a un lugar de origen una vez que ha realizado las tareas especificadas por un usuario. Creado en un ambiente de ejecución, el agente puede transportar su estado y código a otro contexto en donde reanudara la ejecución. Un agente móvil tiene capacidad para decidir a qué servidores moverse y puede moverse a uno o más servidores. Es una extensión del modelo cliente-servidor.

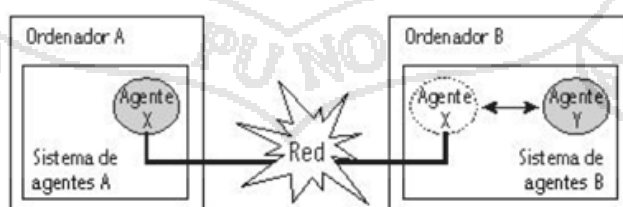


Figura N° 18 Sistemas compatibles

f) Estandarización

Un anhelo perseguido durante muchos años ha sido conseguir una red de comunicaciones única que permita dar solución a todos los niveles de la pirámide de control. Ethernet Industrial está consiguiendo diferenciarse como estándar de facto en parte a que aprovechando la ventaja competitiva de los grandes desarrollos realizados en su uso ofimático se han desarrollado soluciones industriales que han eliminado los problemas que hacían inadecuado Ethernet para su uso en los niveles más bajos de la planta. Una consecuencia inmediata de este hecho es que los niveles tradicionales de la pirámide ya no están tan diferenciados siendo el medio de comunicación físico el mismo: Ethernet Industrial, solo se diferenciarían por los servicios que cada uno de ellos demandaría.

La estandarización simplificaría el diseño, la operación y el mantenimiento del sistema, además nos proporciona conectividad Ethernet/IP de red y administración de datos mejorada. Con el enfoque de una sola red se facilitaría el intercambio de datos, desde programas de alto nivel hasta las señales on/off más sencillas.

2.2.3.5 APLICACIONES DE CONTROL Y SUPERVISIÓN

Una de las características de nuestro sistema es ofrecer al usuario una manera de gestionar, monitorear, supervisar, controlar y tener acceso a la información de algún proceso; de una manera ágil, intuitiva y amigable desde algún dispositivo conectado a la red de manera inalámbrica o cableada. Esta tarea se lleva a cabo gracias al software de aplicación específicos desarrollados para este fin.

a) Programas o aplicaciones informáticas

Un programa es un tipo de software diseñados para o por los usuarios para facilitar la realización de tareas específicas en la computadora. Los programas requieren de algún sistema operativo y de una previa instalación para poder ser usados, también

varían dependiendo del sistema operativo que se use. En Mac, a estos programas se los llama aplicaciones.

La particularidad de hacer más sencilla la concreción de un determinado trabajo lo distingue del resto de los programas, entre los cuales se pueden citar a los sistemas operativos (que son los que permiten el funcionamiento de la computadora), los lenguajes de programación (aquellos que dan las herramientas necesarias para desarrollar los programas informáticos en general) y las utilidades (pensadas para realizar acciones de mantenimiento y tareas generales).

En ocasiones, los programas de aplicación son diseñados a medida, es decir, según las necesidades y pretensiones de cada usuario. Esto demuestra que las aplicaciones informáticas sirven para **automatizar tareas**. El software permite resolver dificultades específicas, en otros casos, se trata de paquetes integrados que solucionan problemas generales e incluyen múltiples aplicaciones. El programa de aplicación agrega al sistema la posibilidad de análisis y presentación. Nuestro programa de aplicación normalmente realiza tareas como: Monitoreo en tiempo real, Análisis de datos, Algoritmos de control y ofrece interfaz maquina humana (HMI)

b) **Relación entre software y hardware**

El **software** es el elemento intangible y lógico que forma parte de una computadora. El **hardware**, en cambio, es el componente material y físico.

Se distinguen tres componentes básicos de software: Presentación: Tiene que ver con la presentación al usuario de un conjunto de objetos visuales y llevar a cabo el procesamiento de los datos producidos por el mismo y los devueltos por el servidor. Lógica de aplicación: Esta capa es la responsable del procesamiento de la información que tiene lugar en la aplicación. Y Base de datos: Está compuesta de los archivos que contienen los datos de la aplicación.

2.3 GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS

Señales

Una señal es cualquier fenómeno físico que varíe en el tiempo y que se pretende usar para transmitir información, entre los ejemplos de señales modernas de alta velocidad se encuentran los voltajes en los cables telefónicos, los campos eléctricos que emanan de los transmisores de radio y televisión y las variaciones de la intensidad luminosa en una fibra óptica o en una red telefónica o de computadoras.

Las señales se procesan u operan por medio de sistemas. Cuando una o más señales de excitación se aplican a una o más entradas del sistema, éste produce una o más señales de respuesta en sus salidas.



Figura N° 19 Explicación grafica de integración de señal y sistema.
Elaborado por el autor

Ruido

El ruido, que algunas veces se denomina señal aleatoria o perturbación. Es como una señal en la que el fenómeno físico varía en el tiempo, pero a diferencia de una señal no suele llevar información útil y casi siempre se considera indeseable. Tiende a afectar adversamente el valor de la salida de un sistema. . Si una perturbación se genera dentro del sistema, se denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema y es una entrada.

Sistemas

Un sistema es un objeto formado por un conjunto de partes entre las que se establece alguna forma de relación estructurada que las articula en la unidad que es precisamente el sistema. Un sistema se nos manifiesta como un aspecto de la realidad dotado de cierta complejidad precisamente por estar formado por partes en interacción.

Esta interacción coordina a las partes dotando al conjunto de una entidad propia las partes y la interacción entre ellas son los elementos básicos en esa concepción de sistema.

Un sistema se prescribe como algo que posee una entidad que lo distingue de su entorno, aunque mantiene interacción con él. Esta identidad permanece a lo largo del tiempo y bajo entornos cambiantes. Por tanto un sistema es un cierto aspecto de la realidad al que podemos adscribir una descripción en la que básicamente se enuncien una serie de partes componentes y una forma de interacción entre ellas que suministre un vínculo que las organice en la unidad que es el sistema.

Otros tipos de sistemas también procesan señales que se analizan mediante el análisis de señales. Los instrumentos científicos que miden un fenómeno físico (temperatura, presión, velocidad, etc.) convierten ese fenómeno en una señal de voltaje o de corriente. Los sistemas de control de edificios comerciales y de procesos de una planta industrial, los sistemas electrónicos de los aviones, el control de encendido y bombeo de combustible en los automóviles, etc. Son sistemas que procesan señales.

Tiempo real

Los sistemas en tiempo real son sistemas en los cuales deben producirse la respuesta correcta en un espacio definido de tiempo. Si la respuesta del computador excede ese espacio de tiempo, entonces se obtendrá una degradación del desempeño y un mal funcionamiento.

El espacio de tiempo está determinado por los requerimientos del proceso. Por ejemplo, una transacción bancaria puede aceptar tiempos del orden de los segundos, pero un sistema de control de velocidad de un motor requiere generalmente tiempos mucho menores, el sistema debe muestrear la señal de velocidad por lo menos cada 10 milisegundos, ya que de otra manera el sistema de control no funcionaría correctamente.

Proceso

Se define como una operación o conjuntos de pasos con una secuencia determinada, que producen una serie de cambios graduales que llevan de un estado a otro, y que tienden a un determinado resultado final. Dicho de otro modo, es una operación natural o artificial progresivamente continua o desarrollo marcado por una serie de cambios graduales controlados sistemáticamente que se suceden de una manera relativamente fija y conducen hacia un resultado o propósito determinado.

Prototipo

Para este proyecto se refiere a cualquier tipo de maquina en pruebas o un objeto diseñado para una demostración de cualquier tipo.

Control

Métodos para conseguir que un conjunto de variables o parámetros varíen a lo largo del tiempo de alguna forma previamente definida. Esta palabra también se usa para designar regulación, gobierno, dirección o comando dicho de otro modo: es la acción de comandar, dirigir o regular, asimismo o a otro sistema dinámicamente.

Supervisión

La supervisión es la observación regular y el registro de las actividades que se llevan a cabo en un proyecto o programa. Es un proceso de observación sistemática e intencionada y recogida rutinaria de información sobre todos los aspectos y actividades durante el progreso de un proyecto.

La supervisión proporciona información mediante informes, los informes posibilitan el uso de la información recabada para mejorar el rendimiento del proyecto y en esencia para la toma de decisiones. Además de: analizar la situación del proyecto, determinar si los equipos se utilizan bien, Identificar los problemas a los que se enfrenta el proyecto y encontrar soluciones, asegurarse de que todas las actividades se llevan a

cabo convenientemente y a tiempo, usar las experiencias de un proyecto en otro y determinar si la forma en la que se ha planificado el proyecto es la manera óptima de solucionar el problema que nos ocupa.

Plataforma

En informática, una plataforma es una combinación de hardware y software sobre el cual puede ejecutarse aplicaciones o desarrollarse un software. El software en general está escrito de modo que dependa de las características de una plataforma particular; bien sea el hardware, sistema operativo, o máquina virtual en que se ejecuta.

Plataformas de Hardware: Una plataforma de hardware es una arquitectura de computador o de procesador. Por ejemplo, los procesadores x86 y x86-64 son las arquitecturas más comunes actualmente para los computadores caseros.

Plataformas de Software: Pueden ser un sistema operativo, un entorno de programación, o una combinación de ambos. Una excepción notable es el lenguaje de programación Java, que usa una máquina virtual independiente del sistema operativo para leer el código compilado, conocido en la jerga de Java como bytecode.

Multiplataforma

Multiplataforma es un término usado para refiere a un programa, una aplicación lenguajes de programación u otra clase de software (producto informático) que puedan ser utilizado por distintos sistemas o entornos. Funcionar en diversas plataformas

Entorno de programación

Un entorno de programación es conocido también como un entorno de desarrollo integrado (IDE), que ha sido empaquetado como un programa de aplicación, es decir, consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI).

Los IDE proveen un marco de trabajo amigable para la mayoría de los lenguajes de programación tales como C++, PHP, Python, Java, C#, Delphi, Visual Basic, etc. En algunos lenguajes, un IDE puede funcionar como un sistema en tiempo de ejecución, en donde se permite utilizar el lenguaje de programación en forma interactiva, sin necesidad de trabajo orientado a archivos de texto.

DELPHI

Delphi es un entorno de desarrollo de software diseñado para la programación de propósito general con énfasis en la programación visual. En Delphi se utiliza como lenguaje de programación una versión moderna de Pascal llamada Object Pascal. Es producido comercialmente por la empresa estadounidense Embarcadero. En sus diferentes variantes, permite producir archivos ejecutables para Windows, Linux y la plataforma .NET. CodeGear ha sido escindida de la empresa Borland, donde Delphi se creó originalmente, tras un proceso que pretendía en principio la venta del departamento de herramientas para desarrollo. El nombre Delphi. El nombre Delphi hace referencia al oráculo de Delfos. Borland eligió ese nombre para resaltar su principal mejora con respecto a su antecesor (Turbo Pascal), que sería su conectividad con bases de datos Oracle (oráculo, en inglés).

En septiembre de 2006 Borland lanzó TurboDelphi como una versión reducida de Delphi. Hay dos versiones: Turbo Delphi for Windows y Turbo Delphi for .NET, ambas disponibles en dos ediciones Professional y la gratuita Explorer

FIREBIRD

Es un sistema de administración de bases de datos de código abierto, que tiene su origen en la versión 6 de Interbase. Este sistema de bases de datos relacional proporciona muchas de las características implementadas en el estándar ANSI SQL. El programa es multiplataforma y puede trabajar sistemas operativos tan dispares como Windows, Mac o Linux. Algunas características son: arquitectura cliente/servidor sobre protocolo

TCP/IP; soporte para transacciones y claves foráneas; seguridad basada en usuarios y roles. Además FireBird proporciona dos tipos distintos de servidor: Classic y Super Server. La principal diferencia entre ellos reside en la forma como se realiza la conexión, ya que Super Server crea hilos independientes para cada una.

Lenguaje de Consultas Estructurado

El lenguaje de consulta estructurado o SQL (por sus siglas en inglés Structured Query Language) es un lenguaje declarativo de acceso a bases de datos relacionales que permite especificar diversos tipos de operaciones en éstas. Una de sus características es el manejo del álgebra y el cálculo relacional permitiendo efectuar consultas con el fin de recuperar una forma sencilla- información de interés de una base de datos, así como también hacer cambios sobre ella. (Pérez, 2007)

Automatización

La automatización es la ejecución autónoma y coordinada de las tareas necesarias para operar un proceso en forma óptima, ajustando su desempeño a los lineamientos establecidos por los organismos de dirección.

Automática

Disciplina que trata los métodos y procedimientos cuya finalidad es la sustitución del operador humano por un operador artificial en la ejecución de una tarea física o mental previamente programada

Sensores

Dispositivos que miden las variables a controlar, las de perturbación y variables de proceso secundarias a partir de las que se infiere el valor de otras no medibles o de medida costosa. Se basan en la reproducción de un fenómeno físico cuya magnitud está relacionada con la que se mide.

Transmisor

Convierte la magnitud del efecto físico del sensor (Analógica, digital, neumática) en una señal estándar eléctrica

Controladores

Recibe la señal correspondiente a la variable medida y calcula la acción de control de acuerdo al algoritmo que tiene programado. La salida, señal estándar, se envía al elemento final de control.

Actuadores

Manipula la variable de proceso de acuerdo a la acción calculada por el controlador. La señal de control le llega en magnitud estándar

Servomecanismo

Sistema de control realimentado cuya salida es una posición mecánica

Sistemas embebidos

Un sistema embebido es un sistema informático diseñado para realizar una o unas pocas funciones dedicadas a menudo con limitaciones de computación en tiempo real. Está incrustado como parte de un dispositivo completo a menudo incluyendo hardware y partes mecánicas.

Los sistemas embebidos o empotrados son controlados por uno o más principales núcleos de procesamiento que es típicamente un microcontrolador o un procesador de señal digital (DSP). La característica clave es que está dedicada a manejar una tarea en particular, que puede requerir procesadores muy potentes. Dado que el sistema embebido está dedicada a tareas específicas, los ingenieros de diseño pueden optimizar la reducción del tamaño y el coste del producto y aumentar la fiabilidad y el rendimiento.

Multitarea

En informática, la multitarea es un método por el cual múltiples tareas, también conocidos como procesos, comparten recursos de procesamiento comunes tales como CPU. Con un sistema operativo multitarea se puede ejecutar simultáneamente múltiples aplicaciones.

La multitarea se refiere a la capacidad del sistema operativo para cambiar rápidamente entre cada tarea informática para dar la impresión de las diferentes aplicaciones se ejecutan varias acciones al mismo tiempo.

Middleware

Se define como una capa de software cuyo propósito es ocultar la heterogeneidad y proveer de un modelo de programación conveniente para los desarrolladores de aplicaciones. Es un término que abarca a todo el software necesario o capa de software que se ejecuta sobre el sistema operativo local para el soporte de interacciones entre Clientes y Servidores principalmente en aplicaciones distribuidas.



Figura N° 20 Capa de software: Middleware

Middleware es un sistema abierto independiente del fabricante, así mismo no depende del hardware o sistema operativo subyacente. Se encuentra representado por procesos u objetos que actúan en un conjunto de computadoras y que se comunican con el fin de proporcionar soporte para compartición de recursos en un sistema distribuido. Podemos mencionar dos tipos de middleware:

Software intermedio general. Servicios generales que requieren todos los clientes y servidores, por ejemplo: software para las comunicaciones usando el TCP/IP, software

parte del sistema operativo que, por ejemplo, almacena los archivos distribuidos, software de autenticación, el software intermedio de mensajes de clientes a servidores y viceversa.

Software intermedio de servicios. Software asociado a un servicio en particular, por ejemplo: software que permite a dos BD conectarse a una red cliente/servidor, software de objetos distribuidos, por ejemplo la tecnología CORBA permite que objetos distribuidos creados en distintos lenguajes coexistan en una misma red.

Microprocesador

Básicamente, un microprocesador es un chip que contiene la unidad completa de procesamiento central de un equipo. Los microprocesadores son de usos múltiples, lo que significa que se pueden utilizar para llevar a cabo diferentes tareas y funciones y que son destinados para dispositivos de múltiples propósitos.

Microcontrolador

Los microcontroladores son circuitos integrados capaces de ejecutar órdenes que fueron grabadas en su memoria. Su composición está dada por varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador es un dispositivo muy especializado y capaz de realizar sólo una gama muy limitada de funciones o procesos los cuales son definidos mediante la programación. Así como una unidad de procesador, los microcontroladores incluyen otros elementos que les permiten funcionar de forma independiente de un sistema informático. Un micro controlador está constituido en su interior por las tres principales unidades funcionales de una computadora, las cuales son: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada y salida.

Interfaz

En informática, se señala como interfaz a la conexión que se da de manera física y a nivel de utilidad entre dispositivos o sistemas. La interfaz, por lo tanto, es una conexión entre dos máquinas o sistemas de cualquier tipo, a las cuales les brinda un

soporte para la comunicación a diferentes estratos. Es posible entender la interfaz como un espacio (el lugar donde se desarrolla la interacción y el intercambio), instrumento (a modo de extensión del cuerpo humano, como el mouse que permite interactuar con una computadora) o superficie (el objeto que aporta información a través de su textura, forma o color). Se conoce como interfaz de usuario al medio que permite a una persona comunicarse con una máquina. La interfaz, en este caso, está compuesta por los puntos de contacto entre un usuario y el equipo. En la interacción con la computadora, por lo tanto, puede distinguirse entre la interfaz de hardware (mouse, pantalla, teclado), la interfaz de software (Windows, Linux) y la interfaz de hardware-software (el conjunto que permite que el hombre entienda el código binario y que la máquina pueda leer la instrucción humana). En la electrónica y las telecomunicaciones, la interfaz es un circuito físico que envía o recibe señales de un sistema hacia otro. El Universal Serial Bus (USB) es una interfaz que permite, a través de su puerto, conectar todo tipo de periféricos a una computadora.

HMI

Del inglés: “Human Machine Interface”, es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina. Permite una conexión más sencilla y económica con el proceso o máquinas.

HID

Del inglés: Human Interface Device, o dispositivo de interfaz humana, hace referencia a un tipo de interfaces de usuario para computadores que interactúan directamente, tomando entradas proveniente de humanos, y pueden entregar una salida a los humanos.

2.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1 Hipótesis general

Un sistema de control y supervisión distribuido multiplataforma diseñado e implementado en el entorno de programación DELPHI y el gestor de base de datos FIREBIRD, ofrece muy buenas prestaciones en cuanto a: Flexibilidad, eficiencia, robustez y seguridad.

2.4.2 Hipótesis específica

- a) El Diseño y la implementación de un prototipo de censado de nivel de un tanque de agua y una tarjeta de adquisición de datos para diferentes arquitecturas cumple satisfactoriamente con las características mínimas de muestreo y cuantización de señales, adquisición de datos en tiempo real así como la ejecución de respuestas efectuadas por los actuadores.
- b) El desarrollo de un modelo de base de datos, un programa servidor de aplicaciones y programas cliente, empleando las técnicas y tecnologías adecuadas nos permiten el almacenamiento, procesamiento, y gestión de datos en tiempo real y garantizan el control y supervisión en un entorno distribuido multiplataforma.
- c) Con las pruebas realizadas y analizadas se verifica que las técnicas y tecnologías que se usan para la implementación del sistema nos permiten adaptarnos a múltiples plataformas, arquitecturas y necesidades verificándose así tener las prestaciones de Flexibilidad, eficiencia, robustez y seguridad.

2.5 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

El siguiente cuadro muestra las variables dependientes e independientes con sus respectivas dimensiones e indicadores.

Tabla N° 1.

Operacionalización de variables de acuerdo a los objetivos de estudio.

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES De V.I
Variable Independiente Sistema de control y supervisión distribuido multiplataforma	Adquisición de señales	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Periodo de Muestreo en tiempo real ✓ Cuantización en tiempo real ✓ Fiabilidad de la señal adquirida
	Procesamiento de datos. Control y supervisión de procesos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Procesamiento de datos en tiempo real ✓ Filtros digitales ✓ Tiempo de respuesta mediante la acción de control o algoritmos de control (PID)
	Redes de comunicación cableado e inalámbrico	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Procesamiento de datos sobre diversas plataformas ✓ Control ✓ Monitoreo
Variable Dependiente Prestaciones del sistema	Flexibilidad	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Herramientas de programación y de base de datos ✓ Equipos utilizados estables
	Eficiencia	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Protocolos de comunicación cableado e inalámbrico ✓ Base de datos distribuido ✓ Control distribuido
	Robustez	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiempo de respuesta del procesador ✓ Tiempo de respuesta de la capa de red ✓ Tiempo de respuesta de la planta ✓ Tiempo de respuesta del sistema en su conjunto
	Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tolerancia a fallas ✓ Ahorro de recursos computacionales ✓ Ahorro de recursos energético

Las variables están de acuerdo a los objetivos del proyecto en su conjunto

Como se muestra en la tabla 1. Las dimensiones de la variable independiente se basan en el procedimiento general de análisis de los objetivos específicos. Y la variable independiente se basa estrictamente a las prestaciones del sistema en su conjunto.



3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para poder definir el tipo de investigación de este proyecto, nos basamos en la clasificación descrita en el trabajo realizado por: Jorge Tam Malaga, Giovanna Vera y Ricardo Oliveros Ramos, en su trabajo titulado: “Tipos, métodos y estrategias de investigación científica”. En la que se considera como tipos de investigación: básica, estratégica, aplicada, y adaptativa.

Recurrimos a la comparación de la definición de cada una de ellas con lo realizado. Entonces nos encontramos ubicados de entre el tipo de investigación estratégica y en tipo de investigación aplicada.

Investigación estratégica: Entiende los procesos relevantes para los sectores productivos, de modo que su comportamiento pueda ser predicho bajo una variedad de condiciones y subsecuentemente manipulados para crear o mejorar las tecnologías.

Investigación aplicada: Crea nueva tecnología a partir de los conocimientos adquiridos a través de la investigación estratégica para determinar si estos pueden ser útilmente aplicados con o sin mayor refinamiento para los propósitos definidos

Un breve análisis y cierto criterio, nos dice que la investigación aplicada exige previamente y de algún modo la investigación estratégica, por lo tanto concluimos que el tipo de investigación que realizamos es la **investigación aplicada**.

3.1.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Para llegar a nuestro objetivo de estudio o prueba de hipótesis, el proyecto de investigación se desarrollara siguiendo el diseño o enfoque de **investigación cuantitativa**.

3.1.3 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Para contrastar las hipótesis previamente formuladas, inevitablemente se abarco todos los niveles de investigación involucrados en el diseño de investigación cuantitativa como son: exploratorio, descriptivo, explicativo y experimental. Pero en el proceso, la metodología de investigación que más se ha adecuado en el proceso desde el punto de vista teórico es el **método experimental**.

Pero para llevar a cabo los experimentos y la prueba de las hipótesis primero se tuvo que implementar el sistema. Esta fase de implementación lo clasificamos en cinco etapas que obedece estrictamente al seguimiento que se realiza a la señal en el proceso que sigue desde su censado, procesamiento, almacenamiento y gestión:

- a) Planta o sistema físico
- b) Sistema de datos muestreados
- c) Procesamiento y base de datos
- d) Sistemas de comunicación o red de datos
- e) Aplicaciones de control y supervisión

Ya con el sistema en funcionamiento, se realiza cuatro experimentos diseñados en función a las prestaciones que debe de tener el sistema.

- 1° Prueba de flexibilidad
- 2° Prueba de eficiencia
- 3° Prueba de robustez
- 4° Prueba de seguridad

Estos cuatro experimentos, involucran la prueba de la hipótesis general de forma explícita y prueban las hipótesis específicas de forma implícita.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 POBLACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La población de este proyecto es toda el área que involucra los sistemas de control y supervisión distribuido.

Por ello los elementos y objetos de nuestro estudio de investigación también involucran múltiples disciplinas como son: microelectrónica, telecomunicaciones, redes de computadoras, sistemas de información y redes móviles. Con lo cual se aporta a una sólida base teórica y práctica de sistemas de control de bajo costo.

3.2.2 MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

La muestra, de acuerdo a nuestra población es entonces los sistemas de control y supervisión distribuido de bajo costo, requeridas principalmente por las microempresas y medianas empresas.

De acuerdo a los elementos y objetos de estudio, la muestra viene a conformar las señales a censar, su muestreo, adquisición, control y supervisión del nivel de un tanque de agua.

3.2.3 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN

El sistema prototipo de control de nivel de un tanque de agua, la tarjeta de adquisición de datos, la implementación de la red LAN y los programas servidores de base de datos, el servidor de aplicaciones más la interfaz para el cliente. Que en su conjunto conforman el sistema de control y supervisión distribuido multiplataforma se diseñó e implemento en el laboratorio particular de quien es autor de este proyecto de investigación. Sito en la avenida el puerto N° 714 de la ciudad de Puno.

3.3 MATERIAL EXPERIMENTAL

Los materiales utilizados para realizar el tratamiento de las señales analógicas y digitales son los siguientes:

3.3.1 PROTOTIPO DE CONTROL DE NIVEL

El prototipo de control de nivel es un tanque o reservorio de agua, el censado se realiza mediante un potenciómetro alimentado con un voltaje referencial de 0V a 5V y el actuador que viene a ser una bomba de agua de 12 voltios.

El tanque de agua: Es de forma cilíndrica, con capacidad máxima de 4.5 litros de agua, y con un diámetro superficial de 10 cm.

El actuador: consta de una bomba de agua de corriente directa, y se alimenta desde aproximadamente 5 V hasta los 24 V, con una corriente de entre los 3A hasta los 4.1A

El sensor: consta de un potenciómetro de 100K Ω , la característica es que este tipo de potenciómetros se comportan aproximadamente de forma lineal, y está alimentado por una fuente de alimentación de 5V para el respectivo sensado del nivel de agua en el tanque.

Tuberías: las tuberías son de un área superficial mucho menor comparado con el área superficial del tanque. Esto facilita el modelado de la planta y la linealización del sistema. Tienen un diámetro de 0.5 cm.

3.3.2 dispositivo de adquisición de datos

El dispositivo que permite la conversión de la señal analógica a digital y la señal digital a analógica fue diseñado e implementado a partir del microcontrolador 18F4550 de microchip. Utilizamos este microcontrolador por las prestaciones que tiene para trabajar mediante la interfaz USB y por las características de velocidad y almacenamiento de bajo costo en el mercado.

3.3.3 COMPUTADORAS PERSONALES

El servidor de aplicaciones, el servidor de base de datos y los clientes prácticamente son computadoras personales, pues se requiere de una mediana y alta capacidad de procesamiento y almacenamiento para trabajos con datos y procesos en tiempo real y gestión de datos.

3.3.4 DISPOSITIVOS MÓVILES

En caso de los clientes, pueden ser indistintamente computadoras personales, dispositivos móviles celulares, o cualquier otro dispositivo que tenga acceso a la red Ethernet del sistema y con un mínimo requerimiento en cuanto a velocidad y procesamiento.

Un dispositivo móvil puede definirse como todo aquel hardware que tenga características similares a las computadoras de escritorio, con la diferencia principal, que todo es reducido y normalmente integrado en una sola pieza. Estos cuentan con un sistema operativo que es instalado de fábrica. Sobre estos sistemas operativos se pueden instalar programas que pueden ser utilitarios o herramientas de desarrollo. Entre los principales dispositivos móviles tenemos los celulares o Smartphone y los PDA (Personal Digital Assistant)

Existen varios sistemas operativos para los teléfonos inteligentes, cada uno de ellos diseñado con diferencias importantes. Dentro de estos se puede mencionar: Android, iPhone OS, Palm OS, BlackBerry OS, Windows Mobile y Symbian.

Android

Es un sistema operativo para dispositivos móviles y computadoras basado en el núcleo Linux. Inicialmente fue desarrollado por Android Inc., compañía que fue comprada después por Google. En la actualidad lo desarrollan los miembros de la Open Handset Alliance (liderada por Google).

Esta plataforma permite el desarrollo de aplicaciones por terceros (personas ajenas a Google). Los desarrolladores deben escribir código gestionado en lenguaje de programación Java a través de SDK proporcionada por el mismo Google. Una alternativa es el uso de la NDK (Native Development Kit) de Google para hacer el desarrollo en lenguaje C como código fuente.

IPhone OS

Es el sistema operativo que utiliza el iPod touch y el iPhone, diseñado por 175 ingenieros de Apple, Está basado en una variante del Mach kernel que se encuentra en Mac OS X. El iPhone OS incluye el componente de software “Animation Core” de Mac OS X v10.5 que, junto con el PowerVR MBX el hardware de 3D, es responsable de las animaciones usadas en el interfaz de usuario. iPhone OS tiene 4 capas de abstracción: la capa del núcleo del sistema operativo, la capa de Servicios Principales, la capa de Medios de comunicación y la capa de Cocoa Touch.

Limitaciones de los dispositivos móviles

Por ser de carácter compacto y portátil, los dispositivos móviles constan de varias limitaciones, las cuales se presentan a continuación: De la interfaz (pequeñas, lentos ciertas veces para la entrada de datos), De Tecnología (fuentes de energía limitadas y menor velocidad de procesamiento), De conexión de red (tiempos de respuesta prolongados y ancho de banda altamente variable), Costo acumulativo (adquirir tecnologías y complementos necesarios para ciertos tipos de aplicaciones).

3.3.5 CAPA FÍSICA DE RED

La capa física de red Ethernet está compuesto por componentes básicos que integran una red LAN básica para la comunicación cableada e inalámbrica. Esta implementado principalmente por cables de la categoría 5e que es el mínimo requerido para un red Ethernet industrial y el router de la marca TP-Link.

Tarjeta de red

Para lograr el enlace entre las computadoras y los medios de transmisión (cables de red o medios físicos para redes alámbricas e infrarrojos o radiofrecuencias para redes inalámbricas), fue necesaria la intervención de una tarjeta de red o NIC (Network Card Interface) con la cual se puedan enviar y recibir paquetes de datos desde y hacia otras computadoras, empleando un protocolo para su comunicación y convirtiendo esos datos a un formato que pueda ser transmitido por el medio.

Cabe señalar que a cada tarjeta de red le es asignado un identificador único por su fabricante, conocido como dirección MAC (Media Access Control), que consta de 48 bits (6 bytes). Dicho identificador permite direccionar el tráfico de datos de la red del emisor al receptor adecuados. El trabajo del adaptador de red es el de convertir las señales eléctricas que viajan por el cable o las ondas de radio en una señal que pueda interpretar el ordenador.

Adaptador de red es el nombre genérico que reciben los dispositivos encargados de realizar dicha conversión. Esto significa que estos adaptadores pueden ser tanto Ethernet como Wireless, así como de otros tipos como fibra óptica, coaxial, etc. También las velocidades disponibles varían según el tipo de adaptador; éstas pueden ser, en Ethernet, de 10, 100 ó 1000 Mbps, y en los inalámbricos de 11 ó 55 Mbps.

Dirección IP

Es un número que identifica de manera lógica y jerárquica a una interfaz de un dispositivo (habitualmente una computadora) dentro de una red que utilice el protocolo IP (Internet Protocol), que corresponde al nivel de red del protocolo TCP/IP. Dicho número no se ha de confundir con la dirección MAC que es un número hexadecimal fijo que es asignado a la tarjeta o dispositivo de red por el fabricante, mientras que la dirección IP se puede cambiar.

Los servidores de correo, DNS, FTP públicos, y servidores de páginas web necesariamente deben contar con una dirección IP fija o estática, ya que de esta forma se permite su localización en la red.

Servidor

El término servidor ahora se refiere al ordenador físico en el cual funciona ese software, una máquina cuyo propósito es proveer datos de modo que otras máquinas puedan utilizar esos datos.

Switch o conmutador

Un conmutador o switch es un dispositivo digital de lógica de interconexión de redes de computadores que opera en la capa 2 (nivel de enlace de datos) del modelo OSI. Su función es interconectar dos o más segmentos de red, de manera similar a los puentes, pasando datos de un segmento a otro de acuerdo con la dirección MAC de destino de las tramas en la red.

Arquitectura

Peer-to-peer se caracteriza por brindar: escalabilidad, robustez, descentralización, anonimato, seguridad y costes repartidos. En cuanto al cable, es recomendable usar a partir de la categoría 5e que permiten soportar Gigabit Ethernet (1000BASE-T), o redes funcionando a 1000 Mbps.

3.3.6 PROGRAMAS UTILIZADOS

Para crear la interfaz de los clientes y el servidor de aplicaciones utilizamos como principal herramienta de programación el programa DELPHI en sus dos versiones XE6 y XE7. Delphi utiliza como lenguaje de programación una versión moderna de Pascal llamada Object Pascal.

Para la implementación del servidor de base de datos utilizamos el sistema manejador de base de datos relacionales (RDBMS) FIREBIRD, también conocida como sistema de administración de base de datos. El modo en el que configuramos o utilizamos Firebird es como: Servicio, súper server y de modo automático.

La otra herramienta de programación que utilizamos es el lenguaje de programación de alto nivel “C” para programar el modo en que funciona nuestro dispositivo de adquisición de datos. El lenguaje “C” dispone de las estructuras típicas de los lenguajes de alto nivel pero, a su vez, dispone de construcciones del lenguaje que permiten un control a muy bajo nivel. Los compiladores suelen ofrecer extensiones al lenguaje que posibilitan mezclar código en ensamblador con código C o acceder directamente a memoria o dispositivos periféricos.

Algunas herramientas adicionalmente utilizadas son: MikroC que nos permite compilar el código escrito en lenguaje C y además crear la interfaz USB-HID para nuestro dispositivo de adquisición de datos. PICKit2 utilizado para grabar el código compilado, en el microcontrolador PIC18F4550. FLAMEROBIN, es el IDE para el gestor de datos FIREDIRD. Proteus7, utilizado principalmente para simular el diseño de los circuitos diseñados antes de ser armados en físico.

Además complementamos nuestro entorno de programación con componentes del PORYECTO JEDI y de MITOV que agregamos a Delphi como herramientas de licencia libre.

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN

3.4.1 TÉCNICAS

La técnica que fue utilizada para la recolección de información que parte principalmente del muestreo de la señal analógica. Es el examen visual y observación comparativa de la función de correlación de los datos discretos graficados punto a punto mediante técnicas matemáticas de correlación y correlograma, teniendo en cuenta aspectos de muestreo, frecuencia de muestreo y comparación de señales transmitidas y recibidas.

3.4.2 MEDICIÓN

Técnica que comprende la identificación y el establecimiento de diferentes parámetros del sistema de control digital PID y su entorno. Además se utilizaron herramientas de programación, algoritmos de control y sistemas de base de datos

3.4.3 REVISIÓN DE HOJAS DE DATOS

Mediante el cual se conoce las especificaciones técnicas y de funcionamiento de los dispositivos utilizados en nuestro sistema, para conocer los alcances y limitantes del sistema de control digital PID.

3.4.4 INSTRUMENTOS

Para la medición de las diferentes señales se ha utilizado diferentes instrumentos de medición, tales como: osciloscopio, multímetro, Censores, Cronometro, voltímetro.

3.5 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.5.1 PROCESAMIENTO DE DATOS

Para la recolección de información y el análisis de datos utilizamos la estadística y sus herramientas para hacer inferencias sobre las variables del sistema y por lo tanto por su comportamiento, algunas herramientas utilizadas en el análisis estadístico son: Varianza, Correlación, Covarianza, Histograma, Regresión, Muestreo.

En cuanto al análisis matemático: utiliza las herramientas matemáticas para hacer los ajustes necesarios a los datos para su futuro despliegue, algunas de las herramientas son: Adición, Sustracción, Multiplicación, División, Porcentajes, Transformada Z, Transformada de Laplace, Series de Taylor, discretización por retraso y adelanto.

3.5.2 PRESENTACIÓN DE LOS DATOS EN UNA INTERFAZ GRÁFICA

Esta parte consiste en la presentación de los datos al usuario final, es decir al operario. Los datos deberán estar en unidades adecuadas, con imágenes que representen adecuadamente cada etapa del proceso con sus respectivas variables; además la interfaz entre humano y máquina, HMI (Human machine interface), debe ser capaz de desplegar al operario, las alarmas que sucedan en el instante preciso de su acontecimiento ya que de esa forma el usuario puede hacer los ajustes necesarios para que el proceso siga o si es necesario, detener el proceso.

3.5.3 CRITERIOS DE ELECCIÓN

La respuesta de un sistema ante situaciones inesperadas determina su grado de fiabilidad, es decir, el tiempo de operación del mismo y puede mejorarse mediante el uso de técnicas de diseño adecuadas. Los parámetros que influyen en la decisión de desarrollo o de compra son prácticamente las prestaciones que ofrece el sistema descritas en el objetivo general. Pero algunos aspectos relevantes se describen a continuación:

Disponibilidad Estamos hablando de tener instalados y en reserva tanto partes de hardware como de software.

Robustez Ante un fallo de diseño, un accidente o una intrusión, un sistema eficiente debe poder mantener un nivel de operatividad suficiente como para mantener unos mínimos de servicio. Si las cosas empiezan a ir mal, ¿cuánto aguantará el sistema antes de empezar a fallar? Es lo que llamaríamos el plan de contingencia.

Seguridad Un fallo en el diseño, un usuario malintencionado o una situación imprevista podrían alterar los parámetros de funcionamiento de un sistema. Hoy en día cualquier sistema de control puede utilizar uno o varios métodos de comunicación para enlazar todos los puntos de control de un proceso y, en el momento en que se utilizan sistemas de comunicación que implican el acceso desde múltiples puntos, no siempre dentro de la empresa, es posible que alguno de estos accesos sea no deseado.

Prestaciones El equipo debe poder asimilar toda la información incluso bajo condiciones extremas de trabajo de manera que no se pierda ningún dato aunque no necesariamente los almacene en tiempo real.

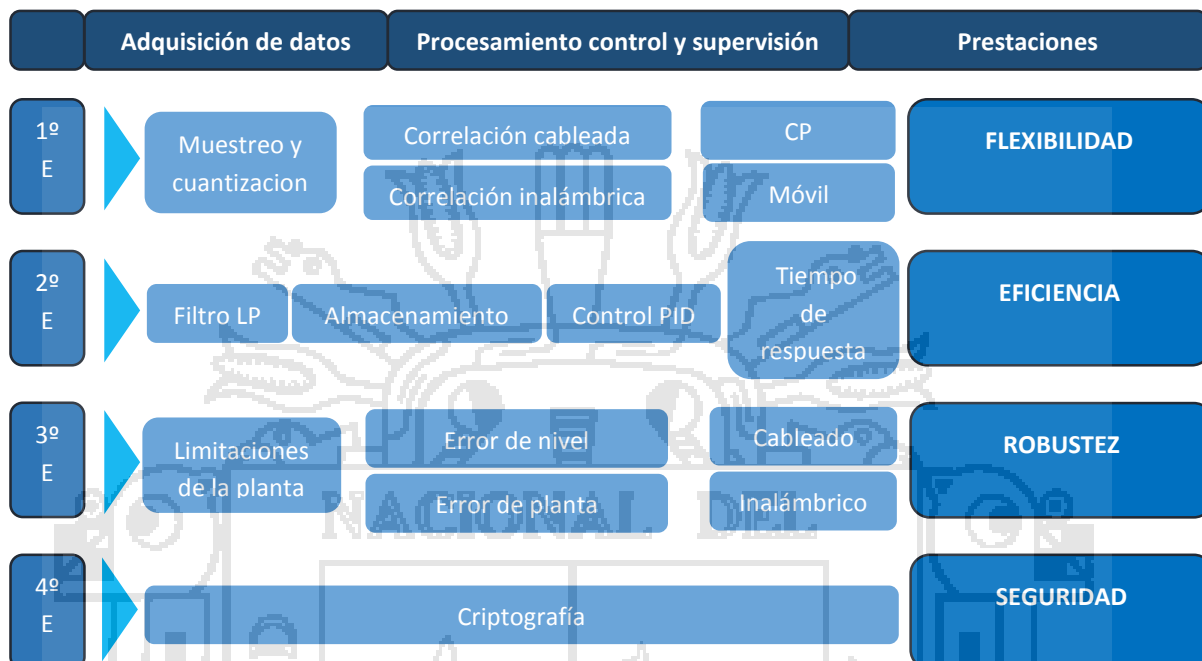
Mantenibilidad Los tiempos de mantenimiento pueden reducirse al mínimo si el sistema está provisto de buenas herramientas de diagnóstico para realizar tareas de mantenimiento preventivo, modificaciones y pruebas simultáneas al funcionamiento normal del sistema.

Escalabilidad Es importante que el sistema pueda ampliarse con nuevos componentes tanto de software como de hardware según los requerimientos de la operación. (Rodríguez Penin, 2012)

3.5.4 PROCEDIMIENTO DEL EXPERIMENTO

Los experimentos se realizaron en función de los objetivos perseguidos en este proyecto. Es decir, primero en función a las prestaciones que debe de tener un sistema de control y supervisión industrial definidos anteriormente como son: Flexibilidad,

eficiencia, robustez y seguridad. Y segundo, en el proceso seguido para lograr que el sistema tenga estas prestaciones declaradas como objetivos específicos. Para un mejor entendimiento, se muestra el cuadro referencial a continuación:



Grafica Nº 1. Grafica referencial del procedimiento de experimentación

Experimento 1: Prestaciones del sistema de Flexibilidad

La flexibilidad obedece básicamente a la capacidad del sistema de expandirse a nivel geográfico mediante alguna extensión de red o proceso a controlar sin perder el rendimiento del sistema en conjunto. Para esto, aumentamos clientes tanto móviles como computadoras personales y plantas a controlar, luego entonces comprobamos el rendimiento del sistema en cuanto a velocidad.

Experimento 2: Prestaciones del sistema de Eficiencia

Para su eficiencia, calculamos las características de cada microprocesador autónomo en cuanto a su velocidad de procesamiento y comparamos los resultados de procesamiento tanto a nivel individual como a nivel general mediante algún proceso de control.

La tarea fundamental del sistema en su conjunto es el monitoreo, control y la automatización de una planta, este aspecto se analiza cuantitativa y cualitativamente en cuanto al tiempo de respuesta del sistema en diferentes plataformas.

Experimento 3: Prestaciones del sistema de Robustez

La robustez es la característica del sistema de responder frente a cualquier interferencia o ruido de la señal, el experimento para esta característica es entonces probar el algoritmo adecuado o inteligente que responda frente a esta señal.

Corremos el sistema prototipo durante periodos de tiempo extensos para probar la estabilidad del sistema en su conjunto, añadiendo casos de error críticos y su respuesta de funcionalidad. Las tecnologías que se aplicaron para desarrollar este sistema, se verán sometidos a pruebas de muestreo y adquisición de datos en tiempo real en entornos distribuidos críticos y en diferentes plataformas.

Experimento 4: Prestaciones del sistema de Seguridad

Una técnica utilizada en este aspecto, es la encriptación del sistema en diferentes aspectos, tanto para los clientes, los administradores y la programación.

3.5.5 PLAN DE TRATAMIENTO DE DATOS

De acuerdo al plan de experimentación, tenemos cuatro experimentos los cuales dan como resultado gráficos para ser analizados comparativamente. La confiabilidad o significado de los resultados del experimento serán mostrados estadísticamente para su mayor valor de los resultados.

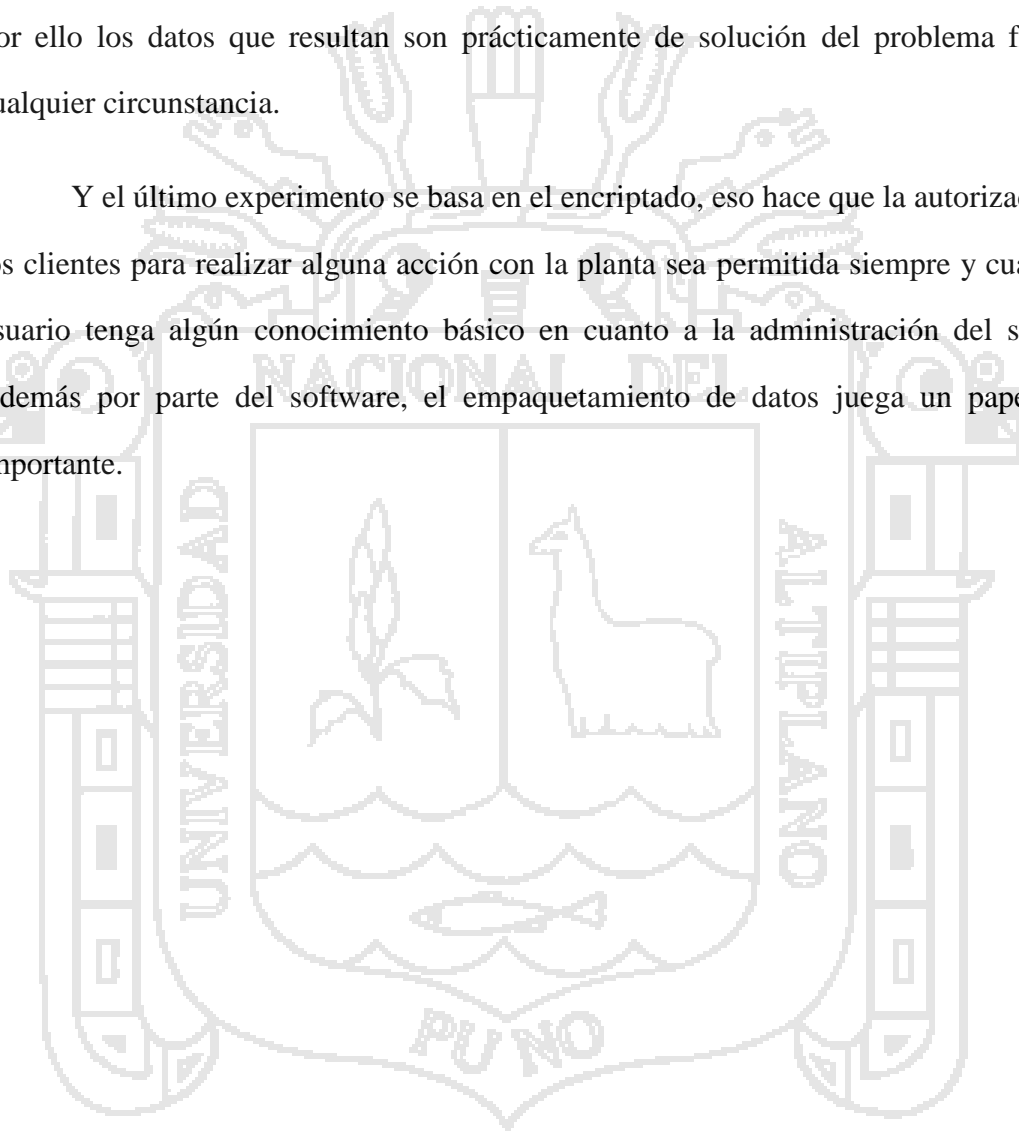
3.5.6 DISEÑO ESTADÍSTICO PARA PRUEBA DE HIPÓTESIS

Los datos almacenados en la base de datos serán procesados estadísticamente. En el primer experimento, se obtendrán datos estadísticamente y mediante la técnica de regresión lineal obtenida a partir de la gráfica de la función de correlograma.

En el segundo experimentos, se mide el tiempo de respuesta en cada caso de control tanto inalámbrico como cableado, además en los casos de los clientes móviles y clientes como computadoras personales de escritorio.

El tercer experimento implica básicamente la prestación del sistema en cuanto a los errores que puede tener la planta y como es sistema responde ante algún problema. Por ello los datos que resultan son prácticamente de solución del problema frente a cualquier circunstancia.

Y el último experimento se basa en el encriptado, eso hace que la autorización de los clientes para realizar alguna acción con la planta sea permitida siempre y cuando el usuario tenga algún conocimiento básico en cuanto a la administración del sistema. Además por parte del software, el empaquetamiento de datos juega un papel muy importante.





4.1 ANÁLISIS

Para desarrollar la descripción y el análisis del sistema en su conjunto, convenimos en hacerlo siguiendo las cinco etapas identificadas previamente en el marco teórico, que obedece básicamente al estricto seguimiento que se realiza a la señal. Pues de esta forma se pretendió realizar un estudio mucho más cuidadoso, meticulado y analítico en cuanto a las propiedades físicas de la planta, el muestro real del dispositivo, el procesamiento y almacenamiento de la señal digital, infraestructura de red de comunicaciones y las aplicaciones que se desarrollaron.

Para tener un mejor entendimiento de el proceso de análisis e implementación, la figura N° 21 nos muestra gráficamente a modo de visión panorámica, el sistema implementado en su conjunto, identificando las respectivas partes involucradas.

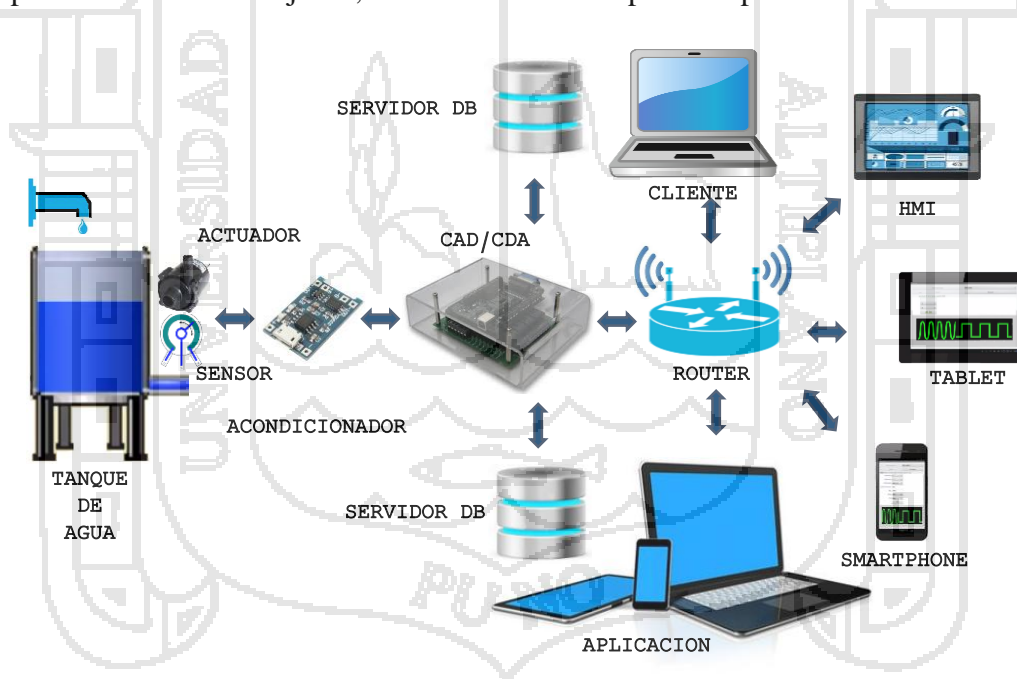


Figura N° 21 Esquema general del sistema desarrollado.
Elaborado por el autor

A continuación desarrollamos el análisis de acuerdo a las etapas de diseño e implementación planteadas en el marco teórico.

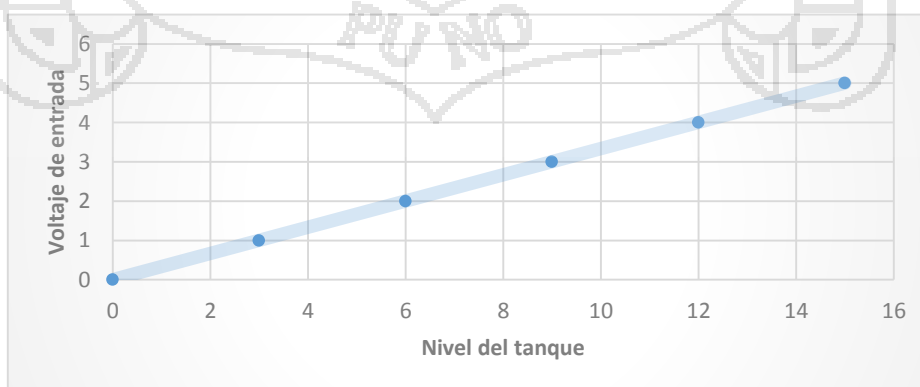
4.1.1 PLANTA O SISTEMA FÍSICO

La planta a controlar, consiste de un reservorio de agua, conformado por los siguientes componentes: Tanque de agua, actuador, sensor, y las respectivas tuberías para la entrada y salida de agua como se muestra en la figura N° 22



Figura N° 22 Sistema físico para el control de nivel de agua en un reservorio.
Elaborado por el autor

En este proyecto, un sensor de nivel está conectado a un microcontrolador PIC18F4550, se envía el nivel medido y se muestra en un PC cada 5 milisegundos usando una interfaz USB. Básicamente un potenciómetro se utiliza como sensor. Este sensor genera una tensión analógica proporcional al nivel de agua en el tanque. La tensión de salida del sensor es determinado por: $V_o = V_i(K) + P_o$. Las mediciones del nivel de agua en el tanque se muestran en centímetros. La figura muestra la variación de la tensión de salida del sensor con respecto al nivel de agua que varía en el tiempo.



Grafica N° 2 Variación del sensor de voltaje de salida con respecto al nivel de tanque

4.1.1.1 Modelado

Para el modelado, consideramos todas las características físicas de la planta y junto con algunos principios físicos de la hidrodinámica, iniciamos desde lo fundamental, el concepto de caudal. Se llama caudal $Q(t)$ o gasto de corriente de agua al cociente del volumen del líquido ΔV que pasa por una sección transversal A_1 (ver figura 23) y el tiempo Δt que emplea en pasar es decir:

$$Q(t) = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (3.1)$$

De nuestro sistema a controlar (figura 22) la condición de equilibrio viene declarada como: “La diferencia del gasto de entrada y el gasto de salida en una unidad pequeña de tiempo es igual a la cantidad de líquido acumulado”, entonces con la relación $Q(t) = Q_{in}(t) - Q_{ou}(t)$ donde $Q(t)$ representa el caudal en el tanque reemplazado en la ecuación 3.1 en su forma $\Delta V = Q(t)\Delta t$ nos resulta:

$$\Delta V = (Q_{in}(t) - Q_{ou}(t))\Delta t \quad (3.2)$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = Q_{in}(t) - Q_{ou}(t) \quad (3.3)$$

De la figura N° 23 se observa que: $\Delta x_1 = v_1 \Delta t$ además se tiene que: $\Delta V = A_1 \Delta x_1$ y reemplazando Δx_1 en ΔV y esta última en la ecuación $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ se obtiene:

$$\frac{A_1 \Delta x_1}{\Delta t} = Q_{in}(t) - Q_{ou}(t) \quad (3.4)$$

La ecuación 3.4 se puede expresar de forma conveniente en función a las características del tanque en cuestión con: $A_1 = A$ donde A representa el área de la superficie del tanque y $\Delta x_1 = \Delta h(t)$ donde $\Delta h(t)$ representa la variación de la altura de agua en el tanque, con lo que la ecuación 3.4 queda como $\frac{A \Delta h(t)}{\Delta t} = Q_{in}(t) - Q_{ou}(t)$ o infinitesimalmente como:

$$A \frac{\partial h(t)}{\partial t} = Q_{in}(t) - Q_{ou}(t) \quad (3.5)$$

El caudal de salida $Q_{ou}(t)$ tiene un comportamiento natural y no intervenimos en su dinámica, por lo tanto para este caudal de salida podemos aplicar el principio de Bernoulli.

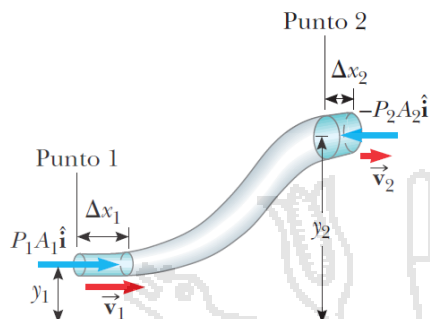


Figura N° 23 Un fluido en flujo laminar a través de una tubería que se estrecha. El volumen de la porción sombreada a la izquierda es igual al volumen de la porción sombreada a la derecha. Fuente: Física I de Serway.

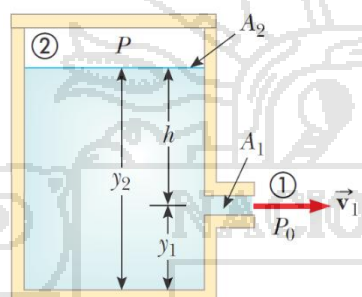


Figura N° 24 Salida de un líquido por un orificio en un tanque con rapidez v_1 . Fuente: Física I de Serway.

De la figura N° 23, el principio de Bernoulli describe el comportamiento de los líquidos en movimiento según la ecuación: $P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2$ aplicando esta ecuación al tanque de la figura 3.4 se observa que se conoce la presión en los puntos que es prácticamente la presión atmosférica es decir $P_1 = P_2 = P_{atm}$. Pero en cuanto a las velocidades en dichos puntos, consideramos que $A_2 \gg A_1$, entonces el líquido está cerca del reposo en lo alto del tanque, donde la presión es P_{atm} . En el orificio, v_1 es igual a la presión atmosférica P_{atm} . Entonces la ecuación de Bernoulli entre los puntos 1 y 2 es:

$$P_{atm} + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g * (0) = P_{atm} + \frac{1}{2}\rho * (0)^2 + \rho g h \quad (3.6)$$

$$v_1 = \sqrt{2gh} \quad (3.7)$$

El resultado (ecuación 3.7) lo llevamos a la ecuación 3.5 con $v_1 = v_{ou}$ donde v_{ou} representa la velocidad de salida en el orificio inferior del tanque y $Q_{ou}(t)$ en su forma

$Q_{ou}(t) = A_{ou}v_{ou}$ donde A_{ou} representa el area de la seccion transversal del orificio del tanque, con lo que nos queda:

$$A \frac{\partial h(t)}{\partial t} = Q_{in}(t) - A_{ou}v_{ou} \quad (3.8)$$

$$A \frac{\partial h(t)}{\partial t} = Q_{in}(t) - A_{ou}\sqrt{2gh(t)} \quad (3.9)$$

$$\frac{\partial h(t)}{\partial t} = -\frac{A_{ou}\sqrt{2g}}{A}\sqrt{h(t)} + \frac{1}{A}Q_{in}(t) \quad (3.10)$$

La ecuacion 3.10 es el resultado final conocida tambien como la ecuacion de estado para este sistema SISO, pues expresa el comportamiento no lineal del sistema considerando incluso la resistencia del flujo turbulento, donde $Q_{in}(t)$ representa la señal de entrada y $h(t)$ representa la señal de salida del sistema. Pero para su análisis es necesario la Linealización del modelo hallado y expresado en la ecuación 3.10

4.1.1.2 Linealización del modelo

La linealización generalmente consiste en una expansión en series de Taylor de la ecuación de estado no-lineal alrededor de un punto de operación definido naturalmente por el sistema o seleccionado arbitrariamente (SETPOINT) para satisfacer alguna necesidad de control.

La serie de Taylor expresa de forma aproximada, la gran mayoría de las funciones infinitamente derivables como una sumatoria de infinitas expresiones desarrolladas alrededor de un punto.

Empezamos por definir la ecuación en su forma de variables de estado definiendo la señal de entrada $u(t)$, la señal de salida $y(t)$ y las ecuaciones $f(\cdot)$ y $g(\cdot)$ que los representan:

NOTACION GENERAL	EUCACION DE ESTADO SISO	ESPACIO DE ESTADO VECTORIAL
$\frac{\partial x(t)}{\partial t} = f(x(t), u(t))$	$\frac{\partial h(t)}{\partial t} = -\frac{A_{ou}\sqrt{2g}}{A}\sqrt{h(t)} + \frac{1}{A}Q_{in}(t)$	$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$
$y(t) = g(x(t), u(t))$	$y(t) = h(t)$	$y(t) = Cx(t) + Du(t)$

Con lo anterior, observamos que la ecuación no lineal que representa nuestro sistema SISO, al linealizarlo en torno a un punto, debe quedarnos una expresión en la forma de espacio de estados vectorial. Entonces podemos expresar una igualdad de la forma:

$$f(x(t), u(t)) = f(h(t), Q_{in}(t)) = -\frac{A_{ou}\sqrt{2g}}{A}\sqrt{h(t)} + \frac{1}{A}Q_{in}(t) \quad (3.11)$$

$$g(x(t), u(t)) = g(h(t), Q_{in}(t)) = h(t) \quad (3.12)$$

Como el objetivo es controlar la señal de salida $h(t)$ alrededor de un setpoint, este es la altura de referencia h_{ref} donde queremos que se encuentre el nivel del tanque de la figura 3.2 que no es más que una constante. Además, cuando la altura toma un valor constante en el tiempo $h(t_0) = h_{ref}$ notamos que el caudal de salida también toma un valor constante $Q_{ou}(t_0) = Q_{ou}$ con estas observaciones, podemos aproximar la ecuación 3.11 a una ecuación lineal e invariante en el tiempo en torno al punto $P(h_{ref}, Q_{ou})$.

Nota: Para calcular el valor de $Q_{ou}(t)$ se debe recordar que $\frac{\partial h(t)}{\partial t}$ evaluado en el punto $P(h_{ref}, Q_{ou})$ es 0 (cero). Esto quiere decir que cuando el tanque se encuentra a un nivel h_{ref} en ese instante el caudal que ingresa debería ser el mismo que el caudal que sale $Q_{in}(t) = Q_{ou}(t)$ independientemente de la altura a la que se encuentra.

Entonces, conociendo el punto de operación, calculamos los valores de A, B, C y D de la ecuación de estado vectorial de la siguiente manera:

$$A = \frac{\partial f(h(t), Q_{in}(t))}{\partial h(t)} \text{ Evaluado en } P(h_{ref}, Q_{ou})$$

$$B = \frac{\partial f(h(t), Q_{in}(t))}{\partial Q_{in}(t)} \text{ Evaluado en } P(h_{ref}, Q_{ou})$$

$$C = \frac{\partial g(h(t), Q_{in}(t))}{\partial h(t)} \text{ Evaluado en } P(h_{ref}, Q_{ou})$$

$$D = \frac{\partial g(h(t), Q_{in}(t))}{\partial Q_{in}(t)} \text{ Evaluado en } P(h_{ref}, Q_{ou})$$

Recordemos de las ecuaciones 3.11 y 3.12 que: $f(h(t), Q_{in}(t)) = -\frac{A_{ou}\sqrt{2g}}{A}\sqrt{h(t)} + \frac{1}{A}Q_{in}(t)$ y que además $g(h(t), Q_{in}(t)) = h(t)$ entonces calculando las derivadas parciales y evaluando en el punto $P(h_{ref}, Q_{ou})$ obtenemos:

$$A = \frac{\partial f(h(t), Q_{in}(t))}{\partial h(t)} = -\frac{\sqrt{2g}A_{ou}}{2A} \frac{\sqrt{h(t)}}{h(t)} \Rightarrow A = -\frac{\sqrt{2g}A_{ou}}{2A} \frac{\sqrt{h_{ref}}}{h_{ref}}$$

$$B = \frac{\partial f(h(t), Q_{in}(t))}{\partial Q_{in}(t)} = \frac{1}{A} \Rightarrow B = \frac{1}{A}$$

$$C = \frac{\partial g(h(t), Q_{in}(t))}{\partial h(t)} = 1 \Rightarrow C = 1$$

$$D = \frac{\partial g(h(t), Q_{in}(t))}{\partial Q_{in}(t)} = 0 \Rightarrow D = 0$$

Con los valores obtenidos, podemos reemplazarlos en la ecuación vectorial de espacio de estados y resolviendo se obtiene el siguiente resultado:

$$\frac{\partial \mathbf{h}(t)}{\partial t} = -\frac{\sqrt{2g}A_{ou}}{2A} \frac{\sqrt{h_{ref}}}{h_{ref}} \mathbf{h}(t) + \frac{1}{A} \mathbf{Q}_{in}(t) \quad (3.13)$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{h}(t) \quad (3.14)$$

Las ecuaciones 3.13 y 3. 14 es el equivalente lineal del sistema no lineal del nivel de un tanque de agua expresado mediante una ecuación en el espacio de estado vectorial en torno al punto de operación $P(h_{ref}, Q_{ou})$.

4.1.2 SISTEMA DE DATOS MUESTREADOS

La segunda etapa de este proyecto, consiste básicamente en convertir la señal analógica proveniente de nuestro sistema físico a una señal digital y viceversa.

4.1.2.1 Diseño del circuito

USB es un sistema de conectividad de anfitrión centrada en donde el anfitrión dicta el uso del bus USB. En un bus USB los datos se transmiten en paquetes. Un

identificador de paquete (PID) byte sigue inmediatamente al campo de sincronización de cada paquete USB.

Todos los dispositivos USB tienen una jerarquía de **descriptores** que describen diversas características del dispositivo: el ID de fabricante, la versión del dispositivo, la versión de USB que da soporte, lo que el dispositivo es, sus requisitos de potencia, el número y tipo de los puntos finales, y así sucesivamente. Los descriptores USB más comunes son: Descriptores de dispositivo, descriptores de configuración, descriptores de interfaz, descriptores HID y descriptores de punto final. Un dispositivo USB tiene un solo descriptor de dispositivo que proporciona información general, como fabricante, número de serie, número de producto, la clase del dispositivo, y el número de configuraciones.

El microcontrolador PIC18F4550 proporciona una interfaz USB compatible a toda velocidad (12Mbps) y baja velocidad (1.5Mbps) que permite la comunicación entre un PC y el microcontrolador. En este proyecto, diseñamos un dispositivo para realizar la digitalización de la señal utilizando el microprocesador PIC18f4550 basada en la interfaz USB 2.0 del tipo HID, el diagrama del circuito se muestra en la figura N° 25.

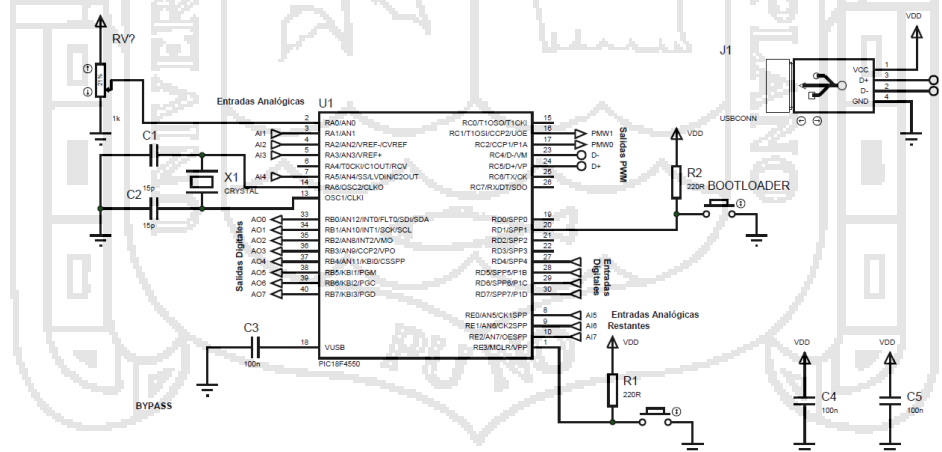


Figura N° 25 Diagrama del circuito para el dispositivo CAD – CDA. Diseñado por el autor.

El microcontrolador es alimentado desde la línea de USB (es decir, no se requiere ninguna fuente de alimentación externa). Esto hace que el diseño de los productos basados en USB sea relativamente baratos y muy atractivos en aplicaciones donde el consumo total de energía es inferior a 100 mA a 5,0V. El microcontrolador es operado desde un

crystal de 20 MHz. Tenga en cuenta que un condensador de aproximadamente 200 nF es conectado entre el pin VUSB (pin 18) del microcontrolador y tierra para la estabilidad.

Un cristal 20MHz se utiliza para proporcionar impulsos de reloj al microcontrolador. El reloj de la CPU microcontrolador y el módulo USB funcionan a 48MHz.

4.1.2.2 Programación del dispositivo

Iniciamos la programación del microcontrolador configurando sus características de funcionamiento a través del programa MikroC Pro For PIC 6.0.0 para que nuestro dispositivo tenga interfaz USB y trabaje a 48Mhz.

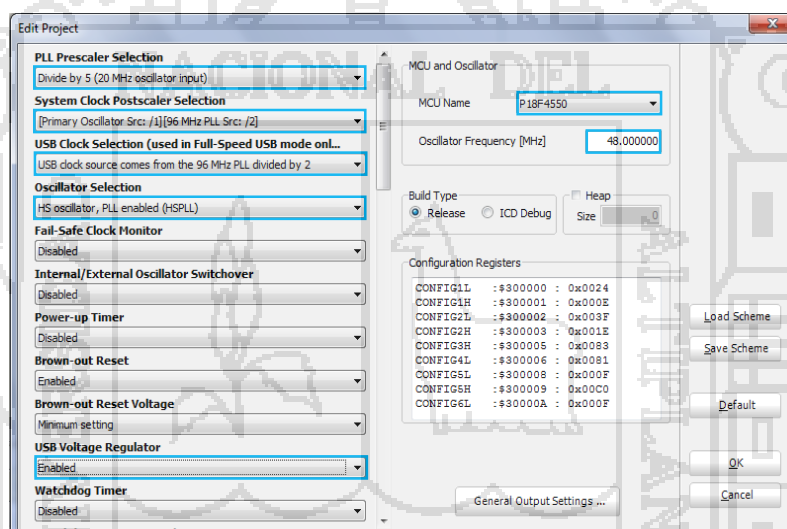


Figura N° 26 Ventana de configuración para el microcontrolador PIC18F4550 de acuerdo al cristal utilizado en el circuito y a la velocidad que trabajamos

Para que nuestro dispositivo pueda ejecutarse en múltiples plataformas y trabajar en diferentes arquitecturas de computadoras como de 32bits y 64bits indistintamente, utilizamos una de las herramientas del lenguaje mikroC, este soporta un número de funciones para las comunicaciones de tipo HID. El proyecto basado en la biblioteca USB incluye un archivo de origen descriptor que contiene ID de proveedor y el nombre, identificación del producto y el nombre, la longitud informe e información relevante.

Generamos el archivo descriptor del USB. Para crear un archivo de origen descriptor HID utilizamos la herramienta terminal de mikroC para crear el descriptor

integrado HID. El nombre que le asignamos para el archivo de descriptor es **DriverSDM.c** El archivo DriverSDM.c se incluye en el proyecto basado en USB.

Los parámetros importantes que se ingresan aquí son el identificador de proveedor (VID), identificador de producto (PID), tamaño del búfer de entrada, salida de tamaño de búfer, nombre del proveedor (VN), y el nombre del producto (PN). El VID y PID están en formato hexadecimal, estos valores introducidos aquí son los mismos en el programa de Delphi. Los identificadores ID de proveedor son únicos en todo el mundo y son emitidos por los implementadores de USB. Nuestro dispositivo posee un ID de proveedor y se puede emitir un conjunto de identificadores de producto a bajo costo por lo que pueden ser enviados por todo el mundo con VID único y combinaciones PID.

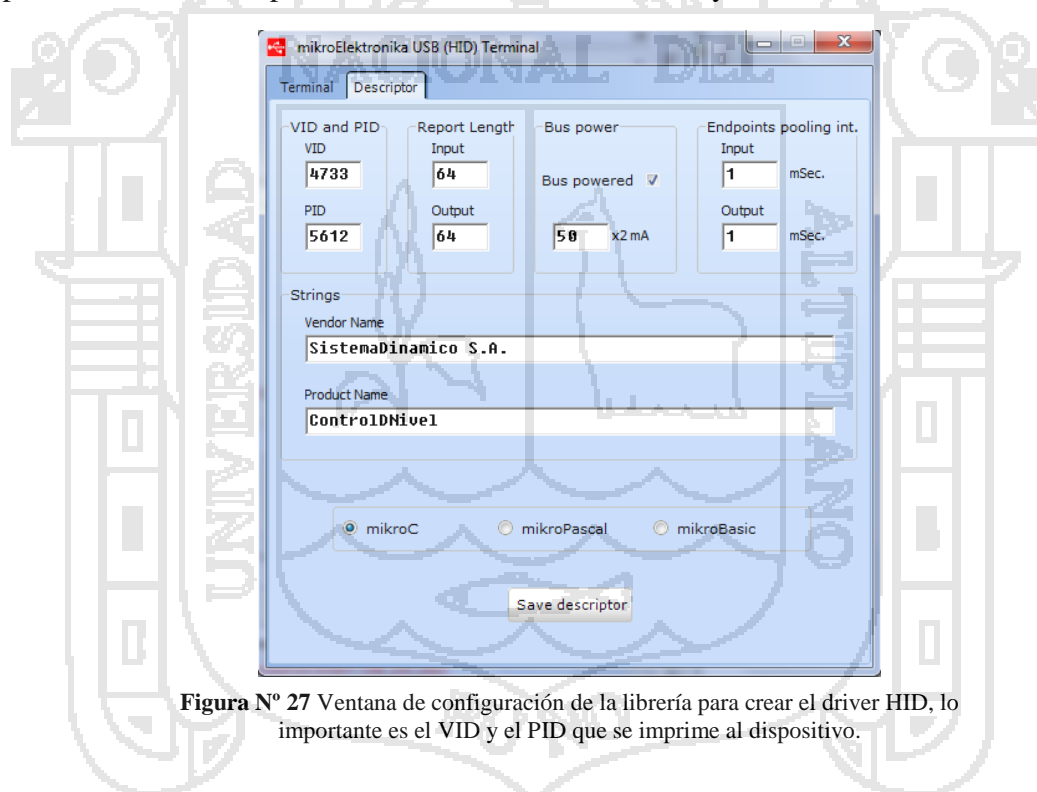


Figura N° 27 Ventana de configuración de la librería para crear el driver HID, lo importante es el VID y el PID que se imprime al dispositivo.

Para convertir la señal analógica en señal digital (CAD) y la señal digital a señal analógica (CDA) simultáneamente, escribimos el código necesario en lenguaje C. este código envía un comando del microcontrolador a la PC con el siguiente formato:

$$P = nT \quad (4.1)$$

Donde n es el byte que solicita el microcontrolador para enviar a PORTB del microcontrolador. Además utilizamos la librería HID creada como **DriverSDM.c** importando al proyecto y habilitamos las librerías necesarias para el correcto funcionamiento del código. Con esas consideraciones escribimos el código necesario para el microcontrolador:

```

unsigned char Read_buffer[64] absolute 0x500;
unsigned char Write_buffer[64] absolute 0x540;
void interrupt()
{
    USB_Interrupt_Proc();
}
void main()
{
    TRISB = 0;
    PORTB = 0;
    TRISA = 1;
    Hid_Enable(&Read_buffer, &Write_buffer);
    ADC_init();
    for(;;)
    {
        while (!HID_read())
        {
            PORTB = Read_buffer[2];
        }
        Write_buffer[2]= Adc_Read(0)*0.25;
        Hid_Write(&Write_buffer,64);
        Delay_ms(5);
    }
    Hid_Disable();
}

```

Al comienzo del programa los pines PORTA se definen como entradas analógicas en la limpieza de ADCON1 a 0 y el establecimiento de pines del puerto como entradas. A continuación, los registros de interrupción se ajustan a sus valores predeterminados de encendido. Temporizador de interrupción TMR0 se establece para generar una interrupción cada 3.3ms para mantener vivo el bus USB. El puerto USB del microcontrolador es entonces activada, y ADCON2 se inicializa mediante el establecimiento de la frecuencia de reloj A / D para $F_{osc} / 64$.

Un bucle sin fin se forma utilizando una sentencia for. Dentro de este bucle se leen los datos del sensor y se convierte en una tensión física. La función USB mikroC Hid_Write se llama entonces para enviar los datos de presión al bus USB como datos de

4 caracteres. El programa espera entonces durante un segundo, y el proceso anterior se repite para siempre.

El programa configura PORTB como salida digital. El temporizador se opera en el modo de 8 bits con un pre-escalador de 256. Aunque la frecuencia de reloj de cristal es 20MHZ, la CPU es operado con un reloj de 48 MHz (período de reloj de la CPU de 0.083ms) es decir el temporizador interrumpe en intervalos de: $(256 - 100) * 256 * 0.083$ **microsegundos** o sobre 3.3ms. Por lo tanto, los mensajes de keep-alive se envían cada 3.3ms.

El puerto USB está activado y luego llamando a la función Hid_Enable. Entonces, el programa entra en un bucle indefinido y lee los datos desde el puerto USB con Hid_Read. Cuando 4 bytes son recibidos en el formato correcto (es decir, el byte 0 = "P", byte 1 = "=", y el byte 3 = "T"), entonces el byte de datos se lee desde byte 2 y se envía a PORTB del microcontrolador. Es importante señalar que cuando se reciben datos utilizando la función Hid_Read, la función devuelve el número de bytes recibidos. Además, el primer byte recibido es el primer byte de datos real y no el ID de informe.

En la lectura del código, observamos que la frecuencia a la que esta muestreado la señal de entrada es de 5 milisegundos (Delay_ms(5)). Este detalle es importante ya que la frecuencia promedio de fiabilidad de la señal es de 10 milisegundos. Dicho en otros términos, estamos muestreando la señal analógica 5000 veces por cada segundo, haciendo con esto que la señal digital tenga una frecuencia de $2(10)^{-4}$ y sea muy parecida a la señal analógica.

Por ultimo Compilamos el código escrito con el programa MikroC y grabamos o escribimos el archivo .HEX generado durante la compilación en el microprocesador 18f4550 por intermedio del programa PicKit2.

4.1.3 PROCESAMIENTO Y BASE DE DATOS

Con procesamiento y base de datos nos referimos al camino que sigue la señal digital a partir de la digitalización discreta o la obtención de la señal en números en cada intervalo de tiempo y a la forma como se realiza su almacenamiento en la base de datos.

Para ello nos basamos en la programación multicapas de DATASNAP, creamos primero la interfaz que nos permite convertir los valores de la señal en números discretos o cliente, luego implementamos el servidor de aplicaciones que nos permite comunicar la interfaz creada previamente con el servidor de base de datos y la última capa es el servidor mismo de datos o gestor de base de datos FIREFIRD instalado en modo SUPERSERVER.

La principal herramienta digital de comunicación que nos proporciona DELPHI DataSnap se llama MIDAS, tecnología basada en comunicación a través de COM/DCOM a tecnología abierta basada en TCP/IP. Una de las características más importantes es lo rápido: rápido de desarrollar, rápido de publicar y lo rápido de poner en producción.

DataSnap permite desarrollar aplicaciones multicapas dentro de los estándares de infraestructura, aunque mantiene compatibilidad con el enfoque basado en COM/DCOM, ahora tiene la habilidad de comunicarse nativamente TCP/IP, y como alternativa también a través de HTTP y HTTPS, al mismo tiempo la reglas de negocios pueden ser expuestas como REST (Representational State Transfer) que en esencia es despachar respuesta a peticiones en forma de JSON.

También nos proporciona conectores DataSnap para Dispositivos Móviles a través de estos conectores es posible invocar Servidores basados en DataSnap desde iPhones, iPads (iOS), Android (Java), Blackberry (Java) y Windows Phone (C# Silverlight).

4.1.3.1 Interfaz de digitalización dedicado o cliente

El programa de muestreo directo creado con Delphi XE6 consta de un solo formulario y básicamente tiene dos funciones principales además de las que podemos agregar:

- a) Leer los datos del dispositivo DAQ y mostrar en la pantalla la trayectoria que sigue la señal en el tiempo.
- b) enviar datos desde la interfaz de usuario hacia el microcontrolador en formato de numeración decimal.

Como se muestra en la Figura N° 28. Los datos de control (SETPOINT) requeridos por el PORTB se introducen en el cuadro de texto y a continuación, el botón ENVIAR manda los datos al hacer clic con el ratón. Por ejemplo, al introducir el número decimal 15 la planta se ubica en 15cm del nivel del tanque.

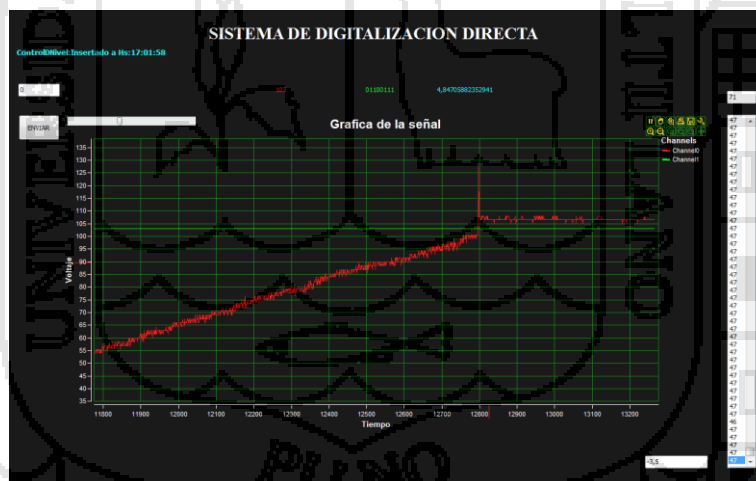


Figura N° 28 Formulario creado en Delphi XE6 para el muestreo y envío de señal SetPoint

El programa envía el número introducido al microcontrolador como un paquete que consta de cuatro caracteres (4 bytes) con siguiente formato $P = nT$. Donde el carácter P indica el inicio de los datos, n es el byte para ser enviado a PORTB, y T es el carácter terminador. Por ejemplo, si los bits 3 y 4 del PORTB que se establezcan, es decir, PORTB "00011000", entonces el programa envía paquetes $24T$ p = (número 24 se envía como un

solo byte binario y no como dos bytes ASCII) al microcontrolador a través del enlace USB. Para leer los datos introducidos por el usuario y luego enviar estos datos al microcontrolador a través del bus USB cuando se hace clic en el botón ENVIAR, realizamos el siguiente procedimiento:

En código pascal de Delphi, leemos la señal del dispositivo USB-HID identificando el dispositivo a través de su número VID-PID con el componente controlador TJvHidDeviceController.

1° Los parámetros importantes son los de salida y el tamaños de memoria intermedia de entrada, que especifican el número de bytes que se envían y reciben, respectivamente, entre el PC y el microcontrolador durante las transacciones de datos USB. Se eligen 64 bytes para ambos campos (nuestra salida está en el formato P = nT, que es 4 bytes).

```
BufInt: Array[0..64] of Byte;
BufOut: Array[0..64] of Byte;
```

2° declaramos los valores de los identificadores VID y PID respectivamente que son los mismos valores creados en el descriptor DriverSDM.c

```
const   VID = $4733;
        PID = $5612;
```

3° escribimos una subrutina para leer los datos introducidos por el usuario y luego enviar estos datos al microcontrolador a través del bus USB cuando se hace clic en el botón

```
BufOut[0] := $0;
BufOut[1] := Byte('P');
BufOut[2] := Byte('=');
BufOut[3] := StrToInt(Edit1.Text);
BufOut[4] := Byte('T');
ToWrite := MyDev.Caps.OutputReportByteLength;
MyDev.WriteFile( BufInt, ToWrite, Written );
```

BufOut almacena los datos que deben enviarse al microcontrolador a través del bus USB. Observe que el primer byte del buffer es el ID de informe y debe establecerse en 0. Los datos reales se inicia desde la dirección BufOut[1] de la matriz y los datos enviados es en el formato P = nT como se describe antes.

El buffer de entrada (informe) en la envió por un dispositivo USB cuando así se lo solicite por el anfitrión. El buffer ouput (informe) es enviado por el host al dispositivo USB. La Subrutina OnRead recibe los datos que llegan al puerto USB de la PC y luego lo muestra en la forma de la pantalla. El programa no envía ningún dato al bus USB.

Cabe resaltar que el componente más importante en el lado del cliente es el componente ClientDataSet. Combina la facilidad de acceso a datos a través de la clase TDataSet y la potencia de controlar automáticamente las transacciones al motor de bases de datos, las SQL de consulta, actualización y eliminación así como la conexión y desconexión de las tablas con el servidor haciendo que el programador no tenga que preocuparse de las particularidades del motor de bases de datos. El componente de la clase TClientDataSet no conecta directamente sobre una base de datos en concreto, si no que utiliza el componente DataSetProvider que actua de intermediario haciendo de puente entre los componentes de bases de datos (IBX,IBO,etc) y nuestra tabla ClientDataSet.

El componente ClientDataSet es algo así como una tabla de memoria (como la que tienen los componentes RX) que se trae y lleva datos a las tablas de la base de datos encargándose automáticamente de las transacciones. esta característica nos permite realizar algunas tareas sin estar conectado directamente al sistema de control.

4.1.3.2 Servidores de aplicación

Lo más importante en el lado del servidor son los servicios que implementamos y que nos brinda el sistema, entre ellos tenemos la conexión con la base de datos. Además, esta capa de software nos facilita el intercambio de datos de toda la red entre los diversos clientes conectados de tal forma que no satura la red.

Para el Servidor utilizamos los componentes mínimos necesarios para hacer un Servidor DataSnap:

TDSServer: Administra la creación y el tiempo de vida del Transportador y la Clase del Servidor.

TDSServerClass: Componente utilizado para especificar la clase del lado del servidor que tiene métodos publicados que pueden ser invocados remotamente desde el cliente.

TDSTCPSTransport: Componente basado en Socket para el transporte de la comunicación del DSServer.

Interfaz de usuario del servidor de aplicaciones.

Las aplicaciones para los clientes tanto de escritorio como móviles requieren necesariamente de el servidor de aplicaciones o conocida también como capa de aplicaciones. Esta aplicación permite conectarse directamente a la base de datos y además ofrecer algunos servicios adicionales como de sincronización global. de todo el sistema.

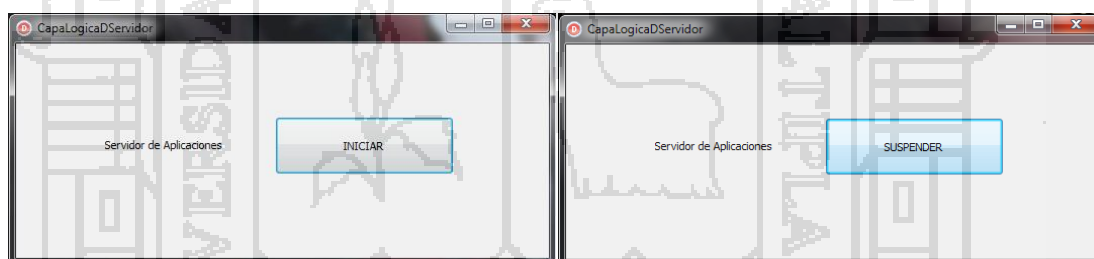


Figura 29. Visualización de la interfaz del servidor de aplicaciones en sus dos estados.

4.1.3.3 Creación de la base de datos

Para poder llevar un control detallado y preciso de un proceso es necesario observar su evolución en el tiempo. Para tal fin la aplicación cuenta con la habilidad de guardar datos cronológicamente ordenados al sólo fin de recrear una situación pasada en un tiempo futuro.

El almacenamiento se realiza en una base de datos relacional FIREBIRD en su versión SUPERSERVER. Sin embargo, se provee una interfaz para poder realizar consultas a los datos ya almacenados empleando sentencias del estándar SQL desde

alguna aplicación externa al sistema. Previamente instalado el gestor de datos, se creó una base de datos llamada SisMultiDB, que contiene los datos del sistema en tres tablas: una tabla de administradores, una tabla de usuarios y una tabla por cada proceso a controlar.

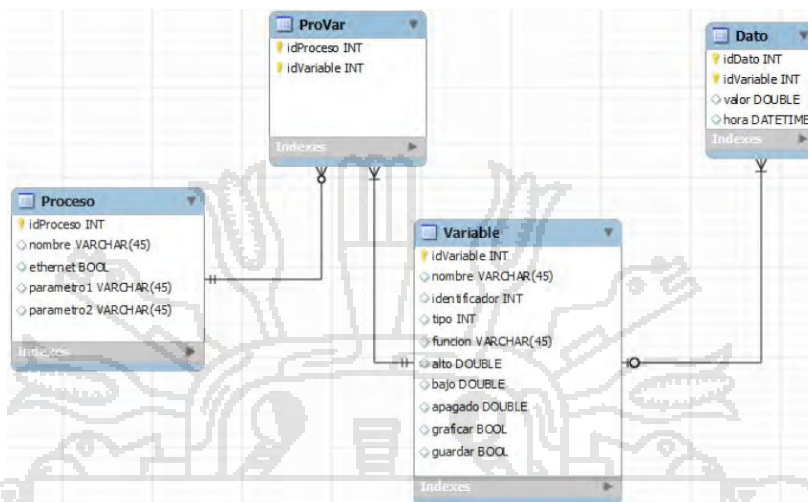


Figura N° 30 Modelo relacional de las tablas contenidas en base de datos

Se configuran los datos de conexión en el sistema, con nombre “SisMultiDB”, que será el que almacene los datos de la conexión y se crea el archivo SisMultiDB.FDB que corresponde al nombre de la base de datos para el almacenamiento de las variables.

Las tablas están relacionadas de acuerdo al nivel de accesibilidad que tiene y debería de cumplir el sistema distribuido y teniendo cuidado principalmente en la seguridad del sistema en su conjunto.

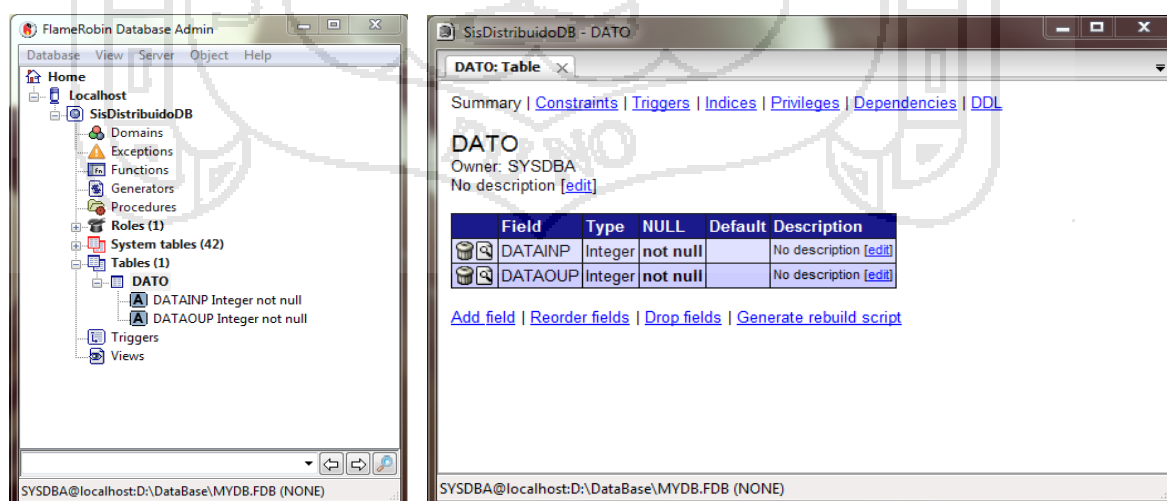


Figura N° 31 Base de datos vista desde el IDE FIREBIRD

4.1.3.4 Servicios REST

REST (Representational State Transfer) es un estilo de arquitectura para desarrollar servicios. Los servicios web que siguen este estilo tienen como eje principal las siguientes premisas.

Sin estado: Son servicios web que no mantienen estado asociado al cliente. Cada petición que se realiza a ellos es completamente independiente de la siguiente. Todas las llamadas al mismo servicio serán idénticas.

Arquitectura en Capas: Todos los servicios REST están orientados hacia la escalabilidad y un cliente REST no será capaz de distinguir entre si está realizando una petición directamente al servidor, o se lo está devolviendo un sistema de caches intermedio o por ejemplo existe un balanceador que se encarga de redirigirlo a otro servidor.

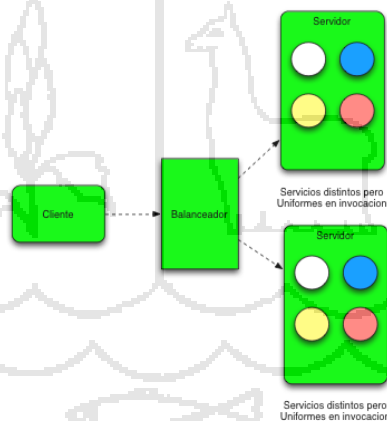


Figura N° 32 arquitectura en capas

4.1.4 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN O RED DE DATOS

La red implementada es muy aproximado al tipo Peer to Peer, esta arquitectura brinda un mejor acceso al sistema, a la planta, a la base de datos, aumentando incluso la disponibilidad y la velocidad de proceso del sistema en su conjunto.

Implementamos la arquitectura basados en el estándar IEEE 802.3 para Ethernet y 802.11 para Wireless LAN. Los materiales o quipos utilizados son: Un router de la

marca TP-Link, cable cat5e, tres computadoras de diferentes plataformas (32bits, 64bits), y un dispositivo móvil Sony Xperia Z3.

Configuramos la red LAN que nos permite conectar las computadoras personales y dispositivos móviles de forma cableada y e inalámbricamente con el nombre de RED: REDSISMULT y las respectivas IPs empezando de 192.168.0.1 del router y a partir de 192.168.0.2 para los clientes. Para garantizar la comunicación realizamos pruebas de conexión de los múltiples dispositivos conectados a la red.

Consideraciones necesarias

Existen factores de compatibilidad que deben ser tenidos en cuenta en el momento de agregar nuevos equipos a una red, o reemplazar alguno ya existente. La selección del estándar adecuado permite delinear el camino a seguir en el momento de la adquisición, reemplazo o expansión de componentes de la red, que obedece básicamente a que equipos adquirir en cuanto a sus requerimiento mínimos de los dispositivos móviles y seleccionar el estándar de tecnología inalámbrica correcto, basado en el análisis de las necesidades y las opciones de mercado.

Características sobresalientes de IEEE 802.11 a.

Éste estándar de nueva tecnología no goza de tanta popularidad como IEEE 802.11 b. Existen pocos dispositivos que incorporan a éste estándar como opción de fábrica, como así tampoco existen periféricos de uso masivo que permitan su implementación. Principalmente por tal motivo los productos para implementar éste estándar son relativamente más caros comparados con los periféricos necesarios para implementar una red con IEEE 802.11 b. Ofrece una velocidad de transferencia de datos cinco veces mayor que IEEE 802.11 b, llegando a los 54 Mbps. Pero tiene un rango de alcance más limitado que IEEE 802.11 b. Típicamente responde al rango entre los 7.5 y 22 metros (25 a 75 ft) en ambientes interiores. Trabajando en la frecuencia de los 5 GHz

goza de los privilegios de una banda que, por el momento, no es empleada masivamente por dispositivos domésticos y de oficina, con lo cual puede coexistir con redes y dispositivos que trabajen en la banda de los 2.4 GHz sin interferencias.

En realidad la compatibilidad se logra disminuyendo la velocidad de transferencia a 11 Mbps para que coincida con la de IEEE 802.11 b. Normalmente operando a 54 Mbps, lo que algunos fabricantes llaman «Modo Turbo», las tarjetas adaptadoras tiene opción manual o automática para cambiar de velocidad. Sin embargo, desde el punto de vista de un ruteador o punto de acceso que administre una red inalámbrica con IEEE 802.11 g compatible con IEEE 802.11 b, puede suceder que la conexión de un equipo IEEE 802.11 b a 11 Mbps haga que toda la red pase de funcionar de los 54 Mbps de IEEE 802.11g a los 11 Mbps que requiere el estándar anterior, llevando en consecuencia al bajo rendimiento y desempeño de toda la red. Por tal motivo es recomendable, siempre que sea posible, la re-configuración del ruteador o punto de acceso para que sólo acepte conexiones de equipos con IEEE 802.11 g.

4.1.5 APLICACIONES DE CONTROL Y SUPERVISIÓN

Una de las características de nuestro sistema es ofrecer al usuario, una manera de gestionar, monitorear, supervisar, controlar y tener acceso a la información de algún proceso; de una manera ágil, intuitiva y amigable, desde algún dispositivo conectado a la red de manera cableada e inalámbrica. Esta tarea se lleva a cabo gracias al software de aplicación específicos desarrollados para este fin.

Para diseñar las aplicaciones de control y supervisión, necesitamos previamente los modelos discretos de nuestro sistema dinámico a controlar y de los algoritmos de control que pretendemos aplicar. En nuestro caso, requerimos el modelo discreto de la ecuación lineal 3.15 y 3.16 además del modelo discreto del algoritmo de control PID y el

modelo discreto del FILTRO PASA BAJO, todo ello con el objetivo de crear funciones que procesen la señal con estos algoritmos.

a) Discretización del sistema dinámico

Discretizamos el modelo dinámico con los métodos matemáticos pertinentes. Para discretizar la ecuación en espacio de estados vectorial del sistema expresada por las ecuaciones 3.13 y 3.14, Partimos de la definición de la derivada de una función, adecuada a la señal $h(t)$ de nuestro sistema:

$$\frac{\partial h(t)}{\partial t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{h(t+\Delta t) - f(t)}{\Delta t} \quad (3.15)$$

$$\frac{\partial h(t)}{\partial t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{h(t) - f(t-\Delta t)}{\Delta t} \quad (3.16)$$

Por continuidad, en cualquier punto en el cual $h(t)$ es diferenciable, las definiciones 3.15 y 3.16 producen exactamente el mismo resultado, por lo tanto podemos usar indistintamente estas definiciones de acuerdo a nuestros requerimientos. Una derivada en tiempo continuo puede aproximarse por medio de una diferencia finita en el tiempo discreto o simplemente una resta de dos valores puntuales a partir de: $\frac{h((n+1)\Delta t) - h(n\Delta t)}{\Delta t}$ esta ecuación es conocida como una diferencia hacia adelante, entonces:

$$\frac{\partial h(t)}{\partial t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{h(t+\Delta t) - f(t)}{\Delta t} \cong \frac{h((n+1)\Delta t) - h(n\Delta t)}{\Delta t} \quad (3.17)$$

La ecuación 3.17 nos indica que en cada punto de continuidad de $h(t)$ es la misma que en $h(n\Delta t)$, debemos tener en cuenta que en el límite cuando Δt tiende a cero, las definiciones 3.15 y 3.16 son iguales, pero en tiempo discreto Δt es fijo y no es cero y la aproximación de la ecuación 3.17 a una derivada en tiempo continuo son en general diferentes.

Por simplicidad, convenimos la igualdad $h[n] = h(n\Delta t) = h(nT_s)$, los paréntesis cuadrados distinguen a una función de tiempo discreto de una función de tiempo continuo. En la notación $h[n]$, el tiempo no se indica de manera explícita, puesto

que el tiempo entre valores en tiempo discreto consecutivos de la función h siempre es Δt que es lo mismo que el tiempo fijo y constante entre muestras denotado por T_s , por ello es que no se necesita indicar el tiempo en forma explícita. Entonces.

$$\frac{h((n+1)\Delta t) - h(n\Delta t)}{\Delta t} = \frac{h[n+1] - h[n]}{T_s} \quad (3.18)$$

$$\frac{\partial h(t)}{\partial t} \cong \frac{h[n+1] - h[n]}{T_s} \quad (3.19)$$

Reemplazando el resultado de la ecuación 3.19 y la igualdad $h[n] = h(n\Delta t)$ en la ecuación 3.13, obtenemos:

$$\frac{h[n+1] - h[n]}{T_s} = -\frac{\sqrt{2gA_{ou}}\sqrt{h_{ref}}}{2A h_{ref}} h[n] + \frac{1}{A} Q_{in}[n] \quad (3.20)$$

$$h[n+1] = h[n] - \frac{T_s\sqrt{2gA_{ou}}\sqrt{h_{ref}}}{2A h_{ref}} h[n] + \frac{T_s}{A} Q_{in}[n] \quad (3.21)$$

El resultado expresado en la ecuación 3.21, es la representación dinámica lineal en tiempo discreto del sistema. Para que esta pueda ser llevada a código pascal en Delphi, en necesario expresar el caudal de entrada al tanque $Q_{in}[n]$ en términos del voltaje de entrada v_{in} en la bomba de agua o en términos de la señal de control de la bomba de agua y la ganancia de la bomba K_p .

$$Q_{in}[n] = K_p v_{in}[n] \quad (3.22)$$

Finalmente, reemplazamos la ecuación 3.22 en la ecuación 3.21 para tener una ecuación fácil de implementar en código de cualquier lenguaje, entonces tenemos como ecuación final:

$$h[n+1] = h[n] - \frac{T_s\sqrt{2gA_{ou}}\sqrt{h_{ref}}}{2A h_{ref}} h[n] + \frac{T_s}{A} K_p v_{in}[n] \quad (3.23)$$

b) Discretización del filtro pasa bajos

Implementamos la función del filtro pasa bajo digital para eliminar el ruido de la señal de nivel adquirida con el dispositivo DAQ. Para ello, diseñamos un filtro ideal a

partir del modelo de un filtro pasa bajo analógico expresado en la siguiente función de transferencia:

$$h(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{1}{T_f s + 1} \quad (3.24)$$

Donde T_f es la constante de tiempo del filtro, $u(s)$ es la entrada del filtro y $y(s)$ es la salida del filtro. Despejando y llevándolo al tiempo continuo se tiene:

$$(T_f s + 1)y(s) = u(s) \quad (3.25)$$

$$T_f s y(s) + y(s) = u(s) \quad (3.26)$$

$$T_f \frac{\partial y(t)}{\partial t} + y(t) = u(t) \quad (3.27)$$

A partir de la definición de limite y por medio de una diferencia finita en el tiempo discreto o a partir de: $\frac{y(n\Delta t) - y((n-1)\Delta t)}{\Delta t}$ ecuación conocida como una diferencia hacia atrás, y considerando la igualdad $y[n] = y(n\Delta t)$ se tiene entonces:

$$\frac{\partial y(t)}{\partial t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{y(t) - y(t - \Delta t)}{\Delta t} \cong \frac{y(n\Delta t) - y((n-1)\Delta t)}{\Delta t} \quad (3.28)$$

$$\frac{\partial y(t)}{\partial t} \cong \frac{y[n] - y[n-1]}{T_s} \quad (3.29)$$

Donde T_s es el tiempo de muestreo. Reemplazando la ecuación 3.29 en 3.27.g

$$T_f \frac{\partial y(t)}{\partial t} + y(t) = u(t) \quad (3.30)$$

$$T_f \frac{y[n] - y[n-1]}{T_s} + y[n] = u[n] \quad (3.31)$$

$$y[n] = \frac{T_f}{T_f + T_s} y[n - 1] + \frac{T_s}{T_f + T_s} u[n] \quad (3.32)$$

Es una regla muy importante, considerar $T_s \ll T_f$. En la práctica esta regla se aplica generalmente de la siguiente manera:

$$T_s \leq \frac{T_f}{5} \quad (3.33)$$

La ecuación 3.32 es la ecuación discreta para el filtro digital pasa bajo, con esta ecuación creamos la función en código pascal de Delphi para el filtro digital. Esta función la usamos para procesar la señal que viene del dispositivo de adquisición de datos. Esta nueva señal filtrada y útil, la almacenamos en el servidor de base de datos por medio de la interfaz de Delphi y el gestor de base de datos FIREBIRD en una tabla creada especialmente para estos datos denominada DATO.

c) Discretización del algoritmo de control PID

En código pascal implementamos la función del algoritmo de control PID para sustituir el control manual con un controlador que haga el trabajo por nosotros de forma automática, digital y hasta inteligente. Para esto necesitamos el modelo en tiempo discreto de este algoritmo, partimos entonces del modelo del controlador PID estándar en el tiempo descrito como:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e \, dt + K_p T_d \frac{\partial e(t)}{\partial t} \quad (3.34)$$

$$\frac{\partial u(t)}{\partial t} = K_p \frac{\partial e(t)}{\partial t} + \frac{K_p}{T_i} \frac{\partial (\int_0^t e \, dt)}{\partial t} + K_p T_d \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial e(t)}{\partial t} \quad (3.35)$$

$$\frac{\partial u(t)}{\partial t} = K_p \frac{\partial e(t)}{\partial t} + \frac{K_p}{T_i} e(t) + K_p T_d \frac{\partial e(t)^2}{\partial t} \quad (3.36)$$

$$\frac{u[n] - u[n-1]}{T_s} = K_p \frac{e[n] - e[n-1]}{T_s} + \frac{K_p}{T_i} e[n] + K_p T_d \frac{e[n] - 2e[n-1] + e[n-2]}{(T_s)^2} \quad (3.37)$$

$$u[n] - u[n-1] = K_p (e[n] - e[n-1]) + \frac{K_p T_s}{T_i} e[n] + \frac{K_p T_d}{T_s} (e[n] - 2e[n-1] + e[n-2]) \quad (3.38)$$

$$u[n] = u[n-1] + (K_p + \frac{K_p T_s}{T_i} + \frac{K_p T_d}{T_s}) e[n] - (K_p + \frac{2K_p T_d}{T_s}) e[n-1] + (\frac{K_p T_d}{T_s}) e[n-2] \quad (3.39)$$

$$u[n] = u[n-1] + K_1 e[n] + K_2 e[n-1] + K_3 e[n-2] \quad (3.37)$$

Donde:

$$K_1 = K_p + \frac{K_p T_s}{T_i} + \frac{K_p T_d}{T_s}$$

$$K_2 = -K_p - \frac{2K_p T_d}{T_s}$$

$$K_3 = \frac{K_p T_d}{T_s}$$

4.1.5.1 IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ DE USUARIO

Con el programa Delphi en su versión XE6 creamos la interfaz de usuario para PCs y para poder compilar el programa en un dispositivo con plataforma Android o IOS utilizamos el programa Delphi XE7. El uso de una u otra versión podría ser indistinta para diferentes plataformas pero la versión XE6 lo usamos preferentemente para la adquisición de datos vía USB con un componente adicional que nos proporciona el PROYECTO JEDI que no está disponible para la versión XE7.

Para llevar a cabo la acción de control, escribimos la ecuación de la dinámica discreta de la planta en código pascal de Delphi y la procesamos la señal almacenada con las funciones de control PID discreto obtenidos a partir del modelo. Esto nos permite tener el monitoreo y control distribuido en los diferentes equipos que realizan esta tarea de forma independiente.

Entonces, con los modelos discretos obtenidos, empezamos a implementar las funciones en lenguaje de programación pascal de Delphi, el código es el siguiente:

```

Procedure TForm1.Timer1Timer(Sender: TObject);

var SP:real;
    NV:real;
    e,u,z:real;
begin
    SP := trackbar1.Position;
    NV := StrToInt(edit1.Text);

    e := SP-NV;
    u := 0.8*e+(0.8/15)*z;
    z := z+0.1*e;

    edit2.Text := FloatToStr(e);
    edit3.Text := Floattostr(u);
    edit4.Text := Floattostr(z);
    edit5.Text := Floattostr(SP);
end;

```

La ecuación en espacio de estado 3.37 obtenido a partir del modelado de la dinámica del sistema, con una frecuencia de $2(10)^{-5}$ la expresamos en código con el

objetivo de aplicar un algoritmo de control a la planta. Con las funciones de control PID y la ecuación matemática del filtro pasa bajos.

a) Interfaz de usuario para computadoras personales

Como medio interactivo con el usuario del sistema, diseñamos la interfaz de salida de monitor de la PC para presentar la información obtenida de los equipos, los mensajes de alarmas, las gráficas de tendencias de las variables del proceso objeto y valores estadísticos que afectan al mismo. Esta información se organiza en vistas dependientes y jerárquicas diseñadas y ordenadas por la aplicación. Estas reflejan el proceso objeto en un todo conjunto, como así también en vistas detalladas de determinadas etapas del proceso.

El tipo y el grado de información presentada en cada vista dependen del usuario que se encuentre frente al sistema. Por esto, el sistema debe administrar una suerte de perfiles de usuario para proveer a cada uno de ellos la información que le fue asignada por el desarrollador del sistema. Las vistas están restringidas a ciertos usuarios para asegurar la confidencialidad de la información sensible.

Suelen emplearse tecnologías de última generación para realizar vistas de tono oscuro para una mejor interacción del sistema y posibles casos de uso. En el caso de que la vista contemple la modificación de algún parámetro sensible del proceso por parte del operador, se suele solicitar una confirmación de la acción por parte de éste. Ya sea mediante el uso de firma electrónica o algún método de identificación confiable, trazable y auditable en el tiempo.

Para poder visualizar el proceso de control y seguimiento de señales se ha diseñado el programa que estarán encargado de dibujar los puntos de seguimiento con coordenadas de tiempo (eje x) y niveles de tensión (eje y).



Figura 33. Visualización de señales de control Señal de control y el SETPOINT

b) Interfaz de usuario para dispositivo celular

Preparando el dispositivo. primero instalamos el driver del equipo móvil, para ello ejecutamos el instalador proporcionado por el fabricante o copiamos esas librerías en la dirección: C:\Windows\System32.

en el teléfono móvil buscamos la opción: **numero de compilacion** en ajustes o en la opción acerca del teléfono (esto varía dependiendo a la versión de android instalado y las características de nuestro equipo móvil). hacemos 7 click en esa opción para que nos permita estar en modo programador. ya como desarrolladores habilitamos la opción de depuración de USB en opciones de desarrollo.

Interfaz del dispositivo celular. para el teléfono celular se diseñó un panel frontal compuesto también de pestañas, una de setpoint, otra de ganancias y una donde se muestre la salida de los PID. Para que no sea controlado el sistema desde dos puntos distintos, se deshabilitará el menú del control en la computadora al instante de ingresar los datos mediante el celular. Comenzando con el panel frontal, solo se deben colocar las pestañas e ingresar los controles, dos numéricos uno para cada setpoint, seis más para las ganancias de los PID, y por último las gráficas.



Figura 34. Visualización de los datos discretos de entrada, salida y el SETPOINT en la interfaz Móvil

4.1.5.2 FUNCIONES ADICIONALES DEL SISTEMA

a) **Notificaciones y alarmas**

El sistema realiza estas notificaciones generando un tipo especial de mensaje denominado «Alarma». Una alarma es una condición de un punto de la PDB el cual ha sobrepasado los límites prefijados para su rango normal de funcionamiento.

Por su naturaleza esta condición requiere: la notificación al usuario del sistema y luego el reconocimiento de él sobre la misma. De ésta manera el sistema se asegura que alguna persona ha sido correctamente informada de la situación anómala y se espera la corrección de la situación en el corto plazo.

b) **Programación de tareas**

Dependiendo de la naturaleza del sistema es deseable que el mismo reaccione frente a ciertas circunstancias del proceso objeto, denominadas éstas eventos, y realice alguna tarea previamente definida por el diseñador y acordada con los propietarios del sistema. Estas tareas responden a un esquema de programación basada en la detección de los eventos del sistema, o bien en el cumplimiento de un intervalo de tiempo determinado. Eventos como la detección de una falla, alcanzar un número determinado de alarmas o

situaciones anómalas, o el cumplimiento de una secuencia determinada suelen disparar una notificación sobre tal evento, de manera tal que el personal responsable sea debidamente notificado y así, tal vez, tomar alguna acción correctiva o simplemente ser notificado.

c) Generación de informes

Dentro de las finalidades más comunes de un sistema se encuentra la generación de informes del estado actual, historia y proyecciones de los valores más críticos para el éxito del proceso objeto. Para lograr tal fin el sistema cuenta con la posibilidad de acceder a sus datos de tiempo real, trabajar con datos colectados para propósitos de análisis históricos y proveer herramientas que permitan presentar el resultado del análisis a una interfaz determinada. Esta interfaz es el mismo monitor donde el operador interactúa con el sistema SCADA, así también una impresora de papel, de manera de obtener un informe escrito o gráfico del análisis requerido o puede tratarse de una aplicación externa al sistema que necesite nutrirse de la información del sistema para procesarla hacia otros niveles del sistema de gestión de información en su conjunto.

Para la generación de informes en pantalla se cuenta con objetos de características gráficas orientadas a la gráfica de valores en función del tiempo, en todas sus variantes y combinaciones más comunes, gráficos de confrontación de variables (gráficos tipo XY). También dispone de gráficos tradicionalmente estadísticos.

d) Integración con otras aplicaciones

es deseable que el sistema tome datos de aplicaciones externas y los vuelque al proceso o simplemente los muestre al operador del sistema. Tal es el caso del manejo de la producción mediante recetas. Éstas suelen involucrar varios parámetros que el sistema debe controlar, pero que varían según el proceso que el SCADA esté realizando. El concepto de receta es el mismo que una receta de cocina. Ciertos procesos ordenados durante determinados períodos de tiempo.

4.1.5.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS APLICACIONES INALÁMBRICAS

En éste punto es importante considerar la tendencia del mercado hacia el uso de éstos dispositivos y las expectativas de las compañías para los próximos años. Estas auguran una notable expansión del uso de redes con tecnología inalámbrica y dispositivos móviles, a medida que la industria proporcione mejores técnicas de seguridad que acompañen la evolución de la ciencia en éste campo. Se comprende mejor lo que pasa en el proceso y se mejora el funcionamiento con aplicaciones inalámbricas para: Monitorización del proceso y de los activos, Productividad del personal y Gestión de la planta.

Monitorización remota

Una vista segura hacia los equipos remotos permite ejecutar procedimientos predictivos que mejoran el funcionamiento y el mantenimiento.

Condición operativa de la maquinaria

La monitorización en línea de los equipos críticos garantiza que éstos sean fiables y evita incidentes catastróficos.

Medición

Detección de incrustaciones en el sensor o variaciones del proceso con tiempo para corregir el problema.

Equipo analítico

Los diagnósticos en línea alertan al usuario respecto a los sensores defectuosos y riesgos ambientales.

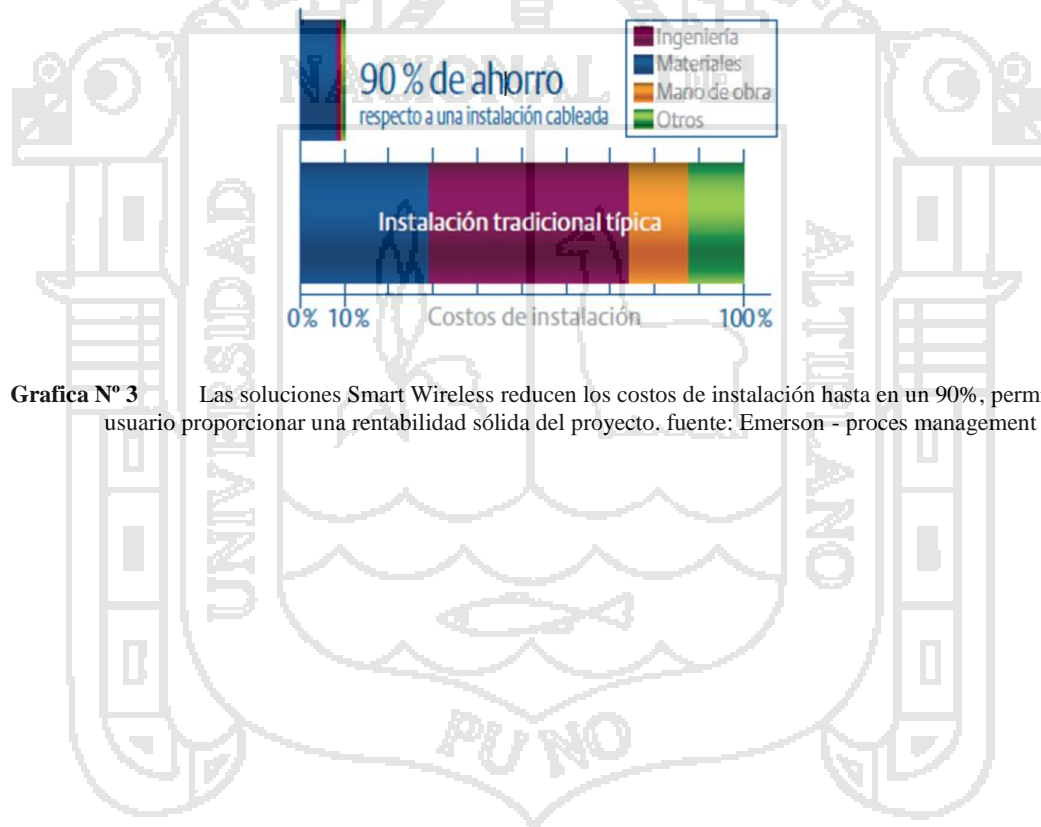
Sistemas de seguridad

Los sistemas integrados comprueban automáticamente todas las funciones del lazo de seguridad para que éste siempre esté listo.

Control final

Detección de sellos desgastados, vástago atascado o variaciones del proceso que pudieran ocasionar interrupción del servicio.

Se pueden tener tantos equipos inalámbricos como se desee, donde se desee. La arquitectura escalable requiere muy poca ingeniería y muy poco diseño y se puede implementar fácilmente



Grafica N° 3 Las soluciones Smart Wireless reducen los costos de instalación hasta en un 90%, permitiendo al usuario proporcionar una rentabilidad sólida del proyecto. fuente: Emerson - proces management

4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo a los experimentos desarrollados y las características generales de un sistema distribuido tenemos los siguientes resultados.

4.2.1 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS EN FLEXIBILIDAD

El muestreo es distinto en cada cliente. Tenemos tres aspectos que considerar:

Muestreo directo de la señal

La señal obtenida es altamente fiable. Considerando incluso el medio de transmisión USB

Muestreo de la aplicación cliente conectado en la red vía cable Cat5e

La señal obtenida es altamente fiable pero con alguna concurrencia de ruido, pero esto aplicando el filtro digital pasa bajo hace que la señal sea altamente fiable.

Muestreo de la aplicación cliente conectado a la red vía WI-FI

La señal obtenida es medianamente fiable. Eso debido a que los sistemas inalámbricos están expuestos al ruido existente en el medio que se transmite.

4.2.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS EN EFICIENCIA

Consideramos el muestreo cableado e inalámbrico y la correlación que tiene con la señal original. Encontramos dos aspectos:

Tiempo de respuesta mediante la acción de control vía cable Cat5e

El resultado muestra una alta correlación y en un tiempo óptimo.

Tiempo de respuesta mediante la acción de control vía WI-FI

El resultado muestra una mediana correlación y en un tiempo óptimo

4.2.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS EN ROBUSTEZ

Tenemos dos observaciones:

Con el reservorio encendido

En el punto de estacionario

El sistema se adecua óptimamente a la señal, manteniéndose esta mediante la acción de control.

En estados de error

Si la planta está por encima de su capacidad, el sistema simplemente se apaga. Esto requiere de alguna solución mecánica.

Si el sistema está por debajo del nivel de censado, sin capacidad de accionar el actuador. El actuador sigue prendido, lo que accionamos el control de otro modo: periódico

Con el reservorio apagado

El sistema inicia en modo periódico

4.2.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS EN SEGURIDAD

La acción más aceptable es la encriptación mediante la programación. Para ello consideramos:

El nombre del sistema: Consideramos las iniciales de control y supervisión multiplataforma en orden aleatorio.

El nombre del cliente: Las iniciales de los apellidos del cliente

El grado del cliente: Acción que puede ejecutar a la que está autorizado

CONCLUSIONES

Primera conclusión: Los dispositivos diseñados e implementados para el censado y lectura de nivel, satisfacen de forma óptima las necesidades requeridas del sistema, haciendo que el sistema de control digital pueda enviar la señal de control de acuerdo al error calculado. Además, a un periodo de muestreo de 5ms que duplica el valor normal aceptado en las industrias y soportado por los componentes utilizados aseguramos la mayor fiabilidad y eficiencia de todo el sistema.

Segunda conclusión: Todas las aplicaciones requeridas por el sistema, es decir: el programa de base de datos, el programa servidor de aplicaciones y los programas cliente para diferentes plataformas nos permiten trabajar de manera óptima y en tiempo real. Pero, encontramos una limitante a la hora de trabajar con valores en formato hexadecimal y en formato de ocho (8) bits, los valores que nos proporciona por defecto el dispositivo DAQ cuando se trabaja con la interfaz USB-HID leídos directamente no son exactos, para solucionar este inconveniente simplemente lo trabajamos con algo más de código mediante el lenguaje Pascal.

Tercera conclusión: Las pruebas realizadas de acuerdo al plan de experimentación, y principalmente en cuanto a control y supervisión tanto cableado e inalámbrico, demostraron que el sistema en su conjunto, no solamente cumple con las funciones programadas, sino que además, nos hace notas que los dispositivos utilizados y toda la tecnología hoy accesible a la gran mayoría de la población, puede tener un uso realmente industrial sin mucho presupuesto.

Cuarta conclusión: Durante el proceso de desarrollo, identificamos tres aspectos fundamentales en la implementación de un sistema de control y supervisión: los dispositivos de procesamiento de la planta y de computación, el software de aplicación y la infraestructura de comunicaciones. Pero de acuerdo al modelo de comunicación

multicapas (servidor de datos, servidor de aplicaciones y la interfaz para distintos clientes) agregada al sistema, obtenemos una mejor interacción y mayor flexibilidad de entre los usuarios y el sistema. Además, proporcionándonos una mejor gestión en el ancho de banda y flexibilidad para base de datos distribuidos.

Quinta conclusión: El dispositivo de muestreo y adquisición de datos es fiable de acuerdo al código que grabemos en el PIC, pero no es determinante. Depende mucho de la frecuencia de muestre, en el PIC y del muestreo que realiza el programa de aplicación del cliente y de las características del dispositivo que se muestra como cliente.

Sexta conclusión: La tarea de control y supervisión de forma cableada e inalámbrica no son similares. Puesto que se obtuvo algún desfase de la señal más amplio en la señal inalámbrica.

Séptima conclusión: Los equipos, materiales y arquitecturas utilizadas determinan contundentemente la robustez del sistema en su conjunto. Exceptuando el ruido que se procesa con la señal, puesto que el filtro es de gran ayuda para una señal digital altamente fiable.

Octava conclusión: La conclusión más importante de este proyecto de investigación y de acuerdo a los resultados obtenidos por medio de la implementación y experimentación es que el sistema en su conjunto tiene un alto potencial en cuanto ofrecer prestaciones de flexibilidad, eficiencia, robustez y seguridad.

SUGERENCIAS O RECOMENDACIONES

Primera sugerencia: Es necesario mejorar el sistema mecánico de la planta para que esta pueda responder en algún punto en el que el sistema no pueda responder considerando las herramientas tecnológicas aplicadas.

Segunda sugerencia: La acción de control distribuida se adecua de acuerdo al tipo de planta que se controla.

Tercera sugerencia: Para clientes con plataforma móvil o Smartphone, programar la interfaz aún más sencilla y de acuerdo a necesidades específicas.

Cuarta sugerencia: Delphi tiene el soporte técnico y profesional de embarcadero. Pero existen herramientas de programación profesional de licencia libre y código abierto similares a Delphi. El programa que sugiero utilizar y programar nuestras aplicaciones es Python administrado por la Python Software Foundation, y para Smartphone Eclipse soportado por la Fundación Eclipse de IBM. Con el objetivo de desarrollar programas totalmente licenciadas sin ningún costo y con un relativo profesionalismo.

Quinta sugerencia: Desarrollar un dispositivo que nos permita la adquisición de datos mediante el protocolo TCP/IP, aumentaría exponencialmente las prestaciones del sistema. Esto se puede desarrollar también con el PIC 18F4550 o algún otro microcontrolador que nos permita esta comunicación de forma más simple.

Sexta sugerencia: Es importante hacer las cosas por nuestra cuenta, o dicho de otra manera metiendo la mano al barro, desde lo fundamental, manejar las cosas a pedal y de esa manera garanticemos nuestro aprendizaje y crecimiento profesional, después podemos migrar a otros programas esto cuando sepamos lo que hacemos. Reflexionemos un momento en nuestro aprendizaje o dependencia.

Séptima sugerencia: Como propuesta para una mayor seguridad podría utilizarse un dispositivo de mano que incluya un lector de códigos de barras de tecnología láser. El lector reconocería un código estampado sobre una unidad determinada y el sistema le proporcionaría información en tiempo real de la unidad que tiene frente a él.



BIBLIOGRAFÍA

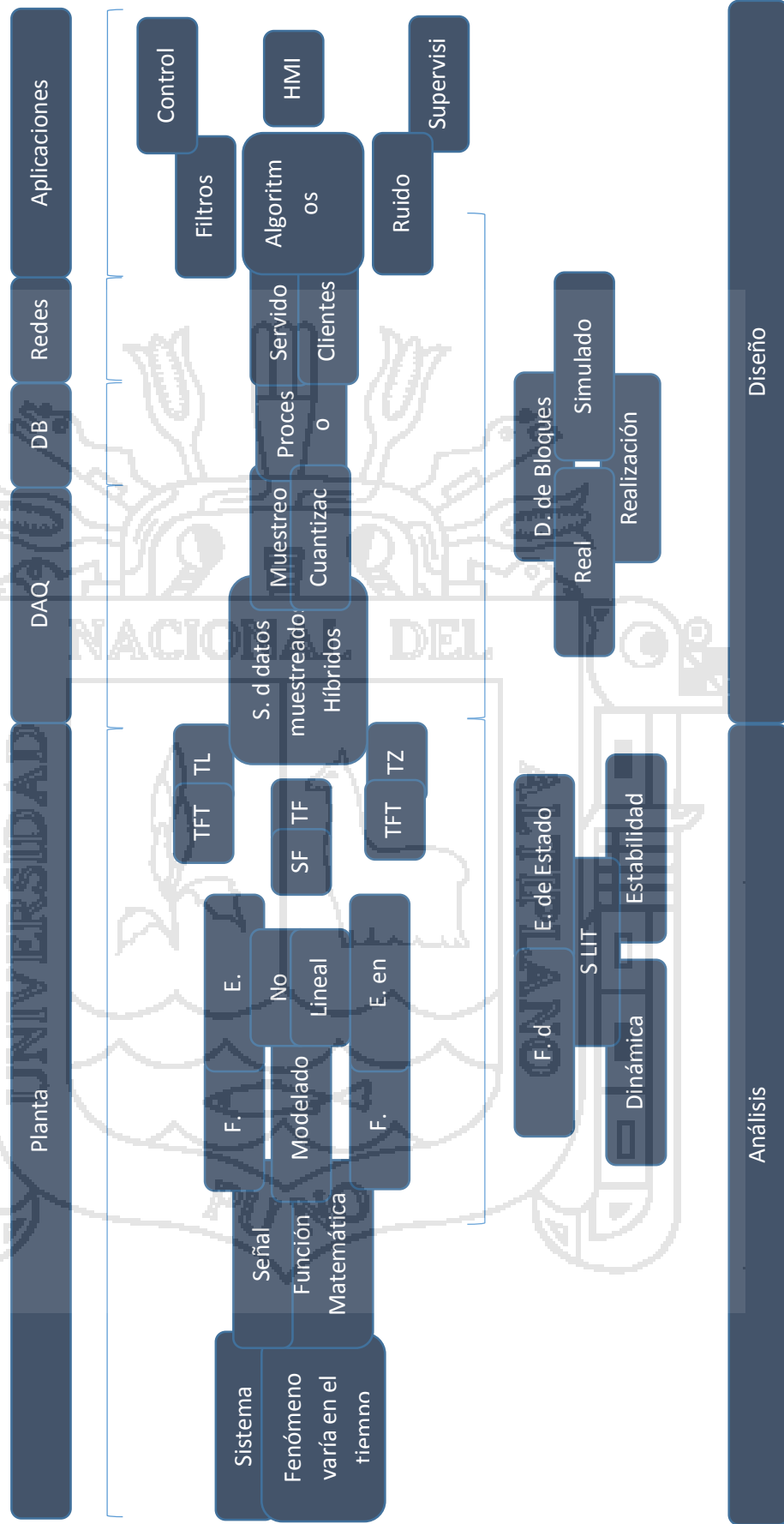
- Guzmán Solano, Carlos Alejandro. (2011). “Diseño De Sistemas Scada Con Conexión A Base De Datos, Visualización Y Control En Dispositivos Móviles”, (Tesis inédita de maestría), Universidad De San Carlos, Guatemala.
- Aguirre Zapata, David (2013) Desarrollo de un sistema SCADA para uso en pequeñas y medianas empresas. (Tesis Inédita) Universidad de Piura, Área Departamental de Ingeniería Industrial y de Sistemas.
- Coral, Germán Mauricio. Amaury Rojas, Oscar & Campos, Fernando A. (2010) Sistema de control y supervisión industrial multiplataforma. (Tesis Inédita). Grupo en Automática Industrial, Universidad del Cauca.
- Cázares Ayala, Gerardo. Sallas Armenta, Jesús. Castillo Meza, Hugo. Rodriguez Beltran, Antonio. Lugo Zavala, Sócrates & Ramirez Montenegro, Miguel. (2014) Sistema de control inalámbrico: diseño, construcción y aplicación en caldera industrial (trabajo de investigación). El Fuerte, México, Universidad Autónoma Indígena de México
- Dogan Ibrahim, (2007). Advanced pic microcontroller projects in C: from USB to ZIGBEE with the PIC 18F series. Oxford. Elsevier. Printed in the United States of America. doi: 978-0-7506-8611-2
- Roberts, Michael J. (2005). Señales y Sistemas – análisis mediante métodos de transformada y MATLAB. Mexico. McGraw-Hill Interamericana editores.
- Gallo, Michael A., Hancock, William M. (2002). Comunicación entre computadoras y tecnologías de redes. Mexico. Thomson Editores
- Fastqc, Andrews S., (2010). A quality control tool for high throughput sequence data.
- Gomariz, Espartacus. Viel, Domingo. Jose, Matas. Miguel, Reyes. (1998). Teoría de control – diseño electrónico. Barcelona. Alfaomega, editores UPC.
- Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial 00 (2011) 1–8.
Aplicaciones Exitosas de Control Inteligente a Casos Reales

- Kuo, Benjamín C. (2006). “SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO”. México. Edit. Prentice Hall.
- Luis Eduardo, Garcia Jaimes. (2009). “CONTROL DIGITAL, TEORÍA Y PRACTICA”. Medellin. Edit. Prentice Hall.
- Ogata, Katsuhiko. (1996). “SISTEMAS DE CONTROL EN TIEMPO DISCRETO”, Mexico, seg. edit., Prentice Hall Hispanoameicana, S.A.
- Barrientos, Antonio. (1997). “FUNDAMENTOS DE ROBÓTICA”. Madrid - España. Edit. McGraw-Hill.
- Acebal, Mariño. (1995). “TRATAMIENTO DIGITAL DE LA SEÑAL - UNA INTRODUCCIÓN EXPERIMENTAL”. Barcelona, José B., Edit. UPC.
- Meeus, Jean. (2005). “ASTRONOMICAL ALGORITHMS”. EE.UU. Editorial Willmann-Bell Seg. Edit.
- Bolton, W. (2001). “MECATRÓNICA – SISTEMAS DE CONTROL ELECTRÓNICO EN INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA”, Barcelona, Seg. Edit., Edit. Alfaomega.
- Ricardo Hernández Gaviño. (2010). “Introducción a los sistemas de control: conceptos, aplicaciones y simulación con MATLAB”, Mexico, Edit. Prentice Hall, Primera edición.
- Lafuente, Alberto. (2011). Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores Facultad de Informática de San Sebastián Universidad del País Vasco. Recuperado de <http://www.sc.ehu.es/acwlaroa/SDI/>
- Tam Malaga, Jorge. Vera, Giovanna. Oliveros Ramos, Ricardo (2008). “Tipos, métodos y estrategias de investigación científica”. PERÚ. Universidad Ricardo palma – escuela de posgrado – maestría en ecología y gestión ambiental.
- Aracil, Javier. Gordillo, Francisco. (1997). “Dinámica de sistemas”. Madrid. Alianza Editorial, S.A.



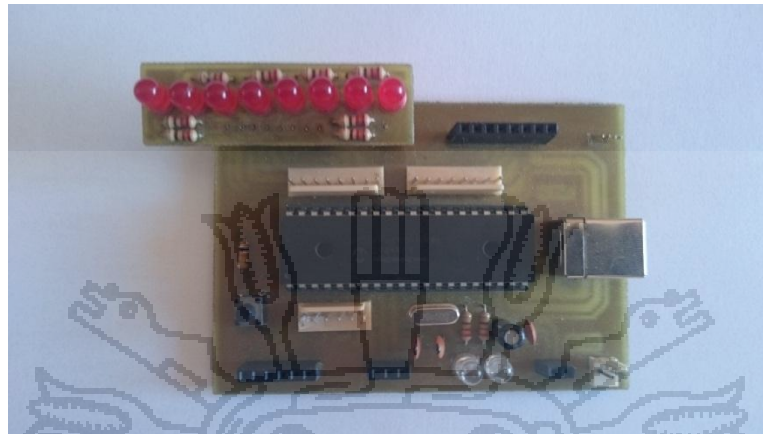
PROYECTO

(Gráfica de acuerdo a la teoría enfocada al proceso de implementación)

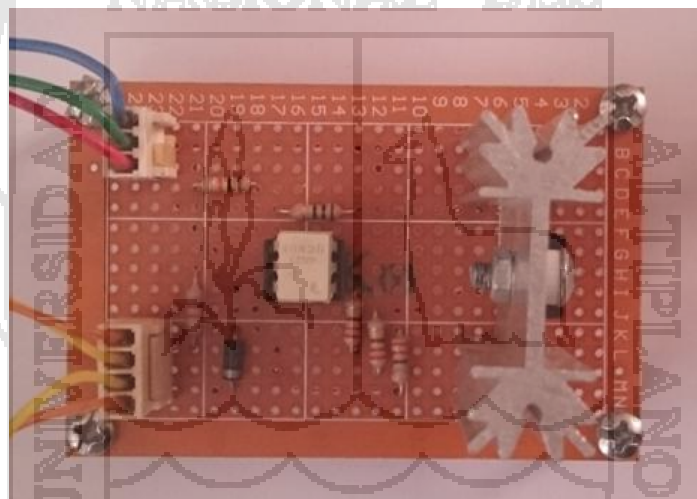


CIRCUITOS DISEÑADOS PARA EL CENSADO DE NIVEL

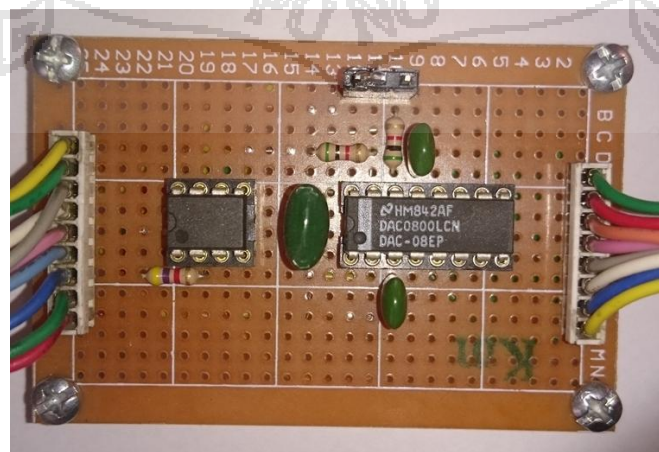
a) **Dispositivo DAQ**



b) **Dispositivo de potencia**



c) **Dispositivo DAC de 8 bits**



COMPONENTE UTILIZADO PARA PROGRAMAR EL CONTROLADOR

