

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

**PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DEL “CANAL
HIDRODINÁMICO DE PENDIENTE VARIABLE” DEL CENTRO DE
INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS EN RECURSOS HÍDRICOS
(CIERHI)**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

MARÍA DE LAS MERCEDES RICAURTE SANTANA

JUAN CARLOS RIVERA ASTO

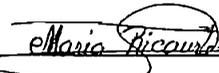
DIRECTOR: ING. JORGE MOLINA

Quito, enero de 2003

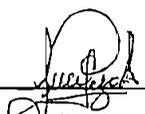
DECLARACIÓN

Nosotros, María de las Mercedes Ricaurte Santana y Juan Carlos Rivera Asto, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



María Ricaurte Santana



Juan Carlos Rivera Asto

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por María de las Mercedes Ricaurte Santana y Juan Carlos Rivera Asto, bajo mi supervisión.



Ing. Jorge Molina
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

De manera muy especial al
Sr. Ing. Jorge Molina por su acertada
dirección en este proyecto de titulación.
Al Sr. Ing. Ciro Menendez por su colaboración
en la elaboración del presente trabajo.
y a la Facultad de Ingeniería Eléctrica
de la Escuela Politécnica Nacional.

María Ricaurte Santana
Juan Carlos Rivera Asto

DEDICATORIA

A mis padres por su sacrificio
y esfuerzo que me permitieron
culminar mis estudios universitarios.

A mis hermanos por su ayuda,
y su comprensión en todo momento.

A mis amigos por su apoyo

Juan Carlos Rivera Asto

CONTENIDO

RESUMEN

PRESENTACIÓN

CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO Y DEFINICIONES BÁSICAS	3
1.1 ANTECEDENTES.....	3
1.2 REQUERIMIENTOS DEL CIERHI PARA EL APROVECHAMIENTO ÓPTIMO DEL CANAL HIDRODINÁMICO.....	5
1.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	5
1.4 ALCANCE DEL PRESENTE TRABAJO.....	7
1.5 DEFINICIONES.....	8
1.5.1 <i>Fluido</i>	8
1.5.1.1 Propiedades de los fluidos.....	9
1.5.2 <i>Canal hidráulico</i>	11
1.5.3 <i>Sedimentos</i>	14
1.5.3.1 Turbidez.....	14
1.5.3.2 Transporte del fondo.....	14
1.5.3.3 Sedimentos en Suspensión.....	15
1.5.4 <i>Caudal</i>	15
1.5.4.1 Unidades de medida.....	17
1.5.5 <i>Nivel de agua</i>	17
1.5.5.1 Unidades de medida.....	18
1.5.6 <i>Presión</i>	18
1.5.6.1 Unidades de medida.....	21
CAPÍTULO 2. ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	23
2.1 MEDICIÓN DE NIVEL.....	26
2.1.1 <i>Instrumentos de medida directa</i>	27
2.1.2 <i>Aparatos que miden el nivel aprovechando la presión hidrostática</i>	27
2.1.3 <i>Medición de nivel aprovechando el empuje producido por el propio líquido</i>	28
2.1.4 <i>Instrumentos que utilizan características eléctricas del líquido</i>	28
2.1.5 <i>Selección del sensor</i>	29
2.1.5.1 Características de las variables a ser medidas.....	30
2.1.5.2 Características físicas del sistema.....	30
2.1.5.3 Ambiente de trabajo.....	31
2.1.5.4 Costo.....	31

2.1.5.5	Disponibilidad.....	31
2.1.5.6	Fiabilidad.....	32
2.1.6	<i>Características del sensor de ultrasonido.....</i>	32
2.1.7	<i>Sensor de nivel luc4.....</i>	33
2.2	MEDICIÓN DE PRESIÓN	34
2.3	MEDICIÓN DEL CAUDAL	35
CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN Y ESPECIFICACIONES DEL HARDWARE UTILIZADO.....		39
3.1	CONTROL DE MOVIMIENTO DE LA ESTACIÓN MÓVIL.....	39
3.1.1	<i>Variador de frecuencia.....</i>	41
3.1.2	<i>Aplicaciones típicas de los variadores de frecuencia.....</i>	43
3.1.3	<i>Selección del variador de frecuencia.....</i>	44
3.1.4	<i>Convertidor de frecuencia microline.....</i>	44
3.1.5	<i>Motoreductor.....</i>	56
3.1.6	<i>Selección del Motoreductor.....</i>	56
3.1.7	<i>Motoreductor E513.....</i>	54
3.1.8	<i>Circuito de Inversión de giro del Motoreductor.....</i>	56
3.1.9	<i>Fuentes de Alimentación 5 y 12 V.....</i>	56
3.2	CONTROL DE LA VÁLVULA QUE REGULA EL FLUJO DE AGUA QUE INGRESA AL CANAL.....	58
3.2.1	<i>Actuadores.....</i>	59
3.2.2	<i>Selección del Actuador eléctrico.....</i>	60
3.2.3	<i>Características eléctricas del Actuador Serie 2000.....</i>	61
3.2.4	<i>Características mecánicas del Actuador Serie 2000.....</i>	62
3.2.5	<i>Conexiones eléctricas.....</i>	64
3.2.5.1	<i>Alimentación.....</i>	64
3.2.5.2	<i>Señales de control.....</i>	64
3.3	HARDWARE PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS.....	65
3.3.1	<i>Tarjeta de Adquisición de Datos.....</i>	65
3.3.2	<i>Características del computador.....</i>	69
3.3.3	<i>Acondicionamiento de señales.....</i>	69
CAPÍTULO 4. PROGRAMA DE SUPERVISIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS.....		75
4.1	CARACTERÍSTICAS DE LOOKOUT.....	75
4.2	CONFIGURACIÓN DE LOOKOUT PARA EL CONTROL DEL CANAL HIDRODINÁMICO	78
4.2.1	<i>Control del Canal Hidrodinámico.....</i>	79
4.2.1.1	<i>Control de la Compuerta.....</i>	79
4.2.1.2	<i>Control de la Inclinación del Canal Hidrodinámico.....</i>	82
4.2.2	<i>Pantalla de visualización de datos.....</i>	85
4.2.2.1	<i>Pantallas auxiliares.....</i>	87
4.2.2.2	<i>Intercambio Dinámico de Datos.....</i>	91
4.3	RESUMEN GRÁFICO PARA ACCEDER Y VISUALIZAR PANTALLAS	94

4.3.1	<i>Esquema General</i>	94
4.3.2	<i>Pantalla de Control de la Compuerta</i>	95
4.3.3	<i>Pantalla de Control de Inclinación del Canal</i>	96
4.3.4	<i>Pantalla de visualización de Datos</i>	97
CAPÍTULO 5. PRESUPUESTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO		99
5.1	COSTO DEL PROYECTO	100
5.1.1	<i>Costo del proyecto construyendo el circuito de velocidad</i>	<i>100</i>
5.1.2	<i>Costo del proyecto usando un motoreductor</i>	<i>101</i>
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		104
6.1	CONCLUSIONES	104
6.2	RECOMENDACIONES	105

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

RESUMEN

El proyecto de automatización del Canal Hidrodinámico de pendiente variable se divide en dos partes:

1. Automatización del canal
2. Adquisición de datos

1. AUTOMATIZACIÓN DEL CANAL HIDRODINÁMICO

La automatización comprende el control de: la inclinación del canal, la abertura de la compuerta y la válvula que regula el ingreso de agua. El control puede ser realizado por el operario en forma manual o utilizando el programa de adquisición y supervisión de datos.

- Control de la inclinación.- el canal puede variar su inclinación con valores entre 0% y 4% (0° y 2.29°)
- Control de la Compuerta.- la abertura de la compuerta puede variar entre 0mm y 800mm.
- Control de la Válvula.- se realiza acoplando un actuador a la válvula que regula el ingreso del agua al tanque de canal.

2. ADQUISICIÓN DE DATOS

El canal es un sistema en el cual es necesario medir en forma continua y en cualquier punto las variables hidrodinámicas: presión hidrostática, caudal y nivel de agua.

Se proyecta instalar cinco estaciones fijas y una móvil. Para controlar la posición de la estación móvil se incluye el diseño del servomecanismo que le permite desplazarse a lo largo del canal.

Cada estación contará con un sensor de ultrasonido que medirá el nivel de agua. Estas señales serán acondicionadas y transmitidas a la tarjeta de adquisición de datos. Una vez que los datos están en la memoria del computador son manipulados y mostrados en la pantalla (en el programa de supervisión y adquisición de datos desarrollado en Lookout). A partir del dato sensado de nivel de agua y utilizando expresiones matemáticas se calculará la presión hidrostática y caudal del agua en el canal.

Para la adquisición de datos se utilizará la tarjeta PCI-6034E que es compatible con Lookout.

COSTO

Aunque las investigaciones hidráulicas no resultan baratas de realizar, su costo es generalmente sólo una pequeña fracción de lo que supondría hacer las pruebas a tamaño natural, y a menudo se atenúa con las economías y perfeccionamientos derivados de los ensayos con modelos.

El cálculo de la inversión para la implementación del sistema de automatización y adquisición de datos en el canal hidrodinámico, ha sido desarrollado basándose en la disponibilidad y costo del equipo.

PRESENTACIÓN

El Centro de Investigaciones y Estudios en Recursos Hídricos (CIERHI) ha implementado un canal hidrodinámico de pendiente variable (largo: 25m, ancho: 1m, altura: 0.80m) que permite la representación de la mayoría de los fenómenos hidráulicos. Para el manejo científico del canal es necesario recopilar los datos en forma simultánea, en múltiples puntos y en tiempo real.

Es por esta razón que el CIERHI ha visto la conveniencia de integrar al modelo hidráulico un sistema de adquisición de datos con control computarizado que permita: aumentar la confiabilidad (al reducir la posibilidad de falla causada por alguna medición equivocada del operador) y procesar las magnitudes involucradas en tiempo real.

La solución planteada y desarrollada en este Proyecto de Titulación, es un sistema computarizado que realiza la adquisición automática de datos en forma continua e ininterrumpida durante las 24 horas del día.

Con este objetivo se diseña un sistema para la supervisión y adquisición de datos de las variables de interés. Este proporciona una estructura de datos que permite procesar las magnitudes involucradas en tiempo real.

CAPÍTULO 1.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO Y DEFINICIONES BÁSICAS

1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO Y DEFINICIONES BÁSICAS

1.1 ANTECEDENTES

En diversas ramas importantes de la ingeniería se recurre a la ayuda de modelos a escala, para la simulación y resolución de problemas de diseño de proyectos reales. Esta técnica adquiere particular importancia en el estudio de los fenómenos hidráulicos, en los que debido a las características del fluido los problemas planteados son a menudo inabordables por vía analítica. En estas circunstancias, se comprende fácilmente que sea muy valiosa la investigación con modelos bajo condiciones controladas en un laboratorio. Observando los resultados al someter al modelo a una amplia gama de condiciones probables de encontrar en la práctica, es posible establecer sus méritos y, en muchos casos, hacer útiles predicciones cuantitativas.

Las investigaciones hidráulicas no resultan baratas de realizar, pero su costo es generalmente sólo una pequeña fracción de lo que supondrá hacer las pruebas a tamaño natural, y a menudo se atenúa con las economías y perfeccionamientos derivados de los ensayos con modelos.

Para que los resultados obtenidos sean altamente confiables y aplicables es necesario que el sistema diseñado sea hidráulicamente semejante al modelo real. Esto significa que exista semejanza geométrica, cinemática y dinámica¹.

1. *Similitud geométrica*, dos objetos son geoméricamente similares si las razones de sus dimensiones correspondientes son iguales. Por esto, la *similitud geométrica* se refiere sólo a la similitud en la forma.

¹ Sandoval, Ramiro. Principios de la Hidráulica

2. *Similitud cinemática*, dos movimientos son cinemáticamente similares si a) los patrones o trayectorias del movimiento son geométricamente similares y b) las razones de las velocidades de las partículas involucradas en los dos movimientos son iguales.
3. *Similitud dinámica*, dos movimientos son dinámicamente similares si a) la razón de las masas de los objetos involucrados son iguales y b) las razones de las fuerzas que afectan el movimiento son iguales.

Con la idea de poseer una herramienta eficaz de simulación de los fenómenos hidráulicos relacionados con la presencia de sedimentos, la variación del nivel de agua, los cambios en la presión hidrostática y el caudal, el CIERHI² ha implementado un canal hidrodinámico de pendiente variable, el cual debido a la gran magnitud espacial, que permite la representación de la mayoría de los fenómenos hidráulicos, exige para su adecuado manejo científico un número considerable de personas entrenadas en los procesos de toma de información, que en la mayoría de los casos deben ser simultáneos, en múltiples puntos y en tiempo real.

En general, se logran resultados aceptables recopilando información en forma manual. Sin embargo, también es cierto que existen descuidos por parte del personal encargado de tomar los datos, lo que muchas veces ocasiona errores en la medición; de ahí que, la adquisición de datos debe ser hecha en forma tal que se reduzca considerablemente la posibilidad de error humano. La solución planteada y desarrollada en este Proyecto de Titulación, es un sistema computarizado que realiza la adquisición automática de datos en forma continua e ininterrumpida durante las 24 horas del día.

Con este objetivo se diseña un sistema para la supervisión y adquisición de datos de las variables de interés. Este proporciona una estructura de datos que permite procesar las magnitudes involucradas en tiempo real.

² CIERHI, Centro de Investigaciones y Estudios en Recursos Hídricos

1.2 REQUERIMIENTOS DEL CIERHI PARA EL APROVECHAMIENTO ÓPTIMO DEL CANAL HIDRODINÁMICO.

Dentro del contexto general de este proyecto, el CIERHI ha visto la conveniencia de implementar el canal hidrodinámico de pendiente variable, pues permite analizar modelos hidráulicos en los que es de vital importancia el movimiento de materiales que componen el fondo del canal. Este modelo se emplea para estudiar la morfología general de los ríos, que involucra cambios en la pendiente del río, sección transversal, erosión, sedimentación; y cambios en el caudal y arrastre de sedimentos asociados a estructuras hidráulicas, o cambios por el uso de la tierra.

En cuanto a la supervisión del canal, es el deseo del Centro de Investigaciones automatizar dicha tarea, pues el valor científico de los modelos hidráulicos depende grandemente de la disponibilidad de instrumentos para una medición afinada del nivel del agua, presión hidrostática y caudal. Esto permitirá conocer en todo momento el estado de las variables de interés, aumentar la confiabilidad (al reducir la posibilidad de falla debido a alguna equivocada medición por parte de un operador) y disponer de la información en tiempo real.

En razón de lo indicado, el CIERHI, requiere ejecutar un proyecto que integre al modelo hidráulico un sistema de adquisición de datos y control computarizado, con instrumentación de campo de tecnología actual.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El canal hidrodinámico mide 25 m de largo, 1m de ancho y 0.80m de alto. Cuenta con un tanque reservorio que sirve para el almacenamiento del agua y que está conectado al canal.

El canal está ubicado sobre una plataforma mecánica que puede variar su inclinación, permitiendo de esta manera controlar la velocidad del agua que va a circular por el canal. La inclinación de la plataforma se controla por medio de un PLC.

Este canal es un sistema dinámico, en el cual se necesita medir en forma continua las variables físicas: presión hidrostática, caudal y nivel de agua. Para hacer la medición en cualquier punto del canal, se proyecta instalar cinco estaciones fijas y una estación móvil como puede verse en el esquema mostrado en la figura 1.1.

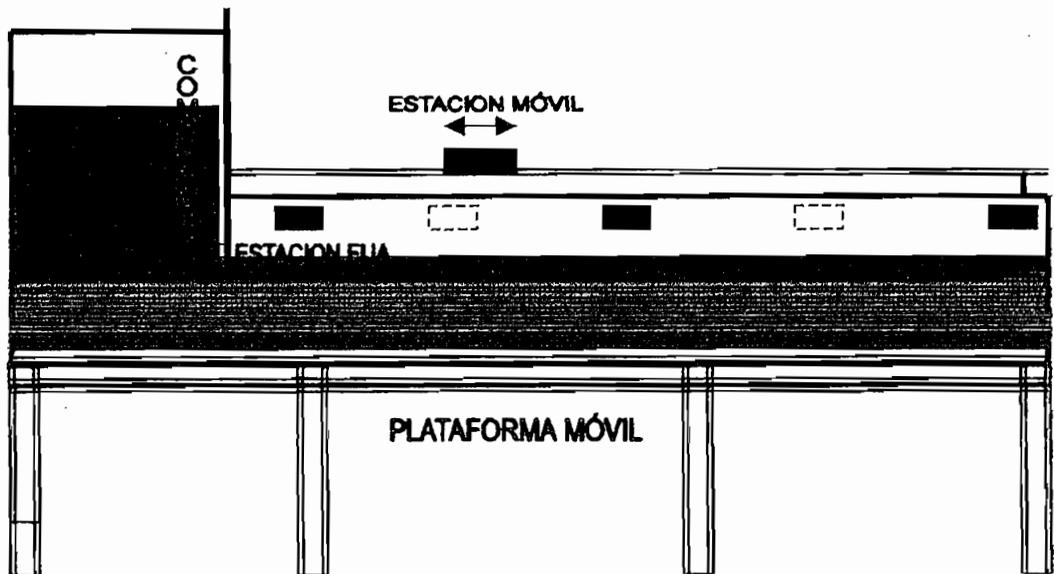


fig.1.1 Esquema del Canal Hidrodinámico

Con el fin de controlar la posición del sensor de la estación móvil se incluirá un servomecanismo que le permita desplazarse hacia delante o hacia atrás.

Cada estación contará con un sensor de ultrasonido que medirá el nivel de agua. Las señales eléctricas de cada sensor (con valores normalizados de corriente entre 4 y 20mA) serán transmitidas hasta la tarjeta de adquisición de datos. Una

vez que los datos están en la memoria del computador, son manipulados y mostrados en la pantalla (utilizando el paquete de software Lookout de la National Instruments, disponible en el CIERHI).

La información desplegada será monitoreada por el operador de turno, supervisando de este modo el desenvolvimiento del canal.

En razón de que sólo se sensa el nivel de agua para el cálculo de los valores de caudal, velocidad y presión se hace uso de operadores matemáticos.

En el capítulo V se describe la lista de los elementos electrónicos necesarios así como también una estimación de los costos, entre otros.

1.4 ALCANCE DEL PRESENTE TRABAJO

El estudio concretamente abarcará la búsqueda de modernos sistemas de medición de nivel de agua, cargas piezométricas y caudal bajo consideraciones de operación y costos.

Este Proyecto de Titulación se centra en el diseño de un sistema de adquisición de datos computarizado, que incluye el análisis, selección y especificaciones técnicas de: la instrumentación de campo, acondicionadores de señal (conversor de corriente a voltaje y amplificador de señales digitales), tarjeta de adquisición de datos, así como la configuración del software de supervisión y monitoreo.

Dentro del análisis teórico, se realiza un estudio de las variables físicas de interés y de los sensores que podrían ser usados para la medición de las mismas, con el fin de tener una idea global de los instrumentos de medida y de las relaciones entre sí. En la selección de los sensores se pondrá énfasis en las ventajas operacionales de los mismos.

Una vez establecido el sensor más adecuado, se procede al diseño del circuito electrónico que convierte los datos obtenidos a través de los sensores en valores adecuados para las entradas de la tarjeta de adquisición de datos.

En otro acápite se detalla la programación en Lookout, que permitirá la supervisión y monitoreo continuo del proceso. Finalmente se hace el presupuesto económico del proyecto y el análisis de los resultados obtenidos.

1.5 DEFINICIONES

Para el diseño de cualquier sistema hidráulico, es esencial tener un conocimiento claro de la teoría fundamental del fenómeno para poder interpretar correctamente los resultados obtenidos.

Cuando se trabaja con un fluido en movimiento, no sólo hay que tener en cuenta su magnitud y dirección, sino también las variaciones que se puedan presentar, debido a la influencia de factores externos, en presión hidrostática, nivel de líquido y caudal del fluido, puesto que el control del nivel del agua y la regulación del caudal son condiciones indispensables en el estudio de los fenómenos hidráulicos.

1.5.1 FLUIDO³

Un fluido es una sustancia en la cual las fuerzas de cohesión intermoleculares son bastante débiles, que le permiten fluir, o deslizarse a lo largo de un conducto adaptándose a la forma de éste.

³ Témez, José. Hidráulica Básica

1.5.1.1 Propiedades de los fluidos

a) *Densidad específica* (ρ): se llama a la masa del fluido contenida en la unidad de volumen

$$\rho = \frac{M}{V}$$

donde: ρ es la densidad [kg/m^3]
M la masa del fluido

b) *Viscosidad dinámica* (μ): es la resistencia que opone el fluido al deslizamiento de una de las capas respecto a las contiguas. Se manifiesta por la aparición de esfuerzos tangenciales en el seno del fluido, de acuerdo a la siguiente relación:

$$\tau = \mu \frac{du}{dn} \quad (\text{sentido contrario al movimiento})$$

donde: τ es el esfuerzo de corte [N/m^2]
 μ el coeficiente de proporcionalidad llamado viscosidad dinámica
 du/dn es el gradiente de velocidad normal al sentido del flujo

c) *Viscosidad Cinemática* (γ): es la relación entre la viscosidad dinámica y la densidad del fluido

$$\gamma = \frac{\mu}{\rho}$$

donde: γ es la viscosidad cinemática [m^2/s]

La cinemática de los fluidos tiene por objeto el estudio del movimiento de los mismos, sin tener en cuenta las causas que lo producen. Bajo este aspecto pueden distinguirse los siguientes tipos de regímenes:

a) *Respecto a la variación en el tiempo*

- Régimen permanente: En cada punto la velocidad es la misma en cualquier instante, aunque puede ser distinta de un punto a otro del fluido.
- Régimen variable: La velocidad no es constante en el tiempo y varía de unos instantes a otros, incluso en un mismo punto.

b) *Respecto a la variación en el espacio*

- Régimen uniforme: La velocidad en un instante dado, es la misma en todos los puntos de una misma línea de corriente.
- Régimen variado: La velocidad es distinta en los puntos de una misma línea de corriente.

Líneas de corriente Se denominan de este modo a las envolventes de los vectores velocidad en un instante determinado. Las propiedades más importantes de estas líneas son:

- Por un punto dado pasa en cada instante una única línea de corriente, por lo que éstas no se cortan.
- La superficie definida por el haz de líneas de corriente no puede ser atravesada por el fluido en un instante considerado.
- La velocidad en los puntos del contorno del fluido es tangente a él.

En los fluidos reales se presentan dos tipos de regímenes que se denominan: laminar y turbulento.

Régimen Laminar Existe un movimiento ordenado de las partículas que sólo sufren pequeñas y lentas oscilaciones en torno a su posición media. Este régimen se produce cuando las fuerzas debidas a la viscosidad del fluido son muy superiores a las fuerzas de inercia del mismo, de forma que cualquier perturbación que se produzca en su seno tiende a ser inmediatamente anulada por los esfuerzos viscosos que actúan como fuerzas estabilizadoras.

Régimen Turbulento Las fuerzas de inercia predominan considerablemente sobre las de viscosidad y cualquier perturbación producida, lejos de ser anulada por las fuerzas viscosas, se amplifica transmitiéndose al resto del fluido y la velocidad en cada punto de la masa fluida oscila rápidamente de modo desordenado, tanto en magnitud como en dirección, alrededor de un valor medio.

El parámetro que permite determinar si el fluido discurre en uno u otro tipo de régimen, es el denominado número de Reynolds, cuya expresión es:

$$Re = \frac{Va}{\nu}$$

V : velocidad media

a : longitud característica

ν : viscosidad cinemática

El numerador de Re es una magnitud proporcional a las fuerzas perturbadoras de la inercia, mientras que el denominador lo es a las estabilizadoras de viscosidad. De esta forma, si Re es muy grande, el efecto de la inercia es mucho mayor que el efecto viscosidad, y estamos en un régimen turbulento. En caso contrario, si Re es pequeño se tiene un régimen laminar.

1.5.2 CANAL HIDRÁULICO⁴

Un canal hidráulico es un conducto para el flujo de agua, que en caso de ser abierto tiene una superficie libre y expuesta a la atmósfera, donde la densidad del aire es mucho más baja que la densidad del agua y la presión es constante. Si el fluido se encuentra en movimiento la distribución de presiones es generalmente hidrostática.

Los canales abiertos pueden ser clasificados como naturales o artificiales. *Canal natural* es todo canal que ha sido desarrollado por procesos naturales y que no

⁴ French, Richard. Hidráulica de Canales abiertos

ha tenido una mejoría significativa por parte de los humanos. Por *Canal artificial* se entiende todos los canales que han sido desarrollados por el esfuerzo humano. Dentro de los tipos de canales abiertos se encuentran los de pendiente fija y pendiente variable. En los modelos de pendiente móvil, el objetivo es simular el movimiento del material del fondo, por lo que el diseño y operación son mucho más complejos que en los modelos de fondo fijo. Dentro de las dificultades que se tienen es que la rugosidad del canal no está controlada por el diseño, ya que es una variable dinámica controlada por el movimiento del sedimento (figura 1.2).

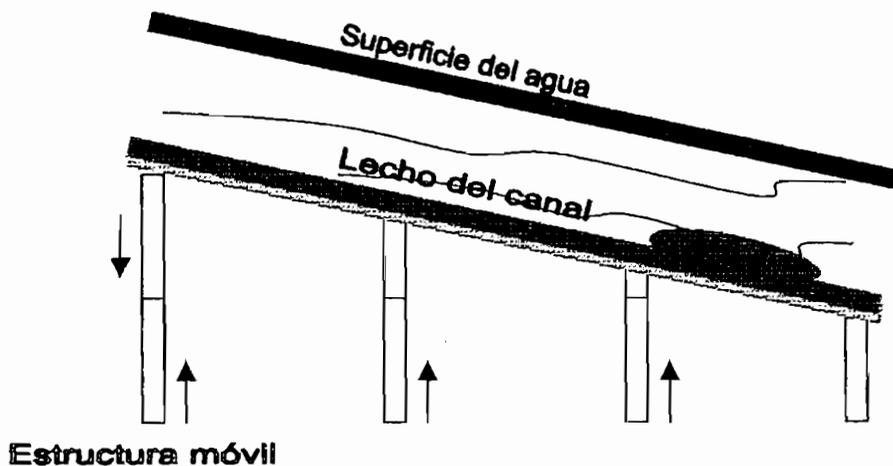


fig. 1.2 Canal de pendiente variable

A continuación se definen las propiedades de una sección del canal que son determinadas por la forma geométrica del canal.

Ancho Superficial (T): Es el ancho de la sección del canal en la superficie libre del agua.

Área Hidráulica (A_h): Es el área de la sección transversal del flujo, tomada normal a la dirección de flujo.

Perímetro Mojado (P): Es la longitud de la línea que es la interfase entre el fluido y el contorno del canal.

Radio Hidráulico (R_h): Es la relación del área hidráulica y el perímetro mojado.

$$R_h = \frac{A_h}{P}$$

Tirante Hidráulico (D): Es la relación entre el área hidráulica y el ancho superficial

$$D = \frac{A_h}{T}$$

Flujo Uniforme: El flujo uniforme ocurre únicamente en canales prismáticos muy largos y rectos, en donde puede obtenerse una velocidad terminal del flujo. Además, aunque el flujo uniforme no permanente es teóricamente posible, rara vez ocurre en canales abiertos. Por definición, el flujo uniforme ocurre cuando:

- El tirante, el área hidráulica y la velocidad en cada sección transversal son constantes.
- La línea de gradiente de energía (S_f : pendiente energética), la superficie del agua (S_w) y el fondo del canal (S_0), son todos paralelos (fig. 1.3).

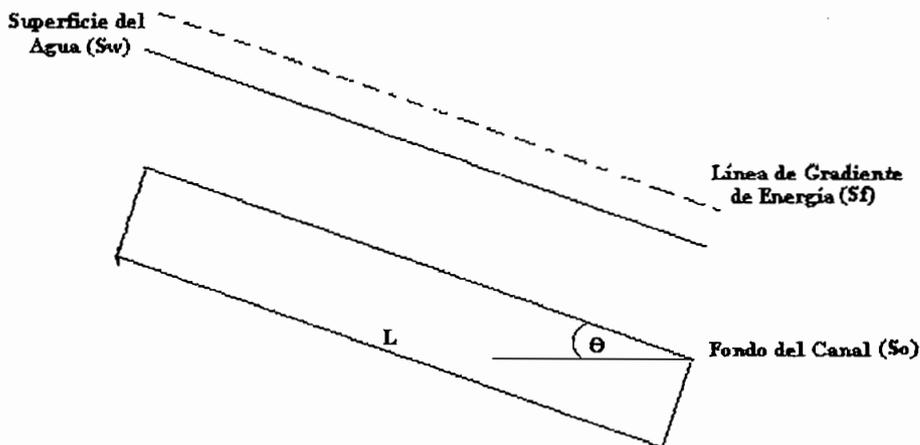


Fig.1.3 Definición Esquemática de las variables

1.5.3 SEDIMENTOS⁵

Uno de los objetivos más importantes en los proyectos hidráulicos es asegurar un mínimo costo de mantenimiento por lo que no hay que olvidar que el estado de las paredes del canal se modifica con el paso el tiempo debido a fenómenos de oxidación y depósitos de sales contenidas en el agua.

Los materiales transportados, llamados *sedimentos*, no se limitan a cieno y arena, sino que también incluyen elementos diversos como arcilla, bloques, etc. La cantidad total de sedimentos en movimiento en cualquier punto, se compone de una parte depositada sobre el lecho y otra parte en suspensión (figura 1.4). La primera es transportada rodando o a saltos a lo largo del lecho del canal mientras que la segunda es llevada por la corriente, decreciendo la densidad con la altura sobre el lecho.

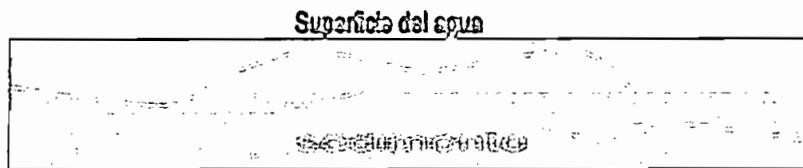


fig.1.4 Sedimentos en el agua

Por lo tanto, en la evaluación del comportamiento del canal es importante conocer la cantidad de sedimento presente en el lecho del canal.

1.5.3.1 Turbidez

Para determinar el grado de concentración de sedimentos en un flujo se utiliza el concepto de turbidez, siendo ésta la cantidad de sedimentos que contiene un volumen determinado de mezcla de agua y sedimentos. La turbidez se puede expresar en función de su masa o volumen.

1.5.3.2 Transporte del fondo

Bajo la acción del flujo sobre las partículas sólidas localizadas en el fondo del cauce, las partículas pueden separarse del fondo. La velocidad del flujo a la cual

⁵ Sandoval, Ramiro. Principios de la hidráulica

se inicia el movimiento de las partículas se la denomina velocidad crítica de deslizamiento V_c .

1.5.3.3 Sedimentos en Suspensión

Las partículas, una vez que se han desprendido del fondo bajo la acción de las fuerzas hidrodinámicas actuantes, pueden mantenerse en suspensión trasladándose tanto en dirección del flujo como en sentido vertical. La velocidad de la partícula en el sentido vertical es fluctuante, tomando tanto valores positivos como negativos.

La velocidad a la cual las partículas pasan al estado de suspensión se denomina velocidad sin sedimentación.

1.5.4 CAUDAL⁶

La característica esencial del flujo en canales es la presencia de una superficie libre, que implica la existencia de la sección transversal y de la profundidad. A esta última se la llama *profundidad normal* y depende de las características del canal y del caudal.

Para los diseños hidráulicos, el caudal es una variable dependiente en la mayoría de los estudios.

Para definir el Caudal consideremos una superficie σ sumergida en un fluido (figura 1.5) que pueda atravesarla libremente. En un tiempo T habrá pasado a través de ella una cantidad de fluido C ; el cociente $Q = \frac{C}{T}$ se denomina caudal medio en el tiempo T a través de la superficie σ . En los líquidos cuya densidad permanece prácticamente constante, la cantidad de fluido C puede medirse en volumen; en caso contrario, se mide en peso.

⁶ French, Richard. Hidráulica de Canales Abiertos

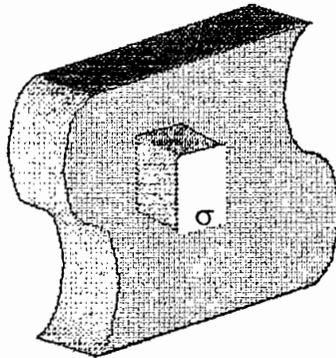


fig.1.5 Caudal

Denominaremos caudal o caudal instantáneo, al límite del caudal medio Q , antes definido, cuando el intervalo de tiempo considerado tiende a cero.

Para todo flujo de agua, el caudal medio Q en una sección del canal se expresa por:

$$Q = V * A$$

Donde: V velocidad media

A área de la sección transversal del flujo de agua, normal a la dirección del flujo.

En la mayoría de los problemas de flujo permanente, el caudal es constante a lo largo del tramo del canal en consideración; es decir, el flujo es *continuo*. Pero, cuando existen entradas y salidas de agua a lo largo del curso del flujo de la misma, el caudal ya no es uniforme.

Siempre que las condiciones del lugar no dependan de las maniobras de alguna compuerta, es razonable esperar que exista una relación definida entre el nivel del agua y el caudal.

De acuerdo a cómo se desea obtener el valor del caudal, en forma volumétrica ó másica, existen varios métodos para medirlo.

Los datos de caudal por lo general se publican en la forma de caudales medios diarios. Esto es la tasa de descarga promedio en metros cúbicos por segundo para el período comprendido entre la media noche hasta la media noche siguiente.

1.5.4.1 Unidades de medida

La unidad básica de caudal utilizada en:

- *el sistema métrico*, metros cúbicos por segundo (m^3/s)
- *el sistema inglés*, pie cúbico por segundo (ft^3/s).

1.5.5 NIVEL DE AGUA

La medición de nivel, su detección y referencia, es un parámetro fundamental en la ingeniería hidráulica, tanto desde el punto de vista del funcionamiento correcto del proceso como de la consideración del balance adecuado de materias primas o de productos finales.

"El nivel de agua de un flujo es la elevación de la superficie libre del agua relativa a un plano de referencia"⁷ (figura 1.6). Si el punto más bajo de la sección de un canal se toma como el plano de referencia, el nivel de agua es la distancia vertical desde ese punto a la superficie del agua. A menudo se toma como referencia un punto ligeramente por debajo del nivel para el cual la descarga es cero.

La determinación del nivel permite evaluar la cantidad de agua contenida en un reservorio o depósito industrial cualquiera, de sección desconocida.

⁷ French, Richard. HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS

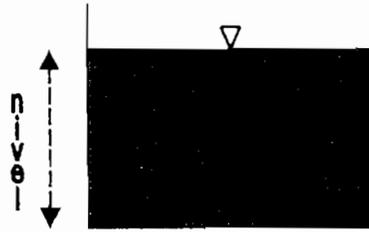


Fig.1.6 Nivel de agua en un canal de sección rectangular

Los objetivos principales de la determinación del nivel son:

- La detección o localización de niveles discretos preestablecidos, generalmente el valor máximo o el valor mínimo.
- La observación continua del cambio de nivel sobre una extensión grande del rango de medida.
- El mantenimiento de un nivel en una posición definida.

La determinación de cierto límite permite, o bien una señalización, o bien una acción de control, como por ejemplo, el control de arranque del motor de una bomba para el llenado o vaciado de un reservorio.

1.5.5.1 Unidades de medida

El nivel o cota, se expresa en unidades de longitud, centímetros o metros. Sin embargo, los indicadores de nivel pueden estar graduados indiferentemente en unidades de longitud, masa, peso o volumen.

1.5.6 PRESIÓN

Las presiones se expresan, corrientemente, por alturas de columnas de agua o de mercurio, en metros, milímetros o pies.

La *presión* (P) de un fluido es un tipo de esfuerzo multidireccional y uniforme, una fuerza que actúa en forma perpendicular sobre una superficie (S) de área unitaria (figura 1.7).

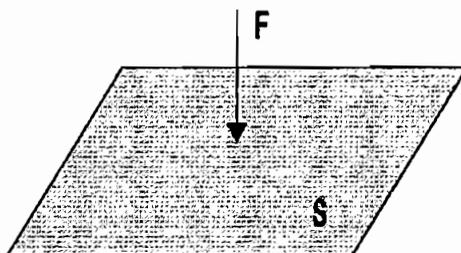


fig. 1.7 Presión sobre una superficie

Se mide como la fuerza (F) que el fluido ejerce sobre una superficie de área unitaria.

$$P = \frac{F}{S}$$

Esfuerzo es un término general que define la fuerza por unidad de superficie, perpendicular o no a aquella superficie. El esfuerzo interviene sobre todo en el estudio de la resistencia de materiales.

Todos los fluidos, en reposo o en movimiento, ejercen una presión, P_T , constituida de dos componentes: presión estática y presión dinámica.

Presión estática, p_s , está relacionada con la energía potencial y se ejerce perpendicularmente a las paredes del recipiente, esté o no el fluido en movimiento.

Presión dinámica, p_d , (presión de impacto) se debe a la velocidad del fluido, por tanto está relacionada con la energía cinética. Se ejerce de manera paralela a la dirección del flujo.

Formulando esta relación tenemos que: $P_T = ps + pd$

Según el uso y la referencia considerada, la presión puede tomar diferentes nombres (figura 1.8).

Presión atmosférica o barométrica, es la presión ejercida por el aire que rodea la tierra. Varía según la temperatura, la latitud y altitud. (A nivel del mar es 76 cm de Hg)

Presión absoluta, es el valor de la presión medida respecto al vacío (punto A figura 1.8). El vacío corresponde al cero absoluto.

Presión relativa, es el valor que corresponde a la energía potencial utilizable de un fluido en un momento dado. (punto B figura 1.8)

$$P_{relativa} = P_{absoluta} - P_{atmosférica}$$

Presión diferencial, es la diferencia entre dos presiones cualquiera. (punto C figura 1.8)

Depresión, vacío parcial o imperfecto, cuando en un punto dado la presión es inferior a la presión atmosférica. (punto D figura 1.8)

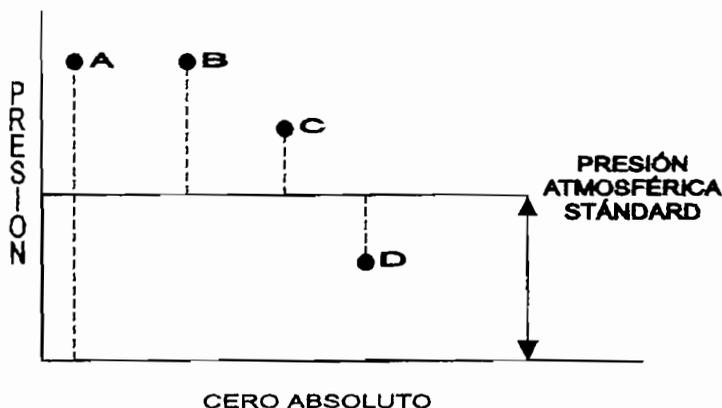


Fig.1.8 Diagrama de presiones⁸

⁸ Rosero, Patricio. Apuntes de Instrumentación

Como la mayor parte de las presiones que encontramos en la hidráulica están por encima de la atmosférica y se miden con instrumentos de medida relativa, es conveniente tomar la presión atmosférica como referencia.

1.5.6.1 Unidades de medida

En el caso de líquidos con superficie libre, la presión en cualquier punto está representada por su profundidad bajo la superficie, por lo que haremos uso de las siguientes unidades:

- *Sistema internacional:* Pascal (Pa) que se define como la presión ejercida por la fuerza de 1Newton sobre la superficie de 1m^2 (N/m^2).
- *Sistema técnico:* Kilopondio por metro cuadrado (Kp/m^2), pero resulta más empleada la atmósfera (atm), que se define como la presión ejercida por la fuerza de 1kp sobre la superficie de 1cm^2 .
- *Sistema cegesimal:* Baria (Bar), que se define como la presión ejercida por la fuerza de 1dina sobre la superficie de 1cm^2 .

Como el Pascal es una unidad demasiado pequeña para muchos cálculos, es muy utilizada la atmósfera técnica. La equivalencia entre ellas es la siguiente:

$$1\text{atm} = 101.325\text{Pa}$$

$$1\text{Bar} = 100.000\text{Pa}$$

CAPÍTULO 2.

ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

2 ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El uso de la instrumentación virtual es cada día más común en sistemas de medición y automatización de procesos.

Utilizando la plataforma propia de los computadores (sistemas operativos y software) y ayudados con equipos de medición y control (de rápida implementación y bajo costo de mantenimiento) se puede crear un sistema eficiente y de fácil manejo.

En el proyecto de automatización del canal hidrodinámico de pendiente variable se ha diseñado el sistema de adquisición de datos indicado en la figura 2.1. que consta de las siguientes partes:

- Sensores
- Circuitos de acondicionamiento de señal
- Tarjeta de Adquisición de Datos y PLC
- Software de Desarrollo y aplicación (Lookout 3.8 de la National Instruments)
- Computador

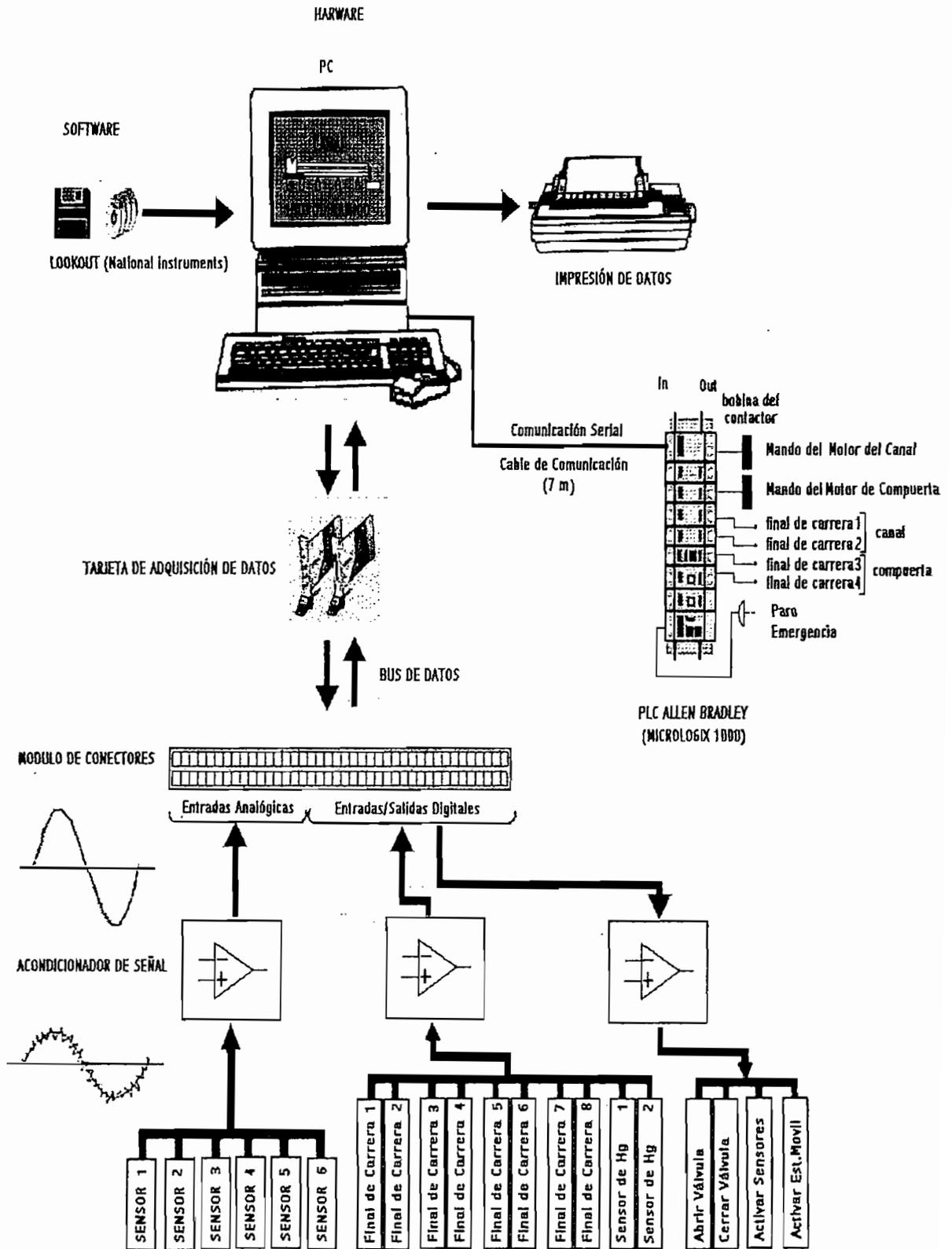


Fig. 2.1 Sistema de Adquisición de Datos

Actualmente, la inclinación del canal es controlada por un PLC (Controlador Lógico Programable) Micrologix 1000 (ALLEN BRADLEY) que tiene 9 entradas y 5 salidas digitales (fig. 2.2). No cuenta con módulos de expansión y trabaja con 110 V_{AC}. Realiza el control de dos motores:

- 1 Motor de 0.75 HP utilizado para la apertura y cierre de la compuerta.
- 2 Motor de 7,5 HP utilizado para realizar la inclinación del canal.

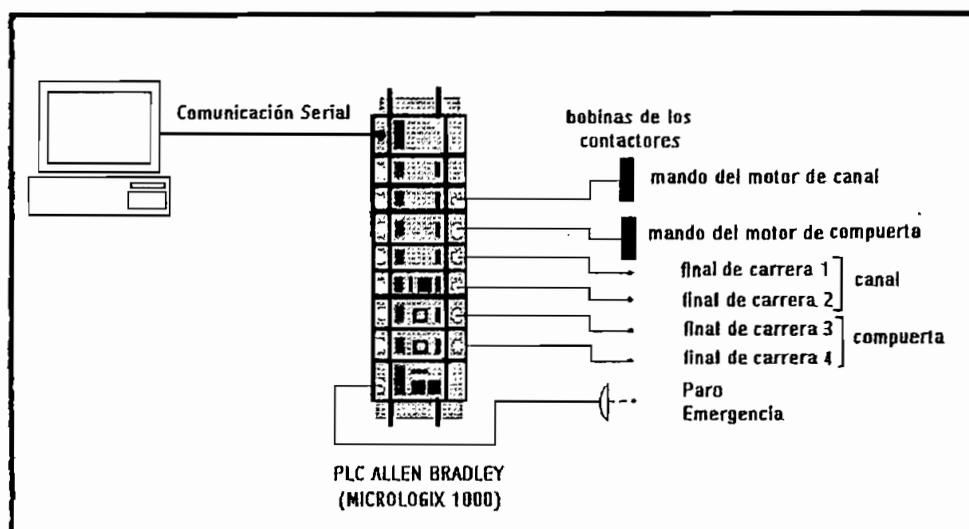


Fig. 2.2 Conexión del PLC

Las funciones que cumple el PLC son:

Control de la inclinación del canal, para lo que se ha dispuesto la colocación de un piñón en el eje ubicado cercano a la descarga, (el que tiene que girar mas revoluciones para lograr cualquier movimiento del canal), este piñón a través de un sensor capacitivo contará el número de dientes que han pasado y definirá de manera exacta la posición del canal.

De una manera similar se colocará en el eje del motoreductor un piñón para control, con el mismo sistema de conteo de dientes para la ubicación de la compuerta de acuerdo a la orden que se de desde un computador.

Un PLC controlará los siguientes parámetros: inclinación del canal en porcentaje, apertura de la compuerta de descarga en porcentaje y permitirá que el canal baje cargado de sólidos y agua, pero que suba únicamente cuando esté sin agua.

En la apertura de la compuerta de descarga se ha establecido que el control permita 800 puntos de control, esto es cada milímetro, en la inclinación del canal serán 500 los puntos de control, equivalentes a 8 por cien mil.

El PLC será enlazado al sistema de adquisición de datos, razón por la cual hay que definir en el programa las señales de entrada/salida correspondientes al PLC o a la tarjeta.

Debido a que el costo del proyecto se vería incrementado si se utilizan sensores para cada una de las variables antes citadas, y que es posible determinar analíticamente los valores de presión hidrostática velocidad del fluido y caudal a partir del nivel de agua, se ha previsto la utilización solamente de sensores que midan el nivel de agua del canal hidrodinámico.

2.1 MEDICIÓN DE NIVEL

Cuando se trabaja con fluidos, sobre todo en la industria, es imprescindible la medición del nivel del líquido. Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo: directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, la presión hidrostática, el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, o aprovechando las características eléctricas del líquido.

A continuación se describen, de manera sucinta, los diferentes tipos de sensores de nivel¹, previo a la selección del sensor que más se ajusta a los requerimientos y objetivos de este proyecto.

¹ Creus Solé, Antonio. Instrumentación Industrial

2.1.1 INSTRUMENTOS DE MEDIDA DIRECTA

Permiten determinar el nivel de líquidos por vía óptica, visual o instrumental. Se dividen en:

- Sonda (fig. 2.3)
- Cinta y plomada
- Nivel de cristal
- Instrumentos de flotador

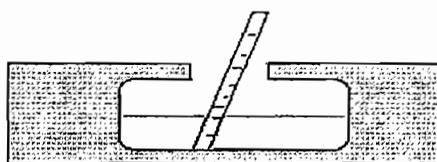


Fig. 2.3 Medidor de Sonda

2.1.2 APARATOS QUE MIDEN EL NIVEL APROVECHANDO LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA

Miden el nivel a partir de la variación de la presión de un gas inyectado a volumen constante en el seno de un líquido. Se dividen en:

- Medidor manométrico
- Medidor de membrana
- Medidor tipo burbuja
- Medidor de presión diferencial de diafragma (fig. 2.4)

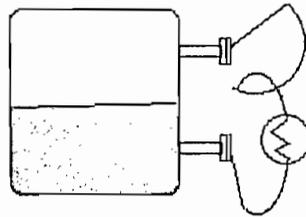


Fig. 2.4 Diafragma

2.1.3 MEDICIÓN DE NIVEL APROVECHANDO EL EMPUJE PRODUCIDO POR EL PROPIO LÍQUIDO

Los instrumentos se basan en el principio de Arquímedes según el cual: *“Todo cuerpo sumergido en el seno de un líquido experimenta un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del líquido desalojado”*. Uno de los instrumentos que se basa en este principio es el medidor de desplazamiento a barra de torsión (fig. 2.5).

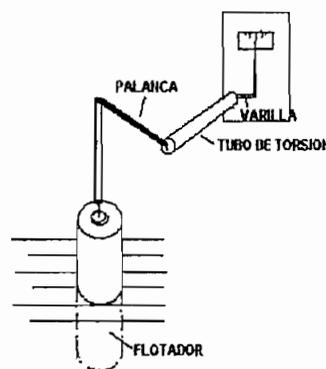


Fig. 2.5 Medidor de Nivel de Desplazamiento

2.1.4 INSTRUMENTOS QUE UTILIZAN CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DEL LÍQUIDO

Estos instrumentos presentan ventajas tales como: su método de medida es simple, su precisión es de $\pm 0.5\%$ del valor de plena escala y su escala es lineal. Se clasifican en:

- Medidor conductivo
- Medidor capacitivo
- Medidor ultrasónico (fig. 2.6)
- Medidor de radiación

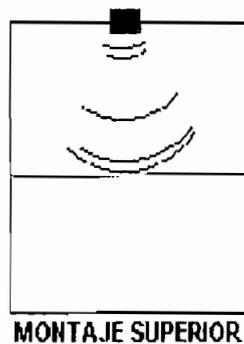


Fig. 2.6 Transductor Ultrasónico de Nivel

2.1.5 SELECCIÓN DEL SENSOR

Basados en las características generales del canal hidrodinámico, a continuación se establecen los criterios generales para la selección más adecuada de los sensores:

- Características de las variables a ser medidas
- Características físicas del sistema
- Ambiente de trabajo
- Costo
- Disponibilidad

2.1.5.1 Características de las variables a ser medidas

Dadas las condiciones del proyecto hay que tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- *Tipo de magnitud a medir.-* en el proyecto, la variable (nivel) debe ser medida por sensores que envíen una señal analógica a la tarjeta de adquisición de datos.
- *Comportamiento y características dinámicas de estas variables en el sistema.-* además de las condiciones normales, en el canal se realizarán esporádicamente pruebas con sedimentos de varios tipos de materiales y el flujo de agua se verá interrumpido por obstáculos colocados a lo largo del canal, lo que provocará turbulencias.
- *Rango permisible, precisión con que debe realizarse la medición, tiempo de respuesta.-* Caudal máximo: 200 lt/seg, Nivel máximo (incluido los sedimentos): 70 cm, Nivel máximo de sedimentos: 20 cm.

En la medición de estas variables hidráulicas es necesaria una precisión de aproximadamente un 5%, con una respuesta rápida acorde a la velocidad del flujo de agua en el canal.

2.1.5.2 Características físicas del sistema

- *Forma física.-* El canal hidrodinámico es de sección rectangular, abierto al ambiente. De dimensiones: 25 m de largo, 1 m de ancho y 0.80 m de altura. Está montado sobre una plataforma de 2 m de altura, que puede variar su inclinación hasta un 4% de la longitud del canal (2,3°). Existe un tanque de almacenamiento que proporciona la cantidad de agua que circula por el canal hidrodinámico y mide 2,5 m de altura, 2 m de ancho y 2 m de largo.

➤ *Condiciones del sistema.*- la plataforma tarda aproximadamente 10 minutos en alcanzar la inclinación máxima, para lo cual se utiliza un motor de 7,5 HP controlado por un PLC. El tanque de almacenamiento de agua se llena por medio de un sistema de bombas que suministran agua, una a la vez. Al extremo del canal existe una compuerta controlada por un PLC y accionada por un motor de 0,75 HP. La compuerta tarda 80 segundos en alcanzar la máxima abertura (80 cm).

2.1.5.3 Ambiente de trabajo

El canal está ubicado en un local cerrado. Las condiciones de presión y temperatura a las que está sometido el sistema, están dadas por el ambiente (750 mmHg, 20°C).

2.1.5.4 Costo

Es uno de los aspectos que más influye en el diseño, ya que si se utilizan equipos con mejores características de medición, tales como sensibilidad, precisión, rango, etc., el costo sería mayor.

En el proyecto, el estudio de costos incluye no solamente el precio de los sensores sino que, además, hay que considerar que se contará con cinco estaciones de medición fijas y una estación móvil que se desplazará a lo largo del canal.

2.1.5.5 Disponibilidad

Es importante conocer si en el país existen los distribuidores autorizados de los sensores que se pretende utilizar, ya que esto facilitaría el reemplazo de elementos defectuosos, asistencia técnica y mayor agilidad en las adquisiciones, lo que evitará tiempos de paralización largos en el sistema. Es preciso analizar

también si un elemento del sistema puede ser reemplazado por otro similar, sin que éste pierda sus características propias de trabajo.

2.1.5.6 Fiabilidad

Es la medida de la probabilidad de que un instrumento continúe comportándose dentro de los límites especificados de error a lo largo de un tiempo determinado y bajo condiciones especificadas.

2.1.6 CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DE ULTRASONIDO

Basados en los criterios generales para la selección de un sensor y considerando que:

- *El flujo de agua es crítico cuando se introduce cualquier objeto en el canal.-* un sensor en contacto con el líquido introducirá errores en la medición de la variable.
- *El canal transportará sedimentos de diferentes tipos de materiales.-* es recomendable no utilizar instrumentos que puedan dañarse o descalibrarse, caso contrario el mantenimiento del equipo sería más continuo y riguroso.

La utilización de sensores que deban estar en contacto con el agua no es recomendable, por lo que el sensor que mejor se ajusta a las condiciones de funcionamiento del canal hidrodinámico es el de ultrasonido cuyas características son:

- Su funcionamiento se basa en la emisión de pulsos sincronizados captados por un receptor.
- Los pulsos emitidos son de frecuencias altas y fijas, inaudibles para el ser humano.

- Adecuados en ambientes altamente corrosivos o de difícil acceso.
- La instalación es externa al sistema.
- Precisión: 1% al 5%
- La dirección del reflejo depende del ángulo de incidencia.
- En condiciones extremas, el tiempo entre emisión y recepción depende de la temperatura.
- Es sensible al estado de la superficie del líquido (espuma).

Por lo indicado anteriormente, el sensor que más se ajusta a los requerimientos del sistema, es el similar al sensor ultrasónico LUC4, cuyas características se indican a continuación.

2.1.7 SENSOR DE NIVEL LUC4

El sensor de nivel LUC4 (fig. 2.7) tiene las siguientes características de funcionamiento:

- Mide, sin contacto, el nivel de líquidos limpios o sucios, livianos o viscosos.
- No apto para líquidos volátiles o inflamables de ningún tipo.
- Útil en plantas para el tratamiento de aguas, en instalaciones en donde el medidor no debe estar en contacto con el medio.
- Transmite un pulso de ultrasonido, el cual se refleja en la superficie. El microprocesador interno del sensor calcula la distancia recorrida, filtra y suprime las posibles interferencias.

- Los cambios en la velocidad del sonido, ocasionados por variaciones en la temperatura, se compensan automáticamente.
- La superficie sensora está recubierta por teflón para evitar posible corrosión.
- Conector: G 1 1/2" o 1 1/2" NPT.
- Rango: 0,3 a 4 m
- Precisión: 0,5% del rango de medición.
- Construcción: carcasa de PTB
- Alimentación (Vcc): 10 – 30V
- Salida: 4 – 20 mA / 0 – 10 V
- Apto intemperie - 25°C a 70°C

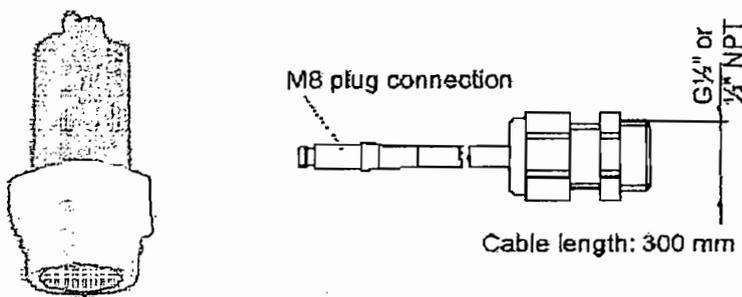


Fig. 2.7 Sensor de Nivel LUC4

2.2 MEDICIÓN DE PRESIÓN

La presión es una variable física muy utilizada en la industria y puede ser determinada a partir de la medida del nivel del líquido. Para calcular el valor de la presión en diferentes puntos se utiliza la ecuación:

$$P = \delta * g * h.$$

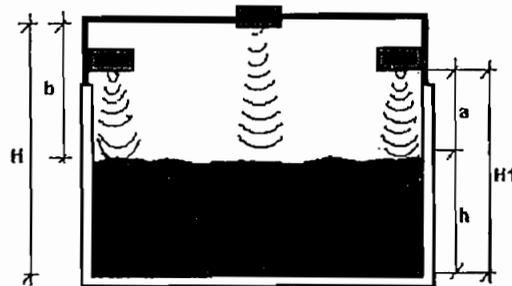


Fig. 2.8 Gráfico para el cálculo de la presión

Basados en la figura 2.8 se tiene que:

$$P = \delta * g * (H - b) \quad (1) \text{ para la estación móvil}$$

$$P = \delta * g * (H1 - a) \quad (2) \text{ para la estación fija}$$

Donde:

δ densidad del líquido (varía según la concentración y tipo de sedimentos en el agua)

g gravedad (9.8 m/s)

H altura medida desde la base del canal a la estación móvil

b altura medida desde la superficie del líquido a la estación móvil

H_1 altura medida desde la superficie del líquido a la estación fija

a altura medida desde la superficie del líquido a la estación fija

2.3 MEDICIÓN DEL CAUDAL

Un sistema hidrodinámico requiere información en cuanto a la cantidad de fluido en movimiento. Es importante establecer si la medición de esta variable es realizada en un canal abierto o en uno cerrado, ya que para primer caso, el caudal depende del nivel del líquido, mientras que en el segundo, depende de la

velocidad del mismo. Como se trata de un canal abierto de pendiente variable, para el cálculo del valor de caudal se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$Q = v * A \quad \text{Ec (3)}$$

$$A = l * h \quad \text{Ec (4)}$$

$$v = \frac{1}{n} * (R_h)^{\frac{2}{3}} * (I_e)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec (5)}$$

Reemplazando la ecuación (4) y (5) en la ecuación (3):

$$Q = \frac{1}{n} * (R_h)^{\frac{2}{3}} * (I_e)^{\frac{1}{2}} * l * h \quad \text{Ec (6)}$$

Además:

$$R_h = \frac{Ah}{Ph} \quad \text{Ec (7)}$$

$$Ah = l * h \quad \text{Ec (8)}$$

$$Ph = 2 * h + l \quad \text{Ec (9)}$$

reemplazando las ecuaciones (8) y (9) en (7) obtenemos:

$$R_h = \frac{l * h}{(2 * h + l)} \quad \text{Ec (10)}$$

reemplazando la ecuación (10) en la ecuación (6) tenemos:

$$Q = \frac{(l * h)^{\frac{5}{3}} * (I_e)^{\frac{1}{2}}}{n * (2 * h + l)^{\frac{2}{3}}} \quad \text{Ec (11)}$$

De donde se deduce que:

$$Q = \frac{(l * (H - b))^{\frac{5}{3}} * (I_e)^{\frac{1}{2}}}{n * (2 * (H - b) + l)^{\frac{2}{3}}} \quad \text{para la estación móvil}$$

$$Q = \frac{(l * (H1 - a))^{5/3} * (Ie)^{1/2}}{n * (2 * (H1 - a) + l)^{2/3}} \quad \text{para la estación fija}$$

Donde:

Q	Caudal
h	altura del líquido (medida desde la base del canal)
v	Velocidad media del fluido
n	Coefficiente de rugosidad del canal
l	Ancho del canal (1 m)
Ie	Pendiente energética
Rh	Radio hidráulico
Ah	Área hidráulica
Ph	Perímetro hidráulico

Tanto el coeficiente de rugosidad como la densidad del líquido son datos ingresados por el usuario a través del programa de adquisición de datos.

La pendiente energética es calculada en el programa a partir del ángulo de inclinación del canal (θ). $Ie = \text{sen}\theta$.

La velocidad media del fluido, el radio hidráulico, el área hidráulica y el perímetro hidráulico son valores también calculados dentro del programa a partir de la altura del líquido.

CAPÍTULO 3.

DESCRIPCIÓN Y ESPECIFICACIONES DEL HARDWARE UTILIZADO

3 DESCRIPCIÓN Y ESPECIFICACIONES DEL HARDWARE UTILIZADO

En la automatización del canal hidrodinámico se requiere diseñar y dimensionar una serie de dispositivos eléctricos para controlar y monitorear los diferentes aspectos que conforman este proyecto.

Además, se diseñarán algunos circuitos de acondicionamiento de señales, que son necesarios para la adquisición de datos.

3.1 CONTROL DEL MOVIMIENTO DE LA ESTACIÓN MÓVIL

Los motores de corriente continua presentan una gran facilidad para el control de la velocidad, pero son costosos y necesitan de un mantenimiento periódico, lo que eleva el costo de operación.

Los motores de inducción son de construcción simple, robustos y relativamente económicos. No tienen anillos rozantes y colectores, y su rotor de jaula de ardilla soporta corrientes grandes, de ahí que el mantenimiento que deben recibir sea mínimo. Además, el avance de la tecnología en el campo de la microelectrónica, permite el diseño de circuitos de control electrónico altamente eficientes, con un tamaño reducido y de gran versatilidad.

Por lo expresado, en el diseño del mecanismo que controla el movimiento de la estación móvil se considera conveniente utilizar un motor de inducción trifásico.

La fuerza que tendrá que hacer el mecanismo que mueve la estación móvil del canal hidrodinámico será mayor cuando el canal alcance su máxima inclinación (2.29°)

El motor de corriente alterna, a pesar de ser un motor robusto, de poco mantenimiento, liviano e ideal para la mayoría de las aplicaciones industriales, tiene el inconveniente de ser un motor rígido en cuanto a su velocidad. La velocidad del motor asíncrono depende de la forma constructiva del motor y de la frecuencia de alimentación.

Como la frecuencia de alimentación que entregan las Compañías de electricidad es constante, la velocidad de los motores asíncronos es constante, salvo que se varíe el número de polos, el deslizamiento o la frecuencia.

Para disminuir la velocidad del motor de inducción se han considerado dos opciones, las cuales son:

- Utilizar un variador de frecuencia para regular la frecuencia del voltaje de alimentación del motor.
- Utilizar un motoreductor a la velocidad deseada.

3.1.1 VARIADOR DE FRECUENCIA

El método más eficiente de controlar la velocidad de un motor eléctrico es por medio de un variador electrónico de frecuencia. No se requieren motores especiales, son mucho más eficientes y tienen precios cada vez más competitivos.

El variador de frecuencia regula la frecuencia del voltaje aplicado al motor, logrando modificar su velocidad. Sin embargo, simultáneamente con el cambio de frecuencia, debe variarse el voltaje aplicado al motor para evitar la saturación del flujo magnético con una elevación de la corriente que dañaría el motor.

Un variador de frecuencia es totalmente estable y preciso. La frecuencia de salida, preestablecida, es inmune a la temperatura al paso de los días o meses.

Permite trocear la frecuencia para poder ajustar la velocidad de seguimiento con plena exactitud.

Los variadores de frecuencia modernos cuentan con las siguientes partes principales:

- **Circuito Rectificador.** Convierte la tensión alterna en continua mediante un puente rectificador de diodos, tiristores, etc. Los variadores mas utilizados utilizan modulación PWM (Modulación de Ancho de Pulsos) y usan en la etapa rectificadora puente de diodos rectificadores.
- **Circuito intermedio.** Consiste en un filtro cuya función principal es suavizar el rizado de la tensión rectificada y reducir la emisión de armónicos hacia la red. Se usan condensadores y bobinas para disminuir las armónicas y mejorar el factor de potencia. Hay fabricantes que utilizan bobinas en la línea en lugar del circuito intermedio, pero tienen la desventaja de ocupar más espacio y disminuir la eficiencia del variador.
- **Inversor.** Convierte el voltaje continuo del circuito intermedio en uno de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Los variadores modernos emplean IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor) para generar los pulsos de voltaje de manera controlada. Los equipos más modernos utilizan IGBT's inteligentes que incorporan un microprocesador con todas las protecciones por sobrecorriente, sobretensión, baja tensión, cortocircuitos, puesta en marcha del motor, sobretemperaturas, etc. Los IGBT envían pulsos de duración variable y se obtiene una corriente casi senoidal en el motor. La frecuencia portadora de los IGBT se encuentra entre 2 a 16kHz. Una portadora con alta frecuencia reduce el ruido acústico del motor pero disminuye el rendimiento del motor y la longitud permisible del cable hacia el motor. Por otra parte, los IGBT's generan mayor calor.
- **Circuito de control.** El circuito de control enciende y apaga los IGBT para generar los pulsos de tensión y frecuencia variables. Además, realiza las

funciones de supervisión de funcionamiento monitoreando la corriente, voltaje, temperatura, etc. con teclados e interfaces amigables de fácil empleo. Los variadores requieren de señales de control para su arranque, parada y variación de velocidad; así como enviar señales de referencia a otros dispositivos como PLC u otros variadores. Es importante que estas señales estén aisladas galvánicamente para evitar daños en los sensores o controles y evitar la introducción de ruido en el sistema de control.

3.1.2 APLICACIONES TÍPICAS DE LOS VARIADORES DE FRECUENCIA

Los variadores de frecuencia tienen sus principales aplicaciones en los siguientes tipos de máquinas:

Transportadores helicoidales continuos de papel, máquinas para soldadura, máquinas para vidrios, secaderos de tabaco, clasificadoras de frutas, conformadoras de cables, laminadoras, mezcladoras, trituradoras de minerales, trapiches de caña de azúcar, balanceadoras, molinos harineros, hornos giratorios de cemento, hornos de industrias alimenticias, puentes grúa, bancos de prueba, secadores industriales, tapadoras de envases, agitadores, dosificadoras, dispersores, reactores, pailas, lavadoras industriales, lustradoras, molinos rotativos, pulidoras, fresas, bobinadoras y desbobinadoras, arenadoras, separadores, vibradores, cribas, locomotoras, vehículos eléctricos, escaleras mecánicas, aire acondicionado, portones automáticos, plataformas móviles, tornillos sinfín, válvulas rotativas, tejedoras, extractores, posicionadores, etc.

Debido a la gran cantidad de aplicaciones para los inversores, estos se utilizan en la industria: metalúrgica, alimenticia, de la construcción, automovilística, de plásticos, papelera, del cuero, química, petrolera, textil, de la madera, del caucho y en otras como: aeronáutica, tabacalera, vidrio, aguas sanitarias, cerealeras, universidades, empresas de ingeniería, minería, acerías, agropecuarias, preparadores de vehículos de competición, etc.

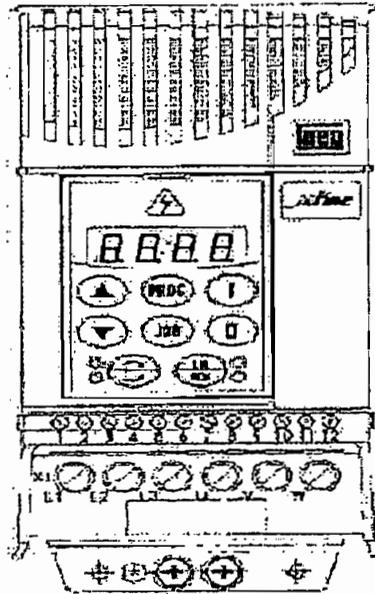


Fig. 3.2 Variador de frecuencia μ line

Comprende modelos con corriente nominal de salida de 1.0 a 7.0 A. Son alimentados a partir de redes monofásicas de 200-240 V y trifásicas de 200-240 V y 380-480V, conforme el modelo.

La etapa de potencia es básicamente constituida por un puente rectificador a diodos, un banco de capacitares y un inversor trifásico a IGBT.

La tensión de red es transformada en tensión continua a través del conjunto rectificador y del banco de capacitares. Fórmase así, el circuito intermediario, a partir del cual la etapa inversora de potencia genera la alimentación trifásica para el motor con tensión y frecuencia variables.

Para el control del convertidor se utiliza la técnica de modulación vectorial. La utilización de transistores IGBT en el inversor permite un accionamiento silencioso y eficiente de motores de inducción.

Para la alimentación de la etapa electrónica interna se utiliza una fuente conmutada con múltiples salidas alimentada directamente del circuito

intermediario. Con esta configuración es posible una mayor autonomía de funcionamiento en caso de pequeñas interrupciones de energía eléctrica.

La tarjeta de control contiene los circuitos responsables por el comando, monitoreo y protección de los componentes de la potencia.

Se utiliza un microcontrolador de 16 bits de alta performance para gerenciar todo el sistema.

Características técnicas:

- **Control**

Método: Modulación Vectorial

Frecuencia de salida: rango de variación 0-300 Hz

Entradas: Analógica 1 entrada diferencial 0 a 10 V a 20 mA, 4 a 20 mA.
Resolución 10 bits

Digitales 4 entradas, funciones programables

Salidas: Relé 1 relé, contactos NA/NC, 250 V/0.5 A función programable

Interface hombre-máquina(IHM-8P):

8 teclas: conecta, desconecta, aumenta velocidad, disminuye velocidad, sentido de giro.

Display: 4 dígitos de 7 segmentos

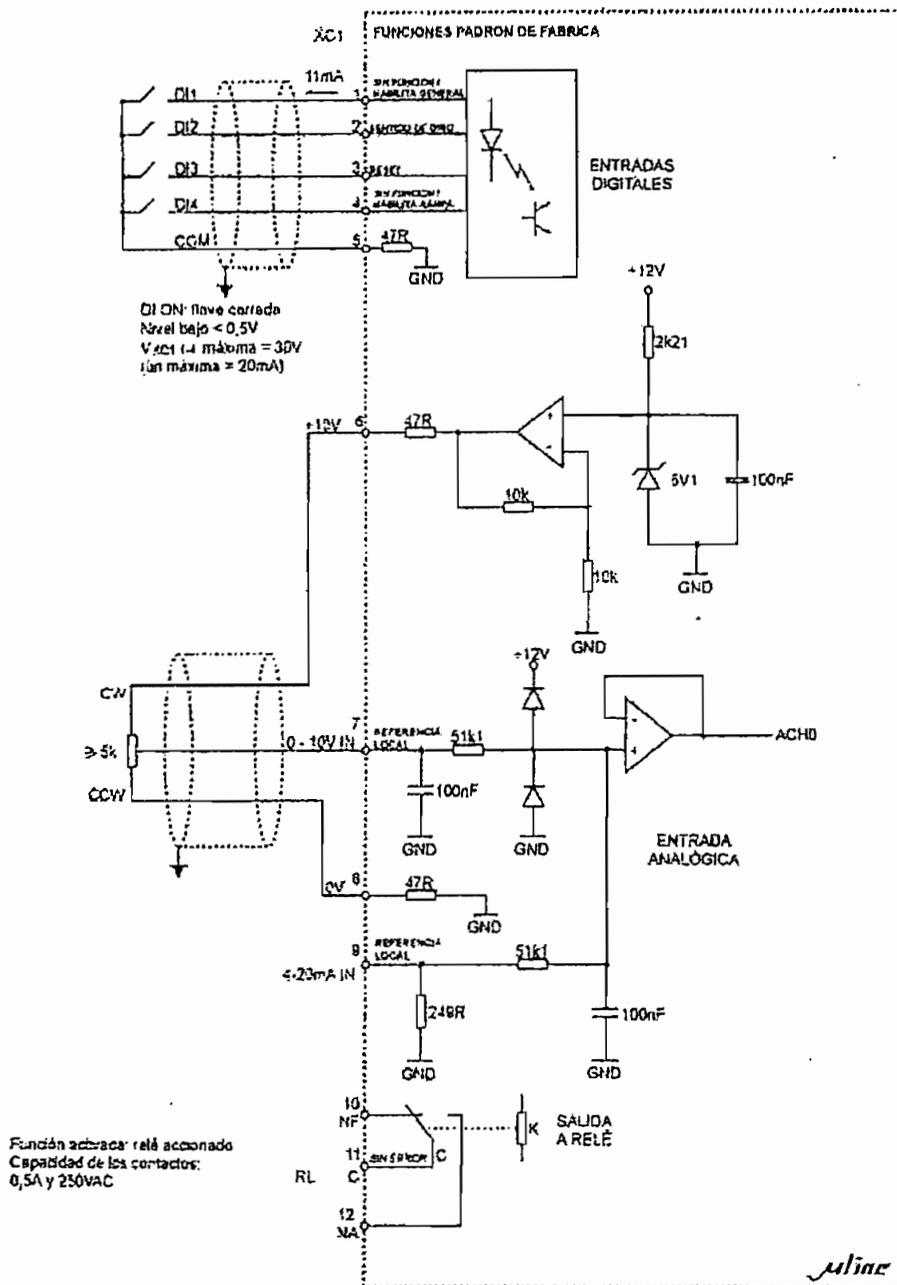


Fig. 3.3 Conexiones de señal y control

Características eléctricas del variador de velocidad μline

Entrada:

Variaciones de red permitidas:

- a) tensión: +10%-15% (con pérdidas de potencia en el motor)

- b) frecuencia: 50/60Hz (± 2 Hz)
- c) desbalance máximo entre fases: 3%

Tipo: trifásico

Tensión de alimentación: 200-240V/380-480V

Frecuencia de red: 50/60 Hz

Corriente nominal de entrada (para una instalación con impedancia de red de 1%): 1.2 A

Salida:

Potencia aparente nominal: 0.8 kVA

Corriente de salida nominal: 1.0 A

Corriente de salida nominal (corriente máxima: este régimen de operación puede durar, como máximo, 1 minuto y ocurrir con intervalos mínimos de 10 minutos): 1.5 A

Motor máximo: 0.25 HP

Otras:

Potencia disipada: 25 W

Frecuencia de conmutación: 2.5-10 kHz

Aprobación UL

Aprobación CE

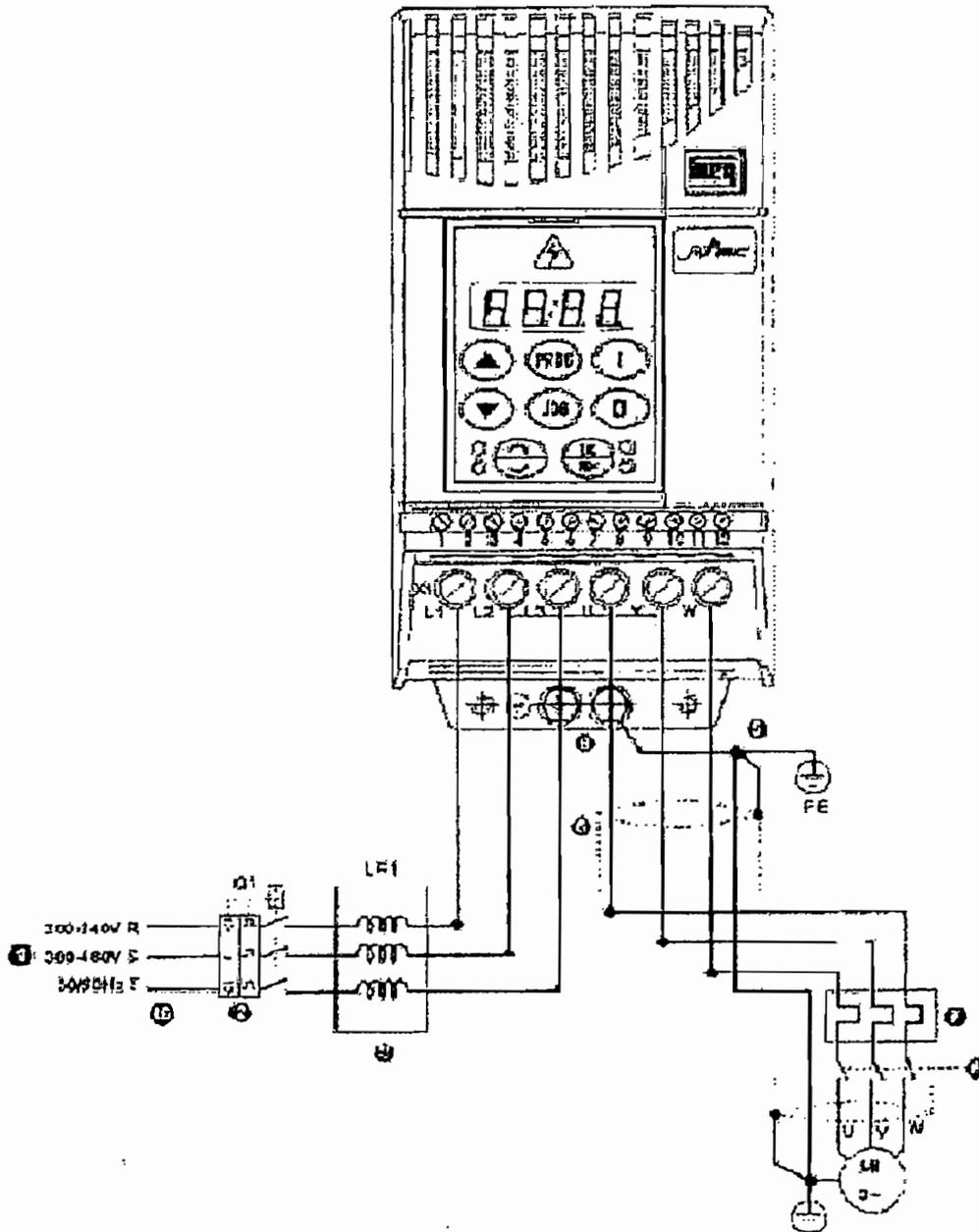


Fig. 3.4 Conexiones de Potencia

Características mecánicas

- Dimensiones 151x75x131 mm
- Peso 1.0 Kg (2.20 Lb)
- Color Gris
- Grado de protección IP-20 (NEMA 1 con kit)

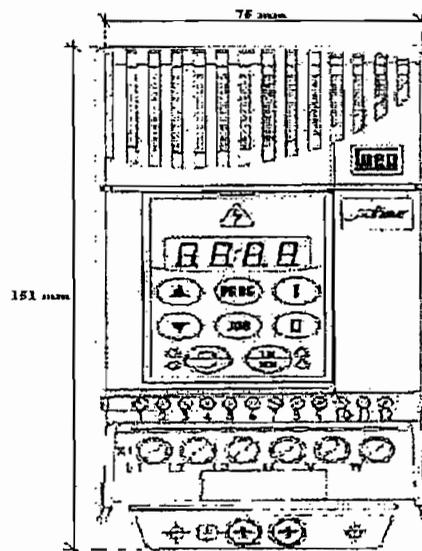


Fig. 3.5 Características mecánicas

3.1.5 MOTOREDUCTOR

Los Motoredutores actuales se caracterizan por el moderno diseño de todos sus componentes, reduciendo al máximo sus dimensiones y peso, sin disminuir su resistencia y rigidez mecánica. La perfecta construcción, que se obtiene en los procesos de fabricación, le confiere una alta calidad estética que permite su utilización en una amplia gama de aplicaciones

La vida útil del motoreductor depende de la vida útil del aislamiento del bobinado. Esto se refiere al proceso de su envejecimiento. La humedad, vibraciones, el calor, el polvo, el aceite y los vapores corrosivos combinados con las fuerzas eléctricas van debilitando progresivamente el aislamiento. Cuando el aislamiento ha perdido su integridad física no resistirá más los esfuerzos normales dieléctricos, mecánicos o ambientales, produciéndose la falla de tierra. Aquí no se considera los esfuerzos excesivos como una temperatura de operación alta o un excesivo sobrevoltaje, que de por sí causará la falla sin hacer caso de la cantidad de envejecimiento.

Aplicaciones de los Motores Reductores en la Industria

- Agitadores
- Transportadores de banda
- Transportadores de gusano
- Instalaciones de grúas
- Transmisiones viajeras
- Ventiladores para torres de enfriamiento
- Transportadores de aserrín
- Transmisiones de bombas

Clasificación de los Motores Reductores Comerciales

- Motores Reductores y reductores de engranes helicoidales - cónicos

Los motores reductores y reductores de engranes helicoidales y cónicos tienen flechas a 90 grados y una gran diversidad.

Potencia : 0.12 hasta 160 Kw

Torque : 200 hasta 25000 Nm

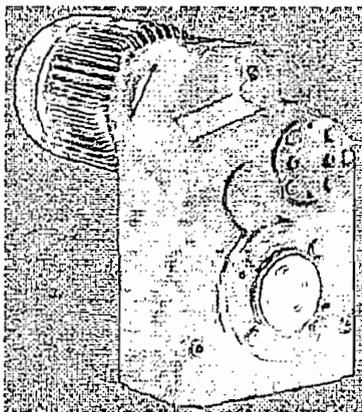


Fig. 3.6 Motores Reductores de engranes

Sus Ventajas son:

- Larga vida de servicio del Sistema de ensamble modular con interfaces variables para cada uso
- Optimo comportamiento de ruido

- Altos rangos de relaciones de transmisión
 - Alta eficiencia
 - Alta capacidad de potencia transmitida.
- Motoreductor de velocidad variable

Amplio rango de RPM. Rango de potencia desde 0,25 Kw a 15 Kw

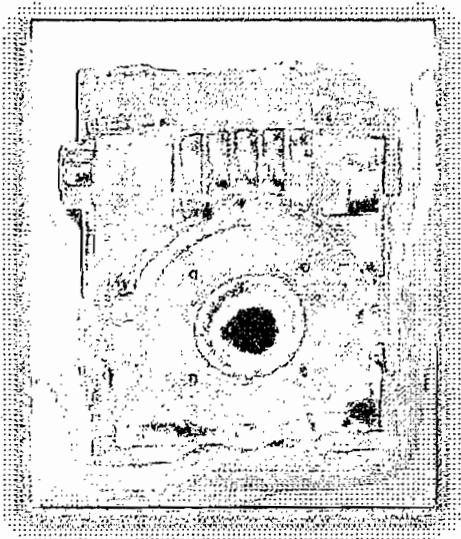


Fig. 3.7 motoreductor variable

- Motoreductores coaxiales

Motoreductores y reductores con ejes concéntricos de engranajes cilíndricos con dientes helicoidales cementados y rectificadas.

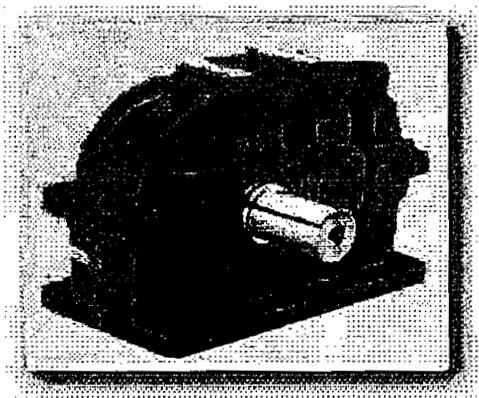


Fig. 3.8 Motoreductor coaxiales

- Motoreductores A Sinfín Y Corona Línea Universal

Potencias desde 0,074 Kw hasta 15 Kw. Relaciones desde 1/10 hasta 1/3600.

Momentos desde 5 Nm hasta 2.200 Nm

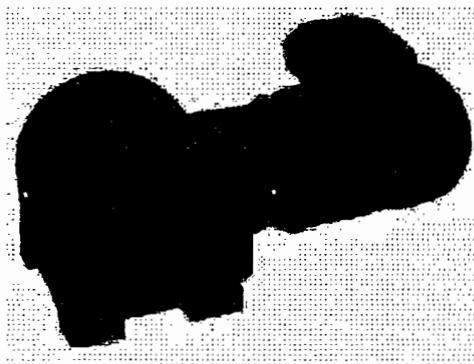


Fig. 3.9 motoreductor sin fin

- Motores y Reductores a Engranajes Coaxiales Lineales

Potencias desde 0,18 KW hasta 75 KW.

Relaciones desde 1/15 hasta 1/600.

Momentos desde 50 Nm hasta 11.000 Nm



Fig. 3.10 motoreductor a engranajes

- Motoreductores a sinfín y corona

La nueva serie de motoreductores y reductores de sinfín y corona se caracteriza por el moderno diseño de todos sus componentes. Se ha cuidado especialmente

el diseño del cuerpo, construido en aluminio, reduciendo al máximo sus dimensiones y peso, sin disminuir su resistencia y rigidez mecánica.

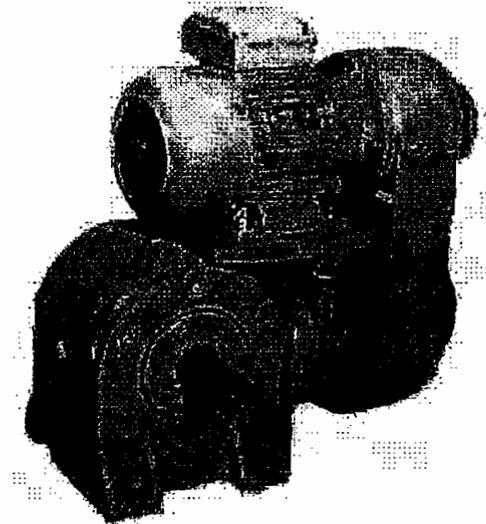


Fig. 3.11 motoreductor sinfn y corona

3.1.6 SELECCIÓN DEL MOTOREDUCTOR

En caso de que se desee fijar la velocidad de la estación móvil del canal hidrodinámico (se recomienda 100 R.P.M.) en un valor determinado se puede utilizar un motoreductor en vez del motor de inducción conectado a un variador de frecuencia.

El motoreductor debe cumplir con las características eléctricas fijadas para el motor de inducción trifásico (1/4 HP, 460V, 1 A). De acuerdo a estas características el motoreductor que más se ajusta a los requerimientos del sistema es el similar al E513 USMOTORS.

3.1.7 MOTOREDUCTOR E513

Motoreductor trifásico US MOTORS. Cuenta con un convertidor de frecuencia integrado.

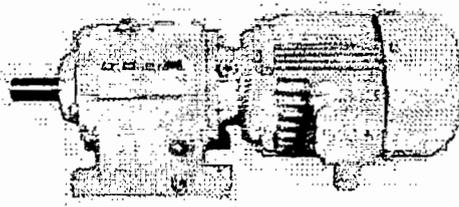


Fig. 3.12 Motoreductor US-Motors

Características:

- Potencia: 3/4 HP
- Torque máximo 81 Nm
- Voltaje: 230/460 V
- Velocidad: 100 R.P.M.
- Disponible para todas las posiciones de montaje e índices de reducción del sistema de accionamientos modular SEW
- Amplia gama de funciones de protección y vigilancia
- Bajo nivel de ruido
- Control de freno integrado
- Alto índice de protección (IP 65) para uso en ambiente húmedo
- Evaluación de termistor PTC o vigilancia de temperatura bimetálica integradas para protección térmica de motor

Características Constructivas

- Cuerpo exterior

Fundido en aluminio. El proceso de fundición, junto con otras tecnologías de punta y materiales utilizados en su producción y en particular la mecanización de los alojamientos en modernos centro de mecanizado, le confieren una excelente precisión, robustez y fiabilidad.

El particular diseño estructural adoptado permite obtener una ventajosa relación peso/potencia, con una alta disipación térmica que permite utilizarlo al máximo de prestaciones, alcanzando temperaturas de trabajo de 85° a 90° C.

- Capacidad de transmisión

Calculadas según las premisas indicadas por las normas AGMA

- Lubricación

Viene dotado de lubricación de por vida, con el tipo y cantidad adecuado para su normal utilización en cualquier posición de montaje, eliminando así totalmente cualquier operación de mantenimiento.

3.1.8 CIRCUITO PARA INVERTIR EL SENTIDO DE GIRO DEL MOTOREDUCTOR

El mecanismo que rige el movimiento del sensor móvil permite, una vez que el sensor ha llegado al final del canal, que éste regrese. La siguiente figura muestra el circuito de fuerza para la inversión de giro del motoreductor:

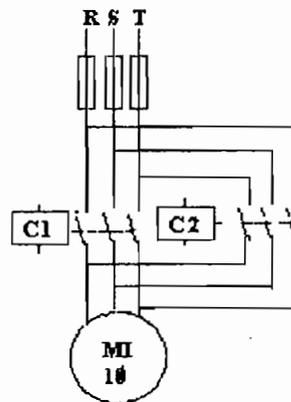


Fig. 3.13 Circuito de Fuerza para la inversión de giro

El circuito permite que el motor gire en sentido antihorario si se activa C1. Con C2 el motor gira en sentido horario debido a que se han cambiado dos fases en su alimentación.

Las especificaciones de los contactores vienen determinadas por las características del motor de inducción, por lo tanto: $V_e = 120V$, $I_e = 10.5A$, categoría AC3.

El control (fig. 3.18) para que el motor funcione en sentido horario o antihorario se lo hace mediante dos relés electromagnéticos conectados a las salidas digitales de la tarjeta de adquisición de datos.

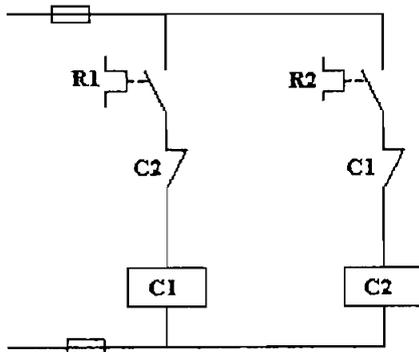


Fig. 3.14 Circuito de Control con relés

3.1.9 FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Para polarizar los amplificadores operacionales utilizados en los diferentes circuitos son necesarias fuentes de corriente directa de 5 V y 12 V.

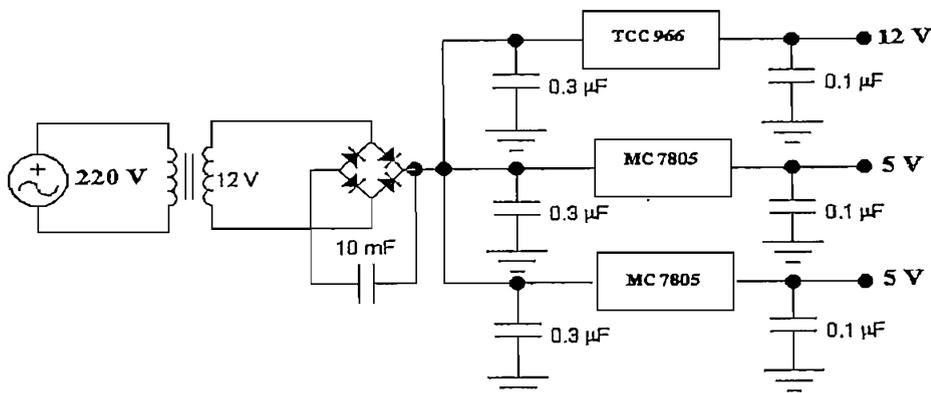


Fig. 3.15 Fuentes de Alimentación

$V_{PR} = 400V$

$I_{DIODOS} = 2A$

C filtra la señal

3.2 CONTROL DE LA VÁLVULA QUE REGULA EL FLUJO DE AGUA QUE INGRESA AL CANAL

En el canal hidrodinámico el flujo de agua que ingresa al tanque está regulado por una válvula tipo compuerta¹ (marca CLOW), la cual es operada actualmente en forma manual. En el proyecto se ha considerado cambiar la válvula por otra tipo mariposa que produce un cierre hermético a prueba de goteo y es un excelente dispositivo de control tipo on/off. Para abrirla por completo se requiere de una rotación del disco de 90 grados como se puede apreciar en la figura 3.19.

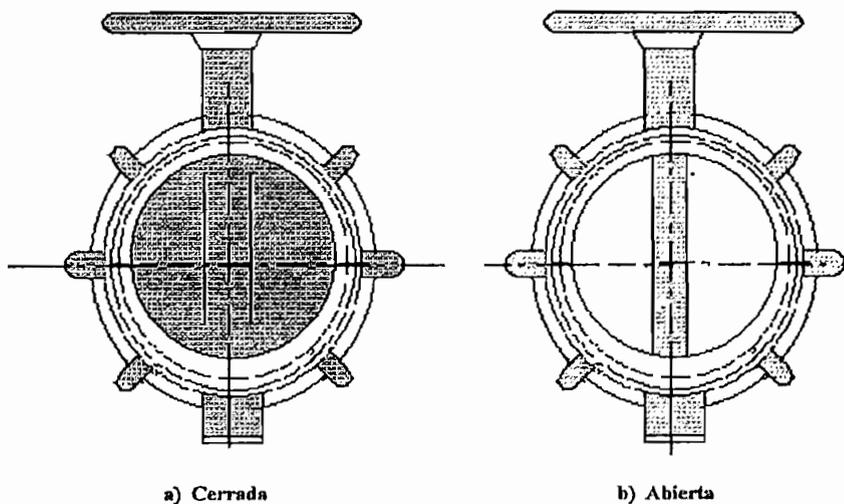


Fig. 3.16 válvula Tipo Mariposa

Esta característica de apertura permite que la velocidad del flujo no cambie porque el fluido circula en forma aerodinámica alrededor del disco, produciendo una caída de presión mínima.

Las especificaciones técnicas² en cuanto a torque, presión y talla para este tipo de válvula son:

¹ Anexo "B"

⁶ Anexo "A"

Talla (pulgadas)	Torque de ruptura (Lb-plg) Al eje	Presión (Psi)
12"	3875	100

En la actualidad es mucho más fácil realizar el control de la válvula utilizando una servoválvula o acoplando un actuador (eléctrico o hidráulico).

Dadas las características y dimensiones de la válvula, la mejor opción es acoplar un actuador eléctrico para el control.

3.2.1 ACTUADORES

Un actuador es un dispositivo que produce un movimiento lineal o rotativo por medio de una fuente de energía que puede ser eléctrica (alterna o continua) o de fluidos (neumática o hidráulica). Es activado bajo la acción de una señal de control.

La función básica de un actuador es proveer dos condiciones de operación: ON/OFF y la operación de cambio de giro. En la actualidad todos los actuadores vienen equipados con dispositivos detectores de posición, de torque, protección para el motor, control lógico y control PID; integrados en un módulo compacto para protegerlo de las condiciones del medio.

Los actuadores se pueden clasificar de varias formas pero dadas las condiciones del sistema, se clasifican en dos grupos: actuadores multivuelta y de $\frac{1}{4}$ de vuelta.

Actuadores Multivuelta

Se trata de actuadores que pueden utilizar: un vástago que sube sin rotar, un vástago que sube y rota ó un vástago que rota pero no sube. Son utilizados

para el control de válvulas tipo compuerta, de globo, tipo cuchilla, válvulas para esclusas, etc.

El principal problema de un actuador multivuelta es que la válvula queda en la última posición y no es posible alcanzar una posición segura en caso de falla eléctrica.

Los actuadores multivuelta son seleccionados de acuerdo al requerimiento específico de voltaje de alimentación, empuje, cantidad de revoluciones por minuto y diámetro del vástago de la válvula.

Actuadores de ¼ de vuelta

Este grupo incluye válvulas tipo mariposa, tapón, bola y dampers. Para accionar este tipo de válvulas se requiere de un simple movimiento de 90°, con el torque adecuado en función de la carga a la que se encuentra sometido. No produce daños por inversión de rotación.

Provee: protección al motor en caso de válvula atascada, medición continua de torque, diagnóstico de la válvula y un sistema de respaldo por baterías, entre otras características.

Los actuadores de 1/4 de vuelta (90° de carrera) son seleccionados de acuerdo al requerimiento específico de voltaje de alimentación, torque, tiempo de operación y diámetro del vástago de la válvula.

3.2.2 SELECCIÓN DEL ACTUADOR ELÉCTRICO

Para el tipo de válvula y control on/off que se desea implementar en este proyecto, se elige para el control de apertura y cierre de la válvula un actuador

eléctrico de $\frac{1}{4}$ de vuelta, ya que es seguro, económico, de rápida respuesta y más común en el mercado que el multivuelta.

Para una válvula con características técnicas similares a las del proyecto, el actuador más adecuado es de la serie 2000 EIM M/MG03 (fig. 3.20).

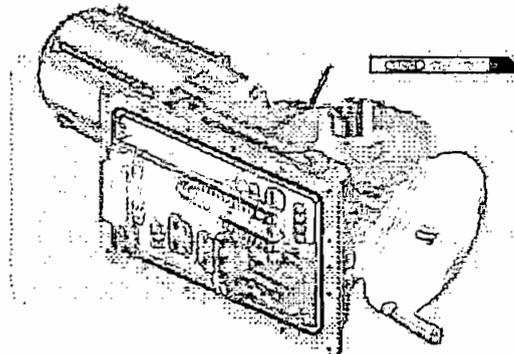


Fig. 3.17 Actuador serie 2000

3.2.3 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DEL ACTUADOR SERIE 2000

1. Control Modular M2CP: garantiza que futuras actualizaciones puedan ser fácilmente realizadas porque el módulo completo o cada una de sus partes puede ser removido y reemplazado en minutos.
2. Panel integral de control: Permite ingresar señales de control analógicas o digitales. Tiene potenciómetros de posicionamiento que actúan como finales de carrera, emitiendo una señal eléctrica cuando ha llegado a su máxima apertura ó está en cierre total lo que permite establecer la posición de la válvula en cualquier instante.
3. Contactor Inversor: Está montado sobre una riel DIN, lo que permite su remoción y reinserción con facilidad.
4. Amplio rango de Capacidad de Torque: Con valores hasta 150.000 ft-lb (203.370 Nm).
5. Tiempo de operación: De 5 segundos a 15 minutos (sin necesidad del uso de timers de impulso).

6. Alimentación eléctrica: De acuerdo a los requerimientos del sistema puede ser:

- Trifásico a 60Hz: 208 –220 –230-240 –380-416 –460-480-575 V.
- Monofásico a 60 Hz: 110 –208-220-380-400-415 V.
- Continua: 24-48-126 V.

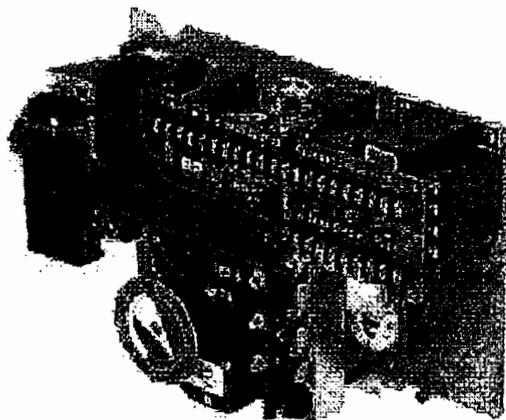


Fig. 3.18 Módulo de Control

3.2.4 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL ACTUADOR SERIE 2000

1. Motores: Son sellados y emplean un mínimo de configuraciones de montaje para una máxima intercambiabilidad. El motor y los engranajes forman una unidad modular montada al actuador con sólo 8 agarres fácilmente accesibles. Los motores son provistos de protección térmica por sobrecarga que sensa la temperatura del bobinado y corta el circuito de control antes que se produzca un daño en el motor.
2. Engranajes de Empuje: Son de aleación de acero y ranurados para permitir un máximo agarre. Los juegos de engranajes son de fácil instalación e intercambiables. Pueden ser armados para relaciones de reducción simple o doble, de acuerdo al tiempo de actuación requerida. Un amplio rango de engranajes de reducción permite una gran variedad de combinaciones de torque y velocidad, de acuerdo al requerimiento específico. Cualquier

modificación futura, debida a cambios de condiciones del proceso, puede ser fácilmente realizada en campo.

3. Comando manual con sistema de embrague: Los actuadores de la serie 2000 de EIM incluyen en forma standard un volante manual, para emergencia activado por un sistema de embrague externo. El sistema de embrague, exclusivo y patentado por EIM, hace imposible el accionamiento del motor y del volante manual en forma simultánea. La energía del motor no puede ser transmitida al volante manual. El sistema habilita el accionamiento por motor, en forma automática, tan pronto la energía se restaura.
4. Caja de límites de carrera: Los límites de carrera están mecánicamente conectados al tornillo sin fin del actuador a través de los engranajes contenidos en la caja de límites. Este sistema de sensado mecánico permite monitorear en forma permanente la carrera de la válvula aún en la condición crítica de falta de energía. Tanto los switches de fin de carrera como los switches de torque mantendrán sus ajustes bajo cualquier condición, sin necesidad de fuente de alimentación ni baterías.
5. Switch de límite de torque: El ajuste del switch de torque determina la fuerza máxima que puede producir el actuador antes de que el arrancador del motor se energice. Tiene ajustes independientes para cerrar o abrir, lo que permite un diferente torque para cada dirección. Los ajustes son controlados por un dial indicador de posición con 10 divisiones

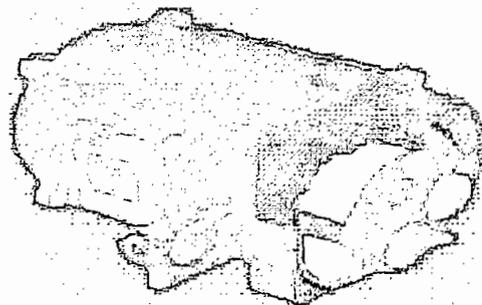


Fig. 3.19 Motor del Actuador serie 2000

3.2.5 CONEXIONES ELÉCTRICAS

3.2.5.1 Alimentación

El actuador se conecta directamente a la fuente. Tiene incorporado internamente fusibles de protección y conexión a tierra. El mecanismo del actuador puede ser accionado:

- Manualmente con dos botones pulsadores, uno para abrir y otro para cerrar la válvula.
- Por una señal eléctrica de 5 V que activa el módulo de control.

En el caso de la válvula que regula el flujo de agua al tanque del canal, es necesario que el actuador se apague solamente cuando la válvula esté completamente abierta ó completamente cerrada.

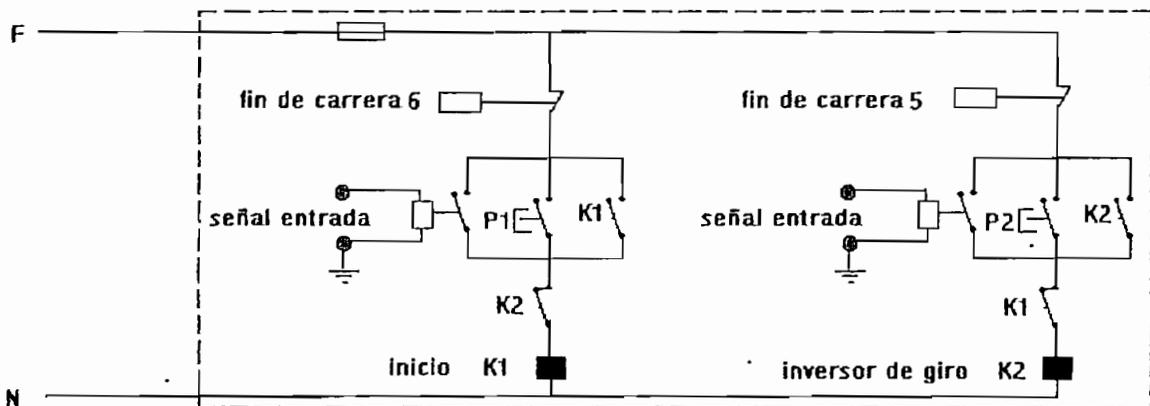


Fig. 3.20 conexión interna de encendido del actuador

3.2.5.2 Señales de control

El actuador tiene un módulo con 48 puntos de conexión (fig. 3.24), al cual convergen todas las señales de entrada/salida (analógicas y digitales) y los controles externos. Los puntos de conexión están protegidos individualmente con fusibles y conexión a tierra.

Para el proyecto del canal hidrodinámico se necesita una tarjeta de adquisición de datos con las siguientes características:

- Entradas analógicas: 6
- Entradas digitales: 10
- Salidas Digitales: 8
- Compatible con el Software de la National Instruments (Lookout)

La tarjeta de adquisición de datos que mejor se ajusta a los requerimientos del sistema es la similar a la PCI-6034E (fig. 3.25) cuyas características son:

- Velocidad de muestreo: 200 Kb/s
- 12 bits de precisión en 16 canales de terminal común
- Disparo por eventos digitales
- 2 contadores de 24 bits hasta 20 MHz
- Entradas analógicas: 16 (8 diferenciales)
- Salidas analógicas: 2
- Líneas de entrada digital: 10
- Líneas de E/S digital: 8
- Alimentación eléctrica (Vcc): +5V
- Es económica.

- Compatible con software desarrollado por la National Instruments (Labview, Lookout) en todas sus versiones.

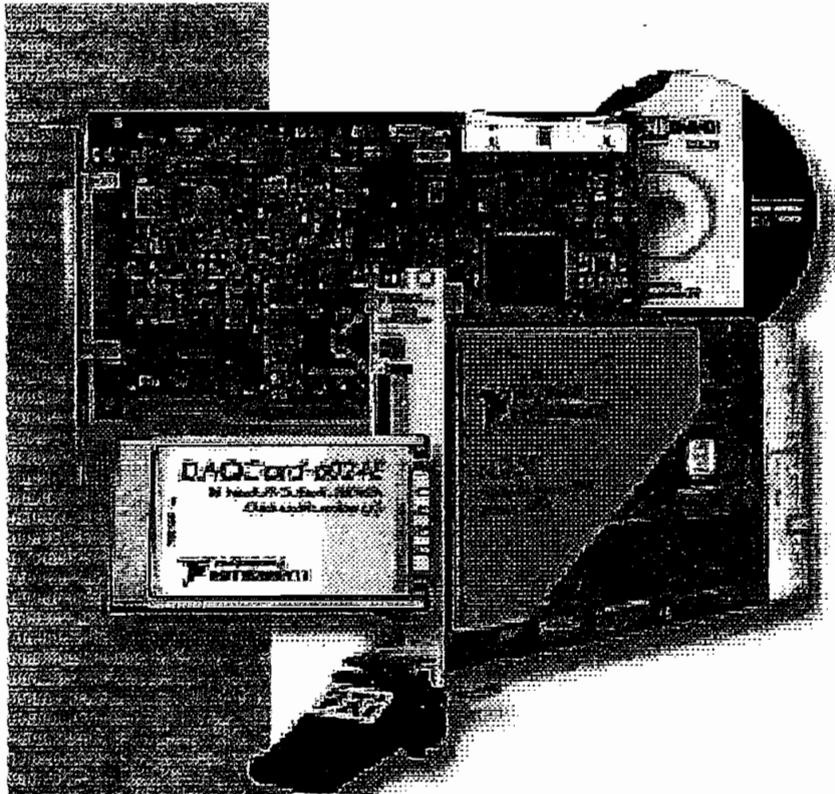


Fig. 3.22 Tarjeta de Adquisición de Datos PCI-6034E

La tarjeta PCI-6034E tiene, en una amplia gama de aplicaciones, un alto desempeño y confiabilidad en las tareas de adquisición de datos. Incluye un módulo de conectores, la fuente de alimentación y el software de instalación.

El software para la instalación de la tarjeta es de fácil manejo y opera bajo plataforma Windows. Una vez instalada, Lookout la reconoce y se establece la comunicación entre el programa y la tarjeta de adquisición de datos.

• Conexión a la tarjeta PCI-6034E

Señales analógicas de entrada

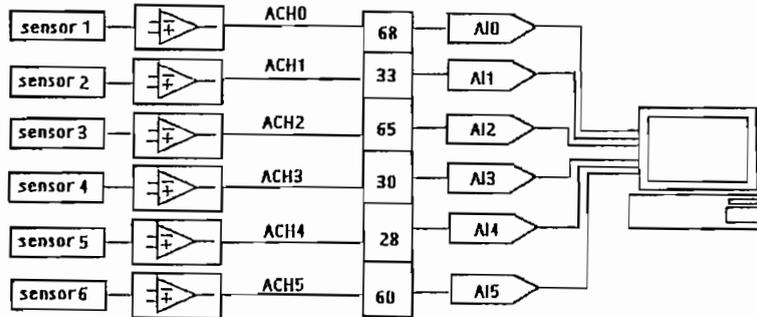


Fig. 3.23 Conexión de los Sensores ultrasónicos a la tarjeta de adquisición de datos

Señales de entrada/salida digitales

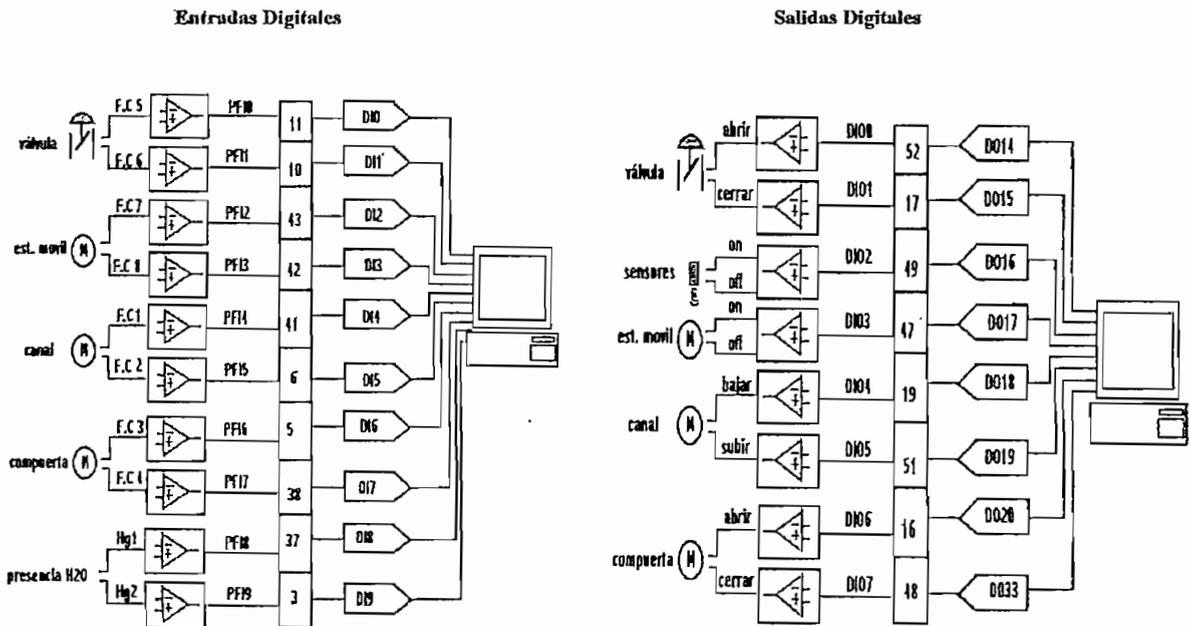


Fig. 3.24 Conexión de los Elementos emisores de señal (entradas) y elementos de mando (salidas)

3.3.2 CARACTERÍSTICAS DEL COMPUTADOR

En la actualidad el computador es una herramienta indispensable para el desarrollo de sistemas de instrumentación virtual y automatización. Mientras mejores sean las características en cuanto a capacidad de memoria y velocidad de respuesta, la supervisión y monitoreo del sistema será más efectivo.

El departamento de ciencias del Agua (CIERHI), tiene un computador CompaQ para la supervisión y control de canal hidráulico con las siguientes características:

- Pentium MMX
- Velocidad: 200 MHz
- Memoria RAM: 80 Mbytes
- Disco Duro: 1 GHz

3.3.3 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES

• Amplificación de la Señal de salida

En el proyecto de automatización del canal hidrodinámico es necesario acondicionar todas las señales de salida digitales de la tarjeta de adquisición de datos PCI-6034E, para activar los relés auxiliares externos, mediante los cuales se realizan las diferentes acciones de control.

El siguiente circuito (fig. 3.28) ilustra el acondicionamiento para una señal de salida digital.

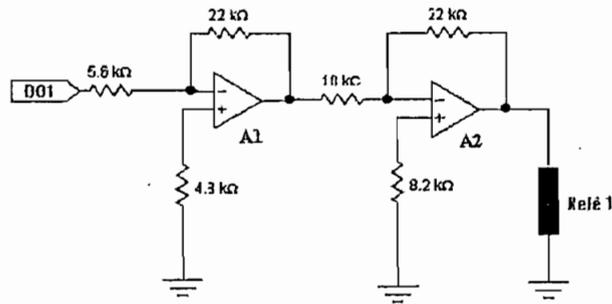


Fig. 3.25 Amplificación de señal

De la ecuación

$$v_o = -\frac{R_f}{R_i} * v_i$$

Para el amplificador A1

si

$v_i = 2.5 \text{ V}$ (Voltaje de salida de la tarjeta de Adquisición de datos)

$$\Delta A = \frac{v_o}{v_i} = 4 \text{ (ganancia del amplificador)}$$

$$R_f = 22 \text{ k}\Omega$$

se tiene que

$$v_o = -10 \text{ Vdc}$$

$$R_i \approx 5.6 \text{ K}\Omega$$

Para el amplificador A2

si

$$v_i = -10 \text{ V}$$

$$\Delta A = \frac{v_o}{v_i} = 2.2 \text{ (ganancia del amplificador)}$$

$$R_f = 22 \text{ k}\Omega$$

se tiene que

$$v_o = 22 \text{ Vdc}$$

$$R_i \approx 10 \text{ K}\Omega$$

• **Convertor corriente a voltaje**

La señal de salida de los sensores de nivel debe ser enviada a la tarjeta de adquisición de datos (en el computador), que se encuentra a cierta distancia del punto de medición, lo cual puede originar problemas de caída de tensión y consecuentemente, defectos en la transmisión de señal. Este problema puede ser eliminado si la información se transmite a través de una señal de corriente y no de voltaje.

El sensor ultrasónico utilizado puede transmitir en forma de corriente pero, en la tarjeta de adquisición de datos solo es posible recibir información en forma de voltaje, por lo que es necesario disponer de un circuito (fig. 3.29) que reciba la información de corriente y la transforme a una señal de voltaje a fin de que pueda ser procesada por el programa de adquisición de datos.

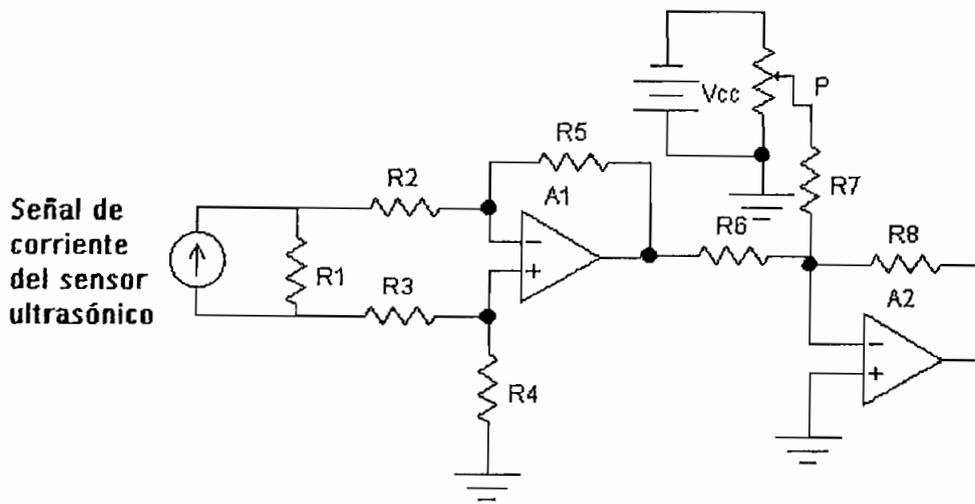


Fig. 3.26 Convertor Corriente a Voltaje

La corriente recibida atraviesa R₁ para convertirla a voltaje. Este voltaje se amplifica hasta los niveles de 0 a 10V. Además, el circuito cuenta con una corriente fija para anular el efecto que produce la corriente de 4 mA correspondiente a los 0V y recupera la señal de 0V al convertir la señal de corriente a voltaje.

Amplificador Diferencial A₁

Convierte la diferencia de tensión en los extremos de la resistencia en un voltaje que se halla referido a tierra

De la ecuación:

$$V = I * R$$

$$I : 4 - 20mA$$

$$R = \frac{V_{\text{máx}}}{I_{\text{máx}}} = 500\Omega$$

$$W = I^2 * R = 10W$$

$$V_{\text{mín}} = I_{\text{mín}} * R = 2V$$

Entonces:

$$I=4mA \quad V_o=-2V$$

$$I=20mA \quad V_o=-10V$$

Sumador Inversor A₂

Con un voltaje fijo anula el efecto de los 4 mA correspondientes a 0V y a la vez amplifica el resultado para conseguir la variación de 0 a 10V.

De acuerdo a los valores de voltaje de salida del amplificador diferencial tenemos en el sumador inversor:

$$V_{\text{in}} = -2V \quad V_o = 0V$$

$$V_{\text{in}} = -10V \quad V_o = 10V$$

De la ecuación

$$V_o = R_8 * \left(\frac{V_{o1}}{R_6} - \frac{V_{cc}}{R_7} \right)$$

se deduce:

$$R_6 = 200\Omega$$

$$R_7 = 800\Omega$$

$$R_8 = 1.25 \text{ k}\Omega$$

Además, se utiliza un potenciómetro de $1\text{k}\Omega$ para variar el valor de la fuente de continua.

CAPÍTULO 4.

PROGRAMA DE SUPERVISIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS

4 PROGRAMA DE SUPERVISIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS

Adquisición de datos es la colección de información mediante la cual se puede conocer la dinámica de un sistema. El hacerlo en “tiempo real” significa que el sistema realiza esta adquisición en un “apropiado” intervalo de tiempo, de acuerdo con los requerimientos de velocidad y precisión de la aplicación.

En el caso de la medición de la variable que va a ser monitoreada, el sistema interactúa con el proceso a través del sensor de nivel. El sensor realiza la conversión de la magnitud física a una señal eléctrica, en los rangos adecuados para que pueda ser reconocida por la tarjeta de adquisición de datos. Este dato se procesa y se almacena en el computador.

De igual forma se actúa sobre los canales de salida, a través de los cuales se activan relés auxiliares externos, que controlan el movimiento de los motores del actuador y del servomecanismo del sensor móvil.

4.1 CARACTERÍSTICAS DE LOOKOUT

Lookout es un software desarrollado por la National Instruments para realizar adquisición de datos y control de supervisión en aplicaciones industriales, tales como: procesos de preparación de comida, embotellamiento de bebidas, plantas petroquímicas, automatización en edificios, control y operación de plantas de energía, control del suministro de agua, etc.

Para controlar, supervisar, modificar, analizar y obtener reportes sobre los procesos, no se requiere conocer técnicas de programación convencionales, lo que se hace es simplemente una configuración y adaptación de la plataforma de Lookout a los requerimientos de la aplicación. Adicionalmente, es posible a

través de una red de computadoras, supervisar y monitorear el proceso desde cualquier terminal conectado a dicha red o al Internet.

Para crear un proyecto dentro de Lookout se siguen los siguientes pasos:

1. Seleccionar el tipo de objeto de la biblioteca de Lookout o de aquellos creados por el usuario.
2. Configurar el objeto.
3. Hacer las conexiones entre los objetos mediante una caja de diálogo.

Cada objeto que representa un Controlador de la Lógica Programable (PLC), una Unidad Terminal Remota (RTU), una tarjeta de adquisición de datos ó un Controlador de Protocolos de Comunicación incluye un manejador de protocolo que permite al objeto virtual comunicarse con el dispositivo físico.

La programación se hace conectando las bases de datos de los objetos juntas ó conectando miembros de bases de datos a parámetros, usando comandos lógicos, numéricos o de texto.

Una característica propia de Lookout es la de "Evento Manejado" y significa que el programa es notificado inmediatamente cuando un cambio ocurre en un setpoint, en una I/O ó en una expresión. Esta característica es la que posibilita el modificar un proceso mientras la aplicación está siendo ejecutada, supervisar alarmas y eventos generados.

La base de datos de Lookout se actualiza continuamente y en tiempo real, intercambia datos con otras aplicaciones (p.e. Excel) y con otras bases de datos, locales o remotas

Lookout está desarrollado bajo ambiente "Windows" y los requerimientos mínimos de hardware para su instalación son:

- Procesador "PENTIUM" de 90 MHz.
- Memoria de 32 RAM
- Windows 95/ NT versión 4
- Espacio libre de 65 MB (dependiendo de los datos que serán almacenados en la base de datos)
- Para trabajar en red: TCP/IP instalado
- Para crear un cliente web: Microsoft Explorer versión 3.2

Al hacer doble clic en el icono de Lookout aparece la pantalla de inicio, tal como indica la figura 4.1

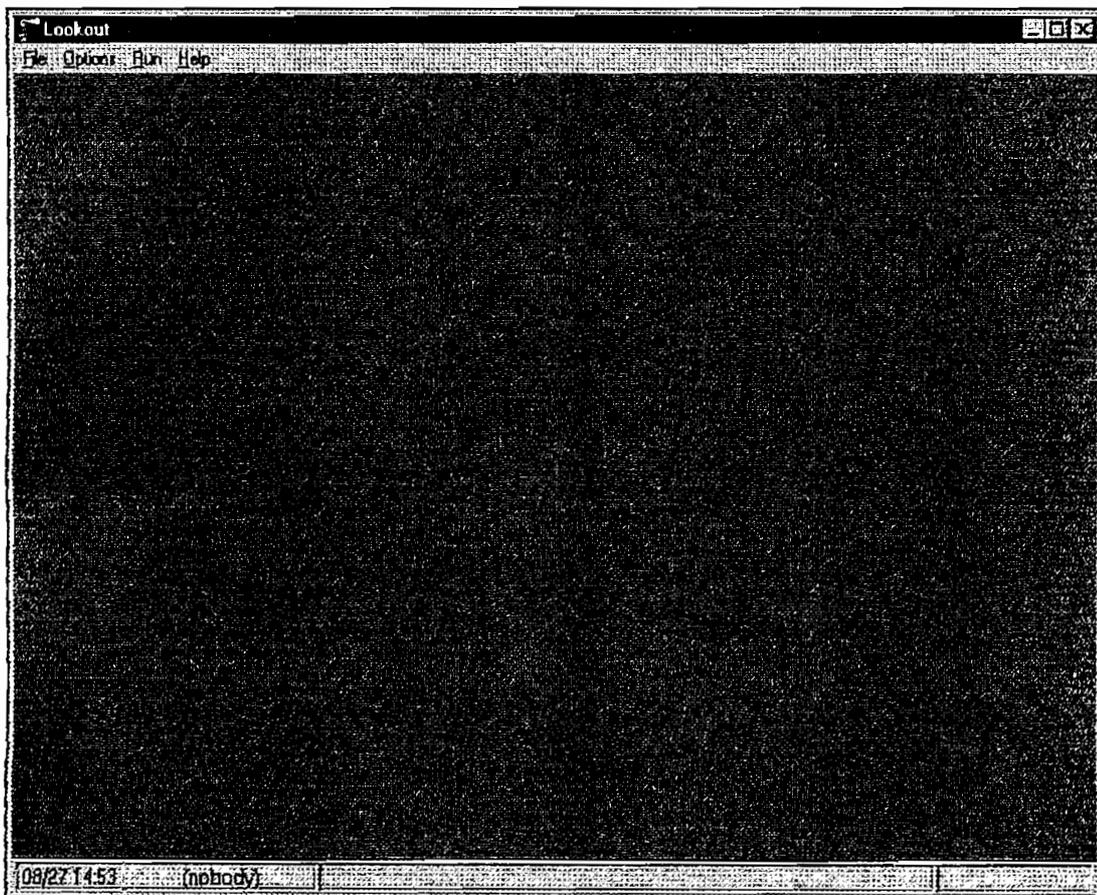


Fig. 4.1 Pantalla de inicio de Lookout

Una vez que se ha ingresado al programa se abre un archivo existente o se crean paneles para un nuevo archivo (fig. 4.3).

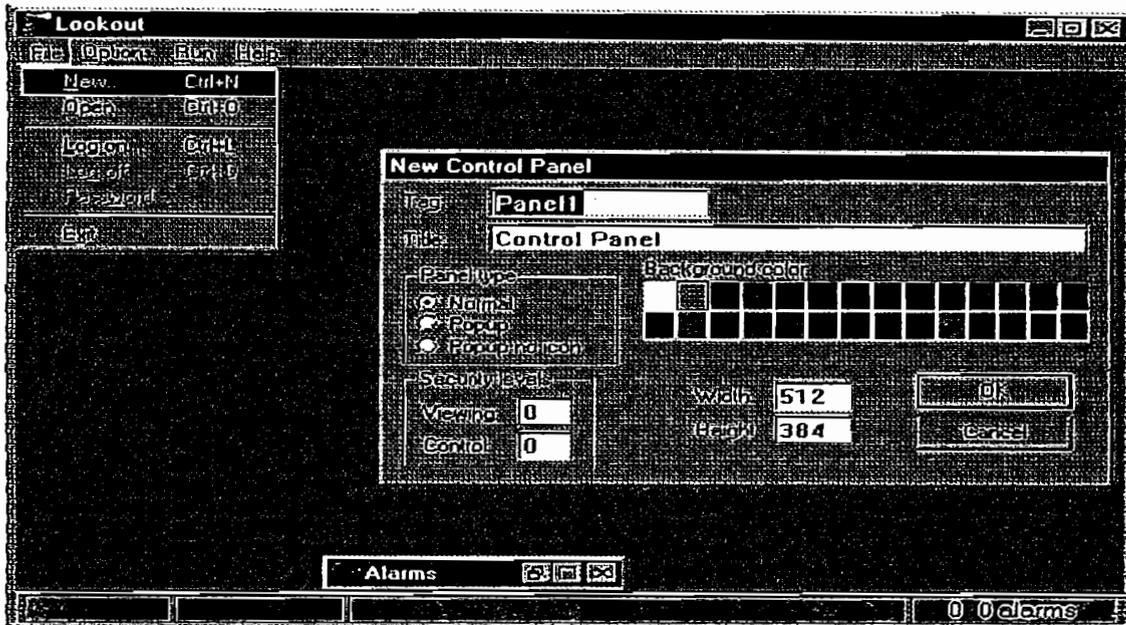


Fig. 4.3 Creación del panel de Control

4.2 CONFIGURACIÓN DE LOOKOUT PARA EL CONTROL DEL CANAL HIDRODINÁMICO

Para la supervisión y la adquisición de datos en el Canal Hidrodinámico, Lookout ha sido configurado para obtener 5 pantallas principales, 10 auxiliares y una pantalla adicional de Aviso de Alarmas, que Lookout la presenta independiente de cualquier programa.

Las pantallas principales (fig. 4.4) están distribuidas como se indica a continuación:

- Pantalla de presentación
- Pantalla Compuerta, para el control de la compuerta del canal
- Pantalla Canal, para el control de la inclinación del canal
- Pantalla de Adquisición, para la visualización de datos
- Pantalla Cerrar, para que la compuerta y el canal retornen al estado inicial

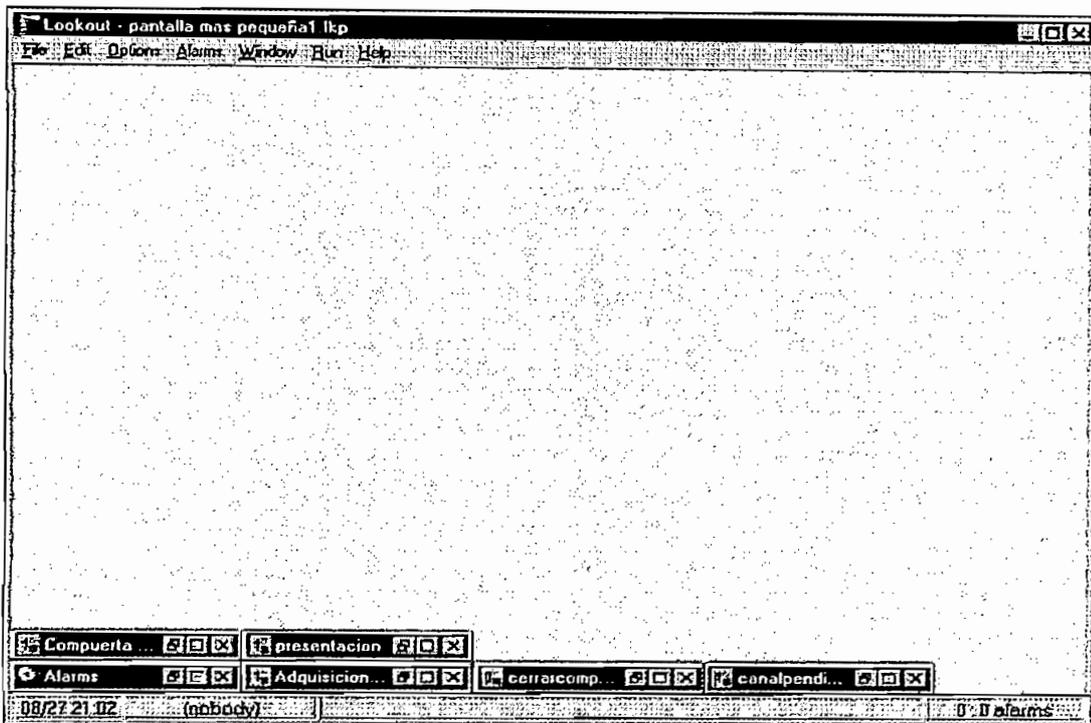


Fig. 4.4 Paneles Principales

4.2.1 CONTROL DEL CANAL HIDRODINÁMICO

El control del canal, para las diferentes pruebas a realizar, se divide en dos partes:

1. Control de la compuerta
2. Control de la inclinación

4.2.1.1 Control de la Compuerta

En esta pantalla se muestra la vista frontal del canal hidrodinámico (fig. 4.5) en donde se puede observar como se abre o cierra la compuerta.

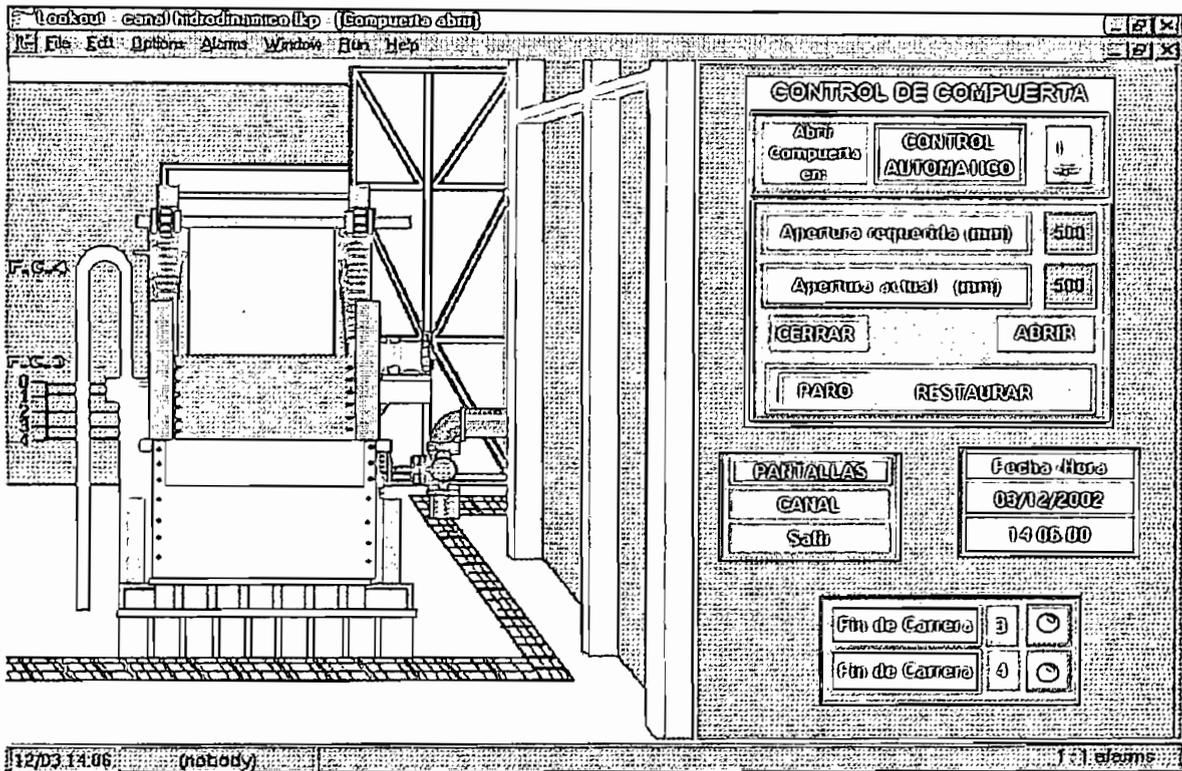


Fig. 4.5 Control de la Compuerta

En esta pantalla el operador puede seleccionar entre modo automático y modo manual.

En *Modo Manual* (fig. 4.6) todos los controles desde el computador quedan bloqueados y la compuerta solo puede ser abierta o cerrada manualmente por acción del operador.

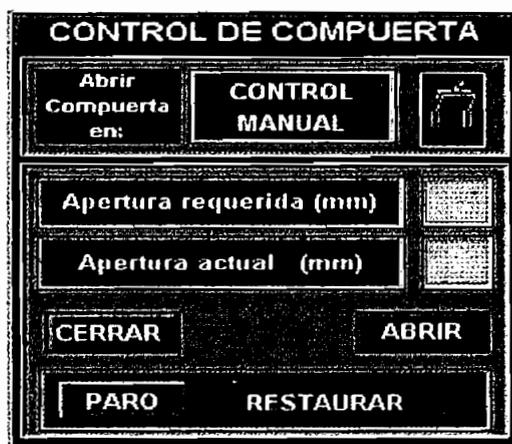


Fig. 4.6 Control Manual

Existen dos pulsadores, uno para ingresar a la pantalla de inclinación del canal hidrodinámico y otro para regresar a la pantalla de presentación.

4.2.1.2 Control de la Inclinación del Canal Hidrodinámico

La pantalla (fig. 4.8) tiene un panel de control similar al de la compuerta.

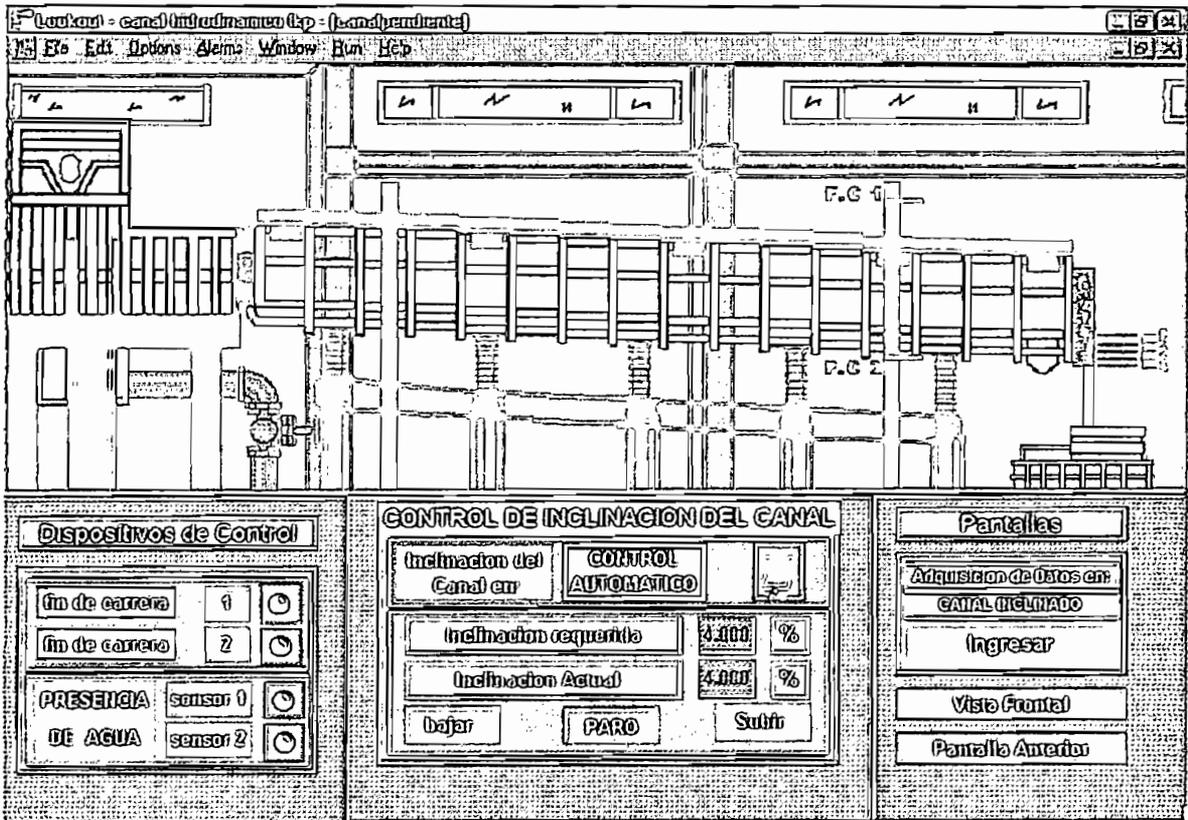


Fig. 4.8 Control de Inclinación del Canal

Al igual como en el panel anterior, tiene un interruptor que permite seleccionar el modo de control de la inclinación del canal, automático ó manual.

En modo manual (fig. 4.9) todos los controles desde el computador están bloqueados y el accionamiento de la inclinación del canal se realiza desde el tablero de control general.



Fig. 4.9 Control Manual de la Inclinación del Canal

En modo automático (fig. 4.10) los controles desde el computador están habilitados y es necesario ingresar el valor de inclinación deseada en la celda correspondiente (entre 0 y 4 %).



Fig. 4.10 Control Automático de la Inclinación del Canal

Mediante el botón "bajar", se enciende el motor que controla la inclinación del canal y permanecerá activado hasta que el canal alcance el porcentaje de inclinación ingresado por el usuario. El control de apertura se realiza por tiempo, considerando una relación lineal, entre la inclinación alcanzada por el canal y el tiempo requerido para hacerlo.

Las posiciones extremas de la compuerta, totalmente cerrada ó totalmente abierta, son controladas por finales de carrera.

Mediante el botón "Paro" se detiene el movimiento de inclinación del canal en cualquier instante.

La inclinación del canal es posible sólo cuando éste se encuentra vacío (sin agua), lo cual es detectado por dos sensores de mercurio.

La opción "subir" permite retroceder la inclinación a la posición original (totalmente horizontal) o a otro nivel que el operario considere conveniente.

Mediante los botones:

- "Pantalla Anterior", se regresa a la pantalla de Control de la compuerta
- "Ingresar", permite ir a la pantalla de visualización de datos
- "Vista Frontal", se va a una pantalla auxiliar (fig. 4.11) que muestra cómo cambia el ángulo de inclinación del canal con respecto a la horizontal.

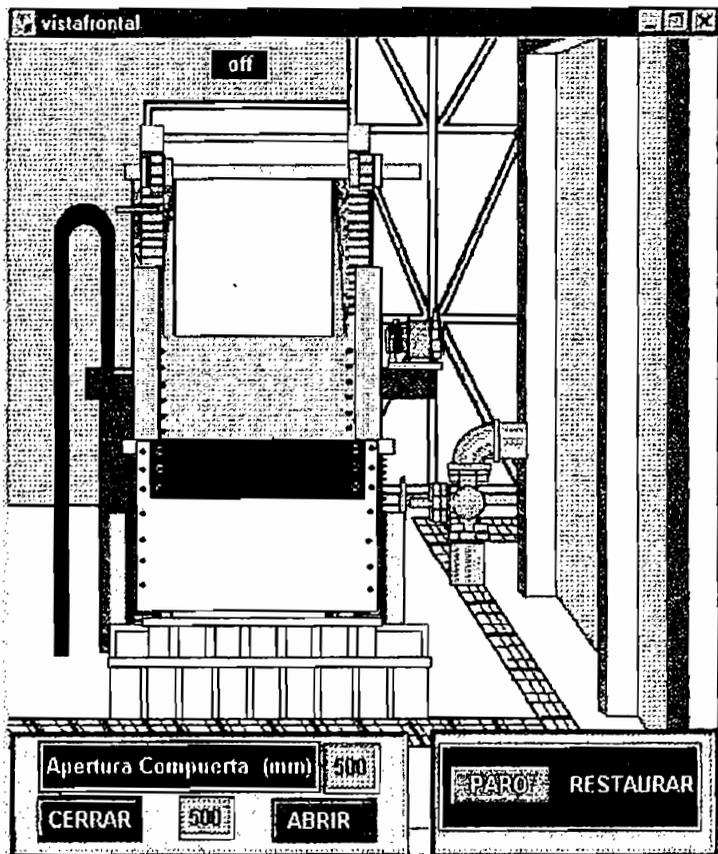


Fig. 4.11 Vista Frontal

4.2.2 PANTALLA DE VISUALIZACIÓN DE DATOS

En esta pantalla se muestran los datos de nivel, caudal y presión del canal hidrodinámico. Tiene un panel de control donde se registran los valores que resultan de las pruebas realizadas en el canal.

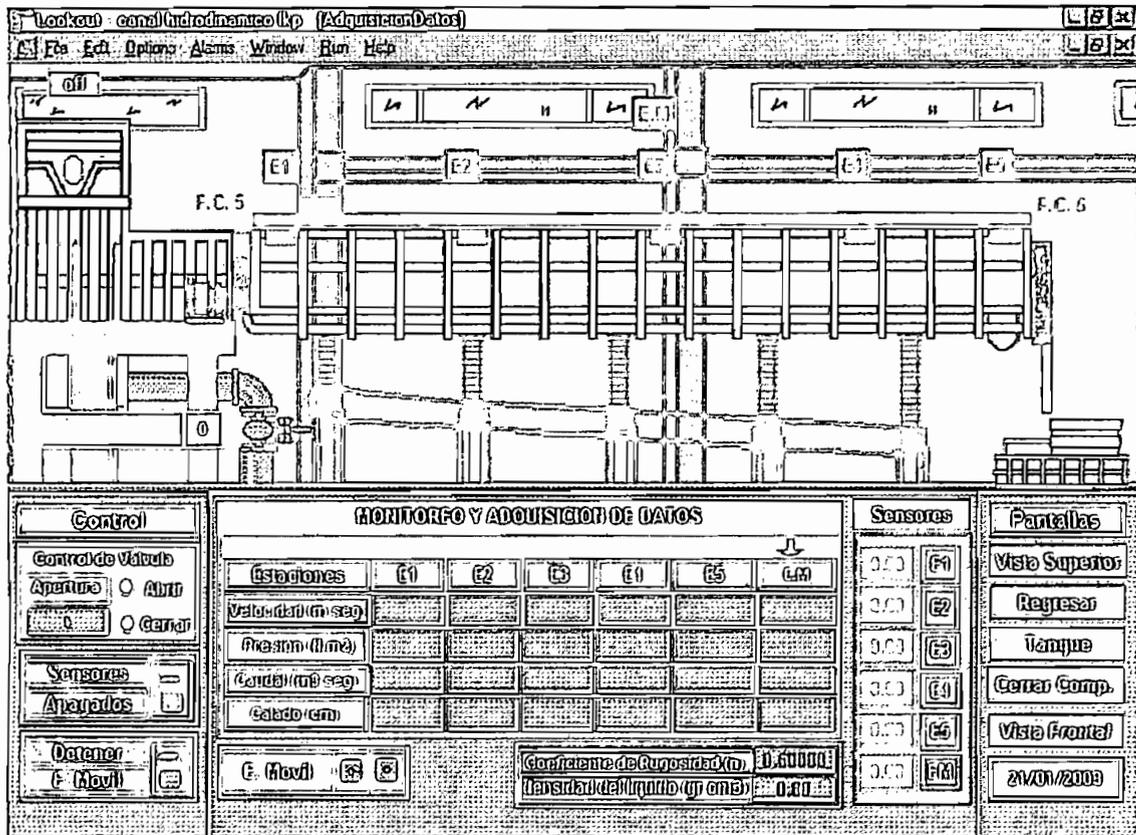


Fig. 4.12 Pantalla de visualización de datos

El panel tiene tres interruptores que se encuentran apagados al momento de ingresar a la pantalla. Cada uno trabaja en forma independiente.

El primer interruptor sirve para controlar la servoválvula que regula el ingreso de agua al canal. El segundo interruptor habilita el sensor de nivel y a las celdas correspondientes, para la adquisición de datos. El tercer interruptor habilita el mecanismo que controla el movimiento de la estación móvil a lo largo del canal.

Cuando los tres interruptores están activados, la pantalla se ve como en la figura 4.13.

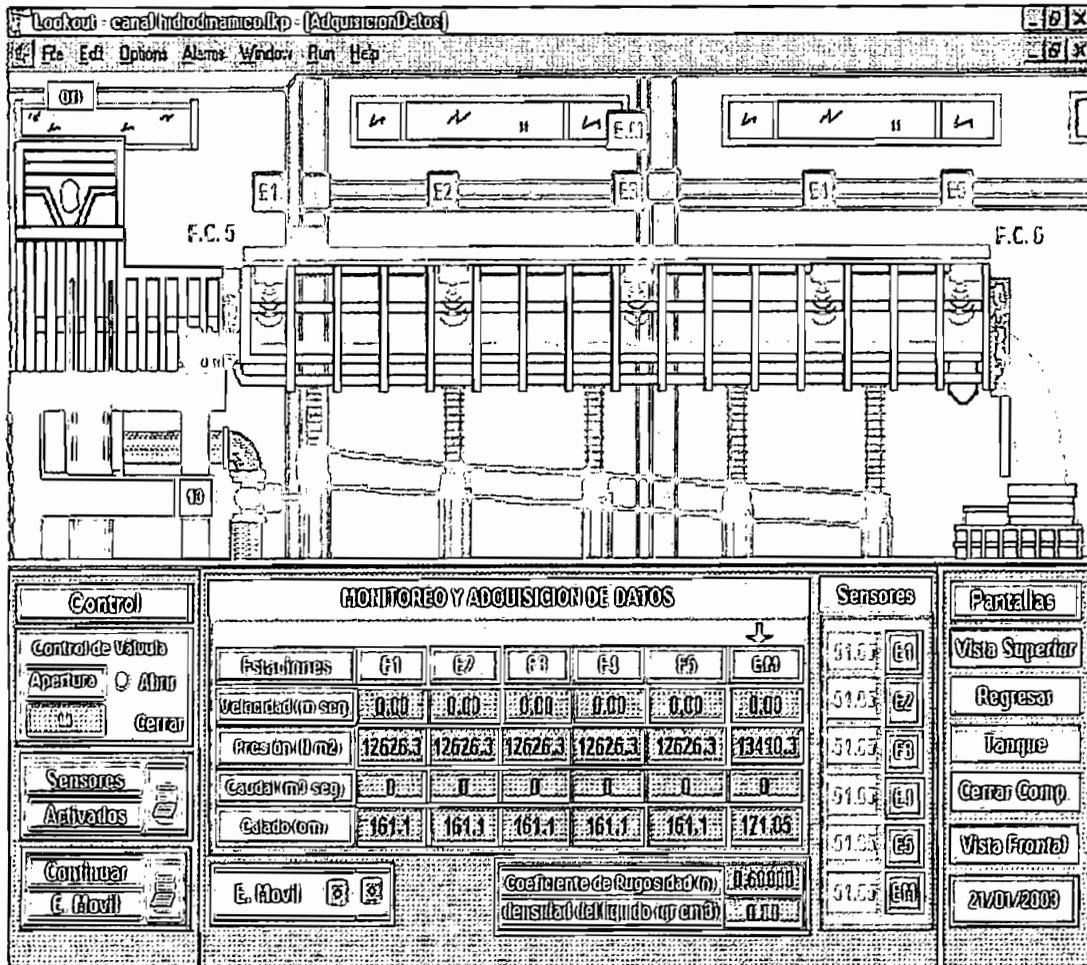


Fig. 4.13 Adquisición de los datos

El monitoreo del canal se hace con cinco estaciones fijas y una estación móvil. Los datos se muestran en una serie de celdas formando una tabla, las columnas indican los valores de las variables en cada estación, mientras las filas muestran el valor de las variables presión, caudal y nivel.

Mediante un cursor lateral (flecha), desplazada por dos pulsadores, se posiciona en cualquiera de las estaciones.

La altura medida por los sensores (en cm), es mostrada en las celdas de la tabla "Sensores" (fig. 4.15).

Sensores	
40.8	E1
40.8	E2
33.6	E3
45	E4
38.3	E5
46	E6

Fig. 4.15 Tabla "Sensores"

4.2.2.1 Pantallas auxiliares

En la pantalla "Visualización de datos" existen 6 botones que conducen a pantallas auxiliares donde se indican gráficos de tendencias en tiempo real de presión, caudal y nivel. Como ejemplo, a continuación se muestra la pantalla desplegada al pulsar el botón 1 (estación 1).

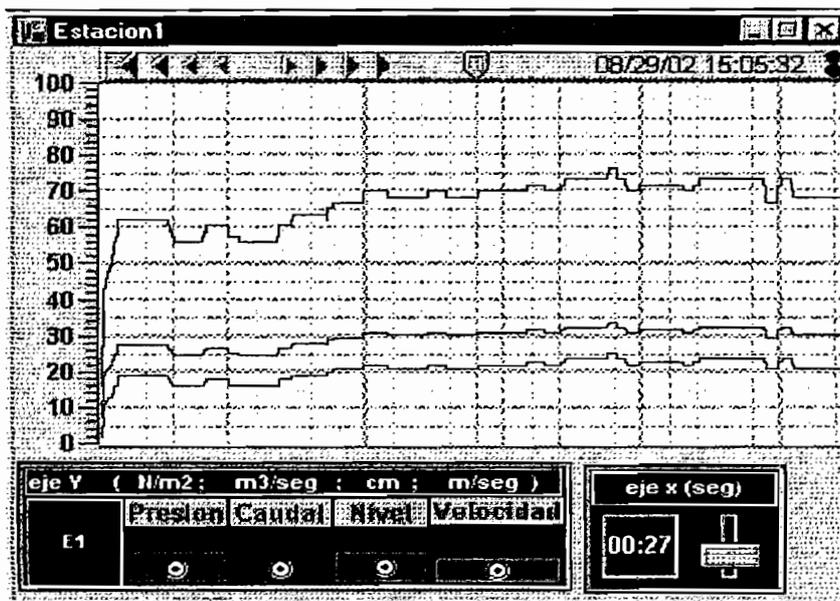


Fig. 4.17 Variación del valor de las variables con respecto al tiempo

En cada gráfico existe la opción de mostrar u ocultar las señales y ajustar el tiempo.

En las celdas indicadoras están los valores numéricos de dichas variables. Para el caso de la presión, cada unidad representa 100Pa, para el caudal 1m³/s y para el nivel 10 cm.

Al dar un clic en la parte superior del gráfico, en el centro de la barra, éste se congela y aparece una línea vertical (cursor) que puede desplazarse a lo largo de las curvas trazadas y la tabla. En las celdas inferiores se muestra los valores de nivel, caudal y presión, correspondientes a la posición del cursor (fig. 4.18).

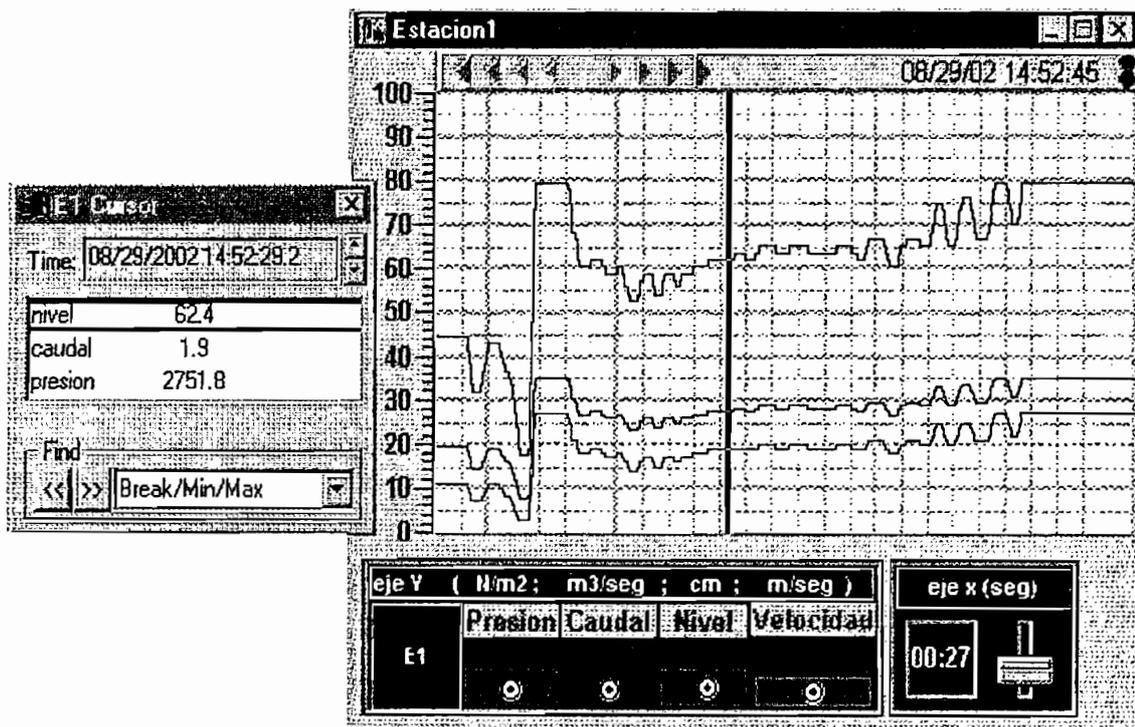


Fig. 4.18 Funcionamiento del Cursor

En la pantalla auxiliar "Vista Superior" (Fig. 4.19) se puede observar la distribución de las estaciones de trabajo, tanto al lado derecho como al izquierdo del canal.

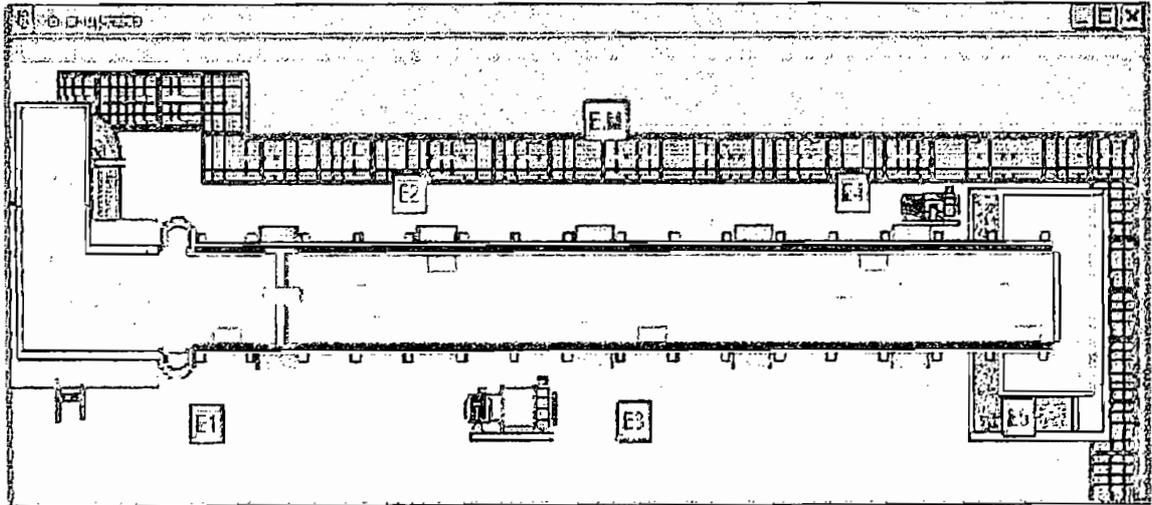


Fig. 4.19 Vista Superior del Canal

En la pantalla auxiliar "llenado de tanque" (fig. 4.20) se puede observar, a través de un corte lateral, como el tanque de almacenamiento se llena de agua.

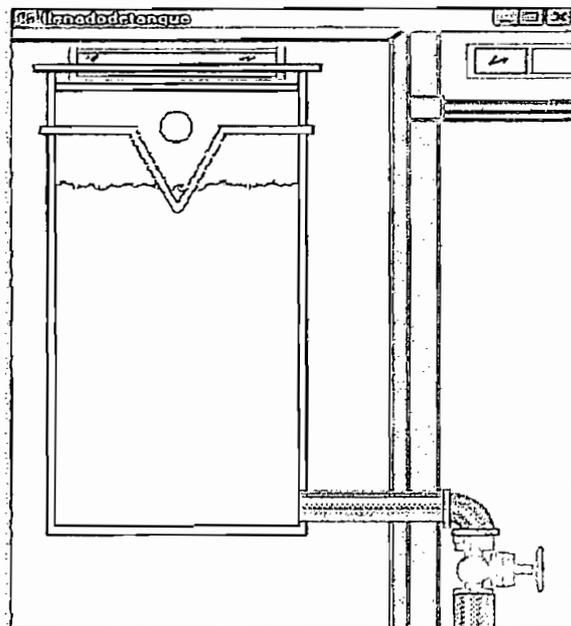


Fig. 4.20 "llenado de tanque"

La pantalla auxiliar "Compuerta" (fig. 4.21) permite variar (abrir o cerrar) la posición de la compuerta, para regular el flujo de agua que circula por el canal.

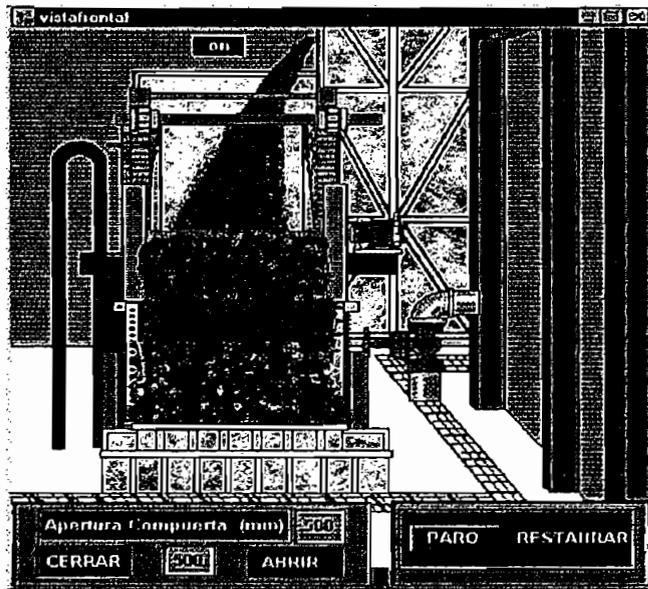


Fig. 4.21 "Vista Frontal"

Cada pantalla auxiliar es desplegada por un botón pulsador y para minimizarla basta dar un clic en la parte superior derecha en el botón  .

Finalmente, la pantalla que permite cerrar la compuerta (fig. 4.22) se activa con el botón pulsador "Cerrar comp." ubicado en la pantalla de visualización de datos. En esta pantalla es posible cambiar la inclinación del canal y la abertura de la compuerta.

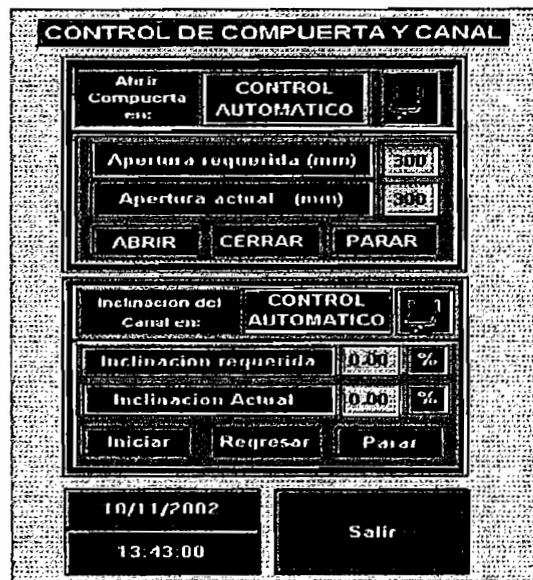


Fig. 4.22 Control de la Compuerta

4.2.2.2 Intercambio Dinámico de Datos

Lookout puede comunicarse y realizar un intercambio dinámico de datos con otras aplicaciones tales como Excel, Acces o cualquier programa que tengan una distribución de hoja de cálculo. En estos casos, Lookout puede actuar como:

- Cliente, Lookout adquiere los datos de las aplicaciones
- Servidor, Lookout proporciona los datos a las aplicaciones
- Cliente y servidor a la vez, se da un intercambio de datos entre Lookout y la aplicación

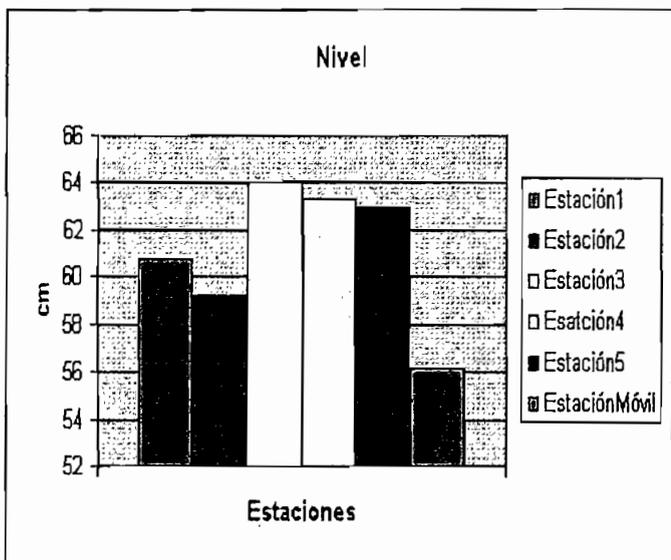
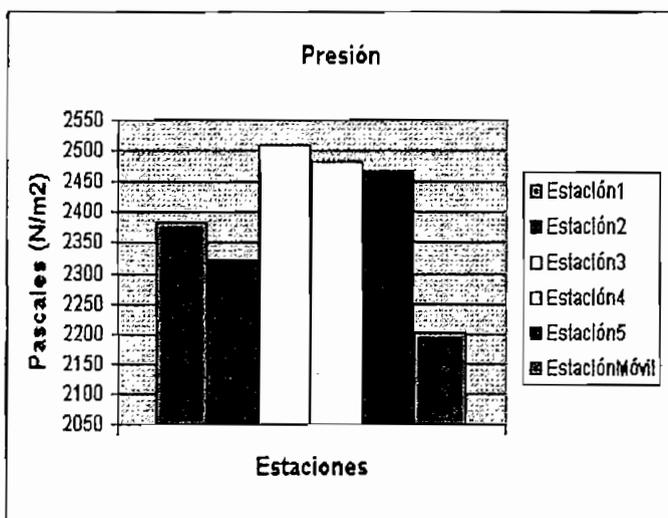
En el proceso descrito, Lookout actúa como Servidor, los datos obtenidos son registrados en una hoja de cálculo de Excel y se guardan en el archivo "Tabla base" (fig. 4.21), a fin de conservar registros de las pruebas realizadas en un día u hora específico.

TABLA DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS						
Estaciones	Estación # 1	Estación # 2	Estación # 3	Estación # 4	Estación # 5	Estación Móvil
Fecha y Hora de Ingreso:	4-9-02 21:46					
Presión (N/m ²)	2383,36	2320,64	2508,8	2482,536	2468,816	2203,04
Caudal (m ³ /seg)	0,7346	0,7058	0,7934	0,7809	0,7745	0,6528
Nivel (cm)	60,8	59,2	64	63,33	62,98	56,2
Inclinación del canal:	0		%			
Apertura de Compuerta:	800		mm			

Fig. 4.21 "Tabla base"

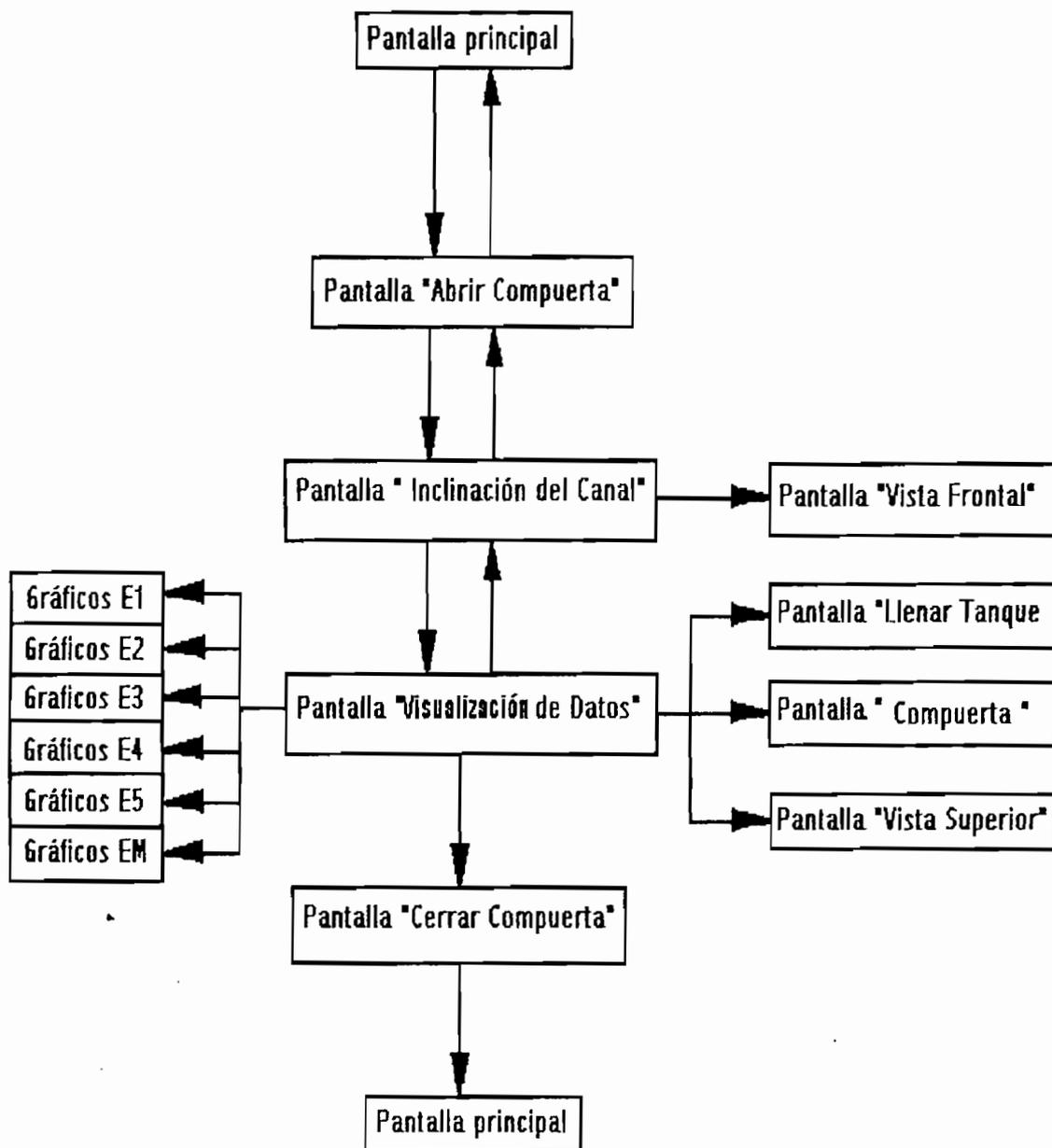
En este archivo, además de los valores de las variables, hay varias celdas que indican la fecha y hora en que ingresan los datos, el coeficiente de descarga, la densidad del líquido y las condiciones mecánicas en la que está el canal (inclinación del canal y apertura de compuerta).

Los datos de la hoja de cálculo son graficados en barras (fig. 4.22) para una mejor comprensión de la variación de las variables.

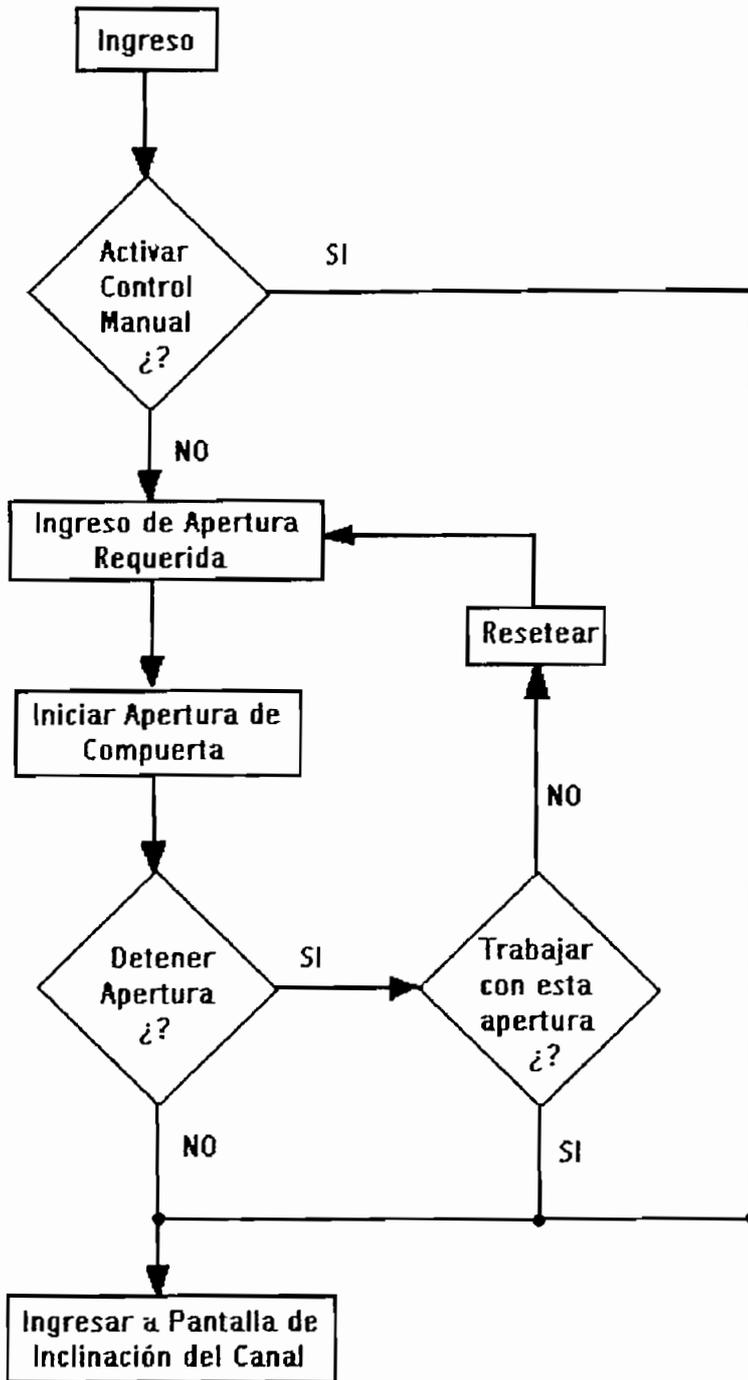


4.3 RESUMEN GRÁFICO PARA ACCEDER Y VISUALIZAR PANTALLAS

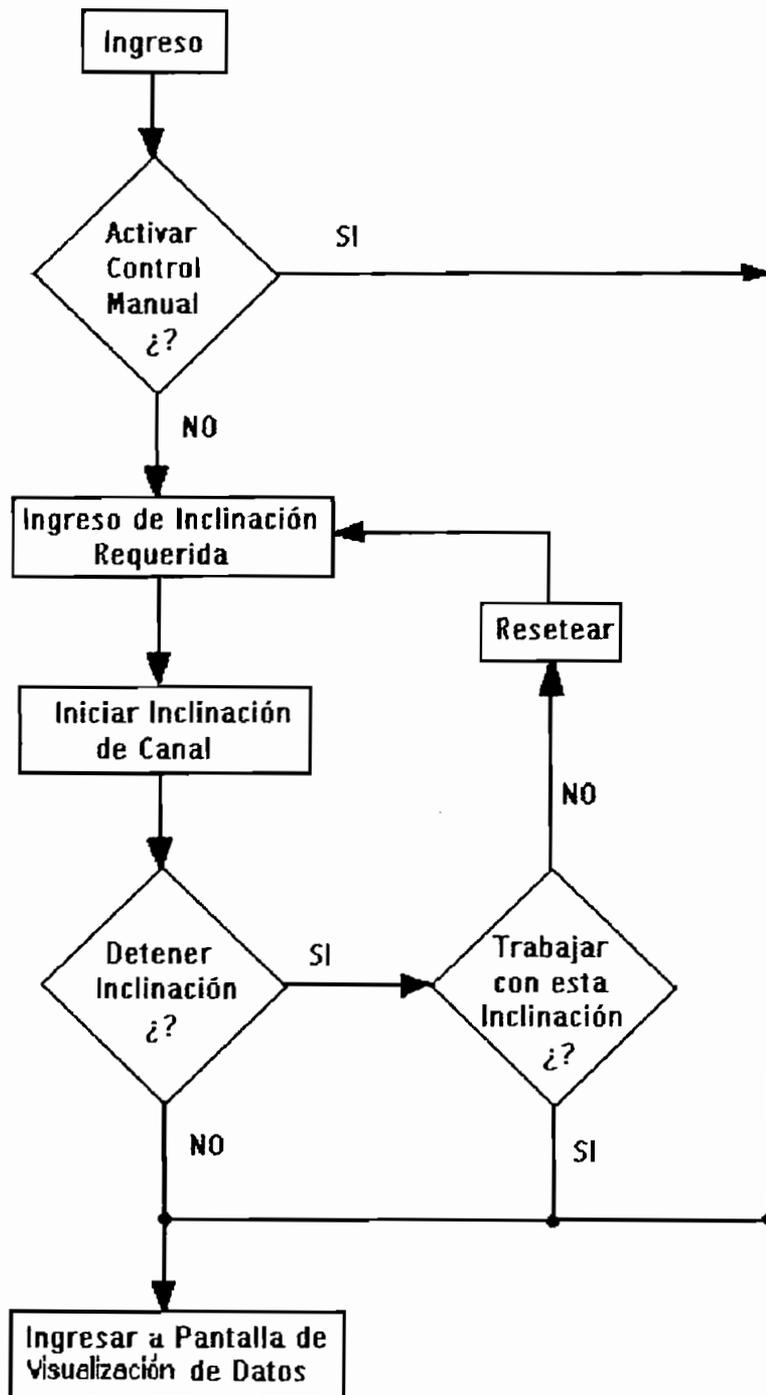
4.3.1 ESQUEMA GENERAL



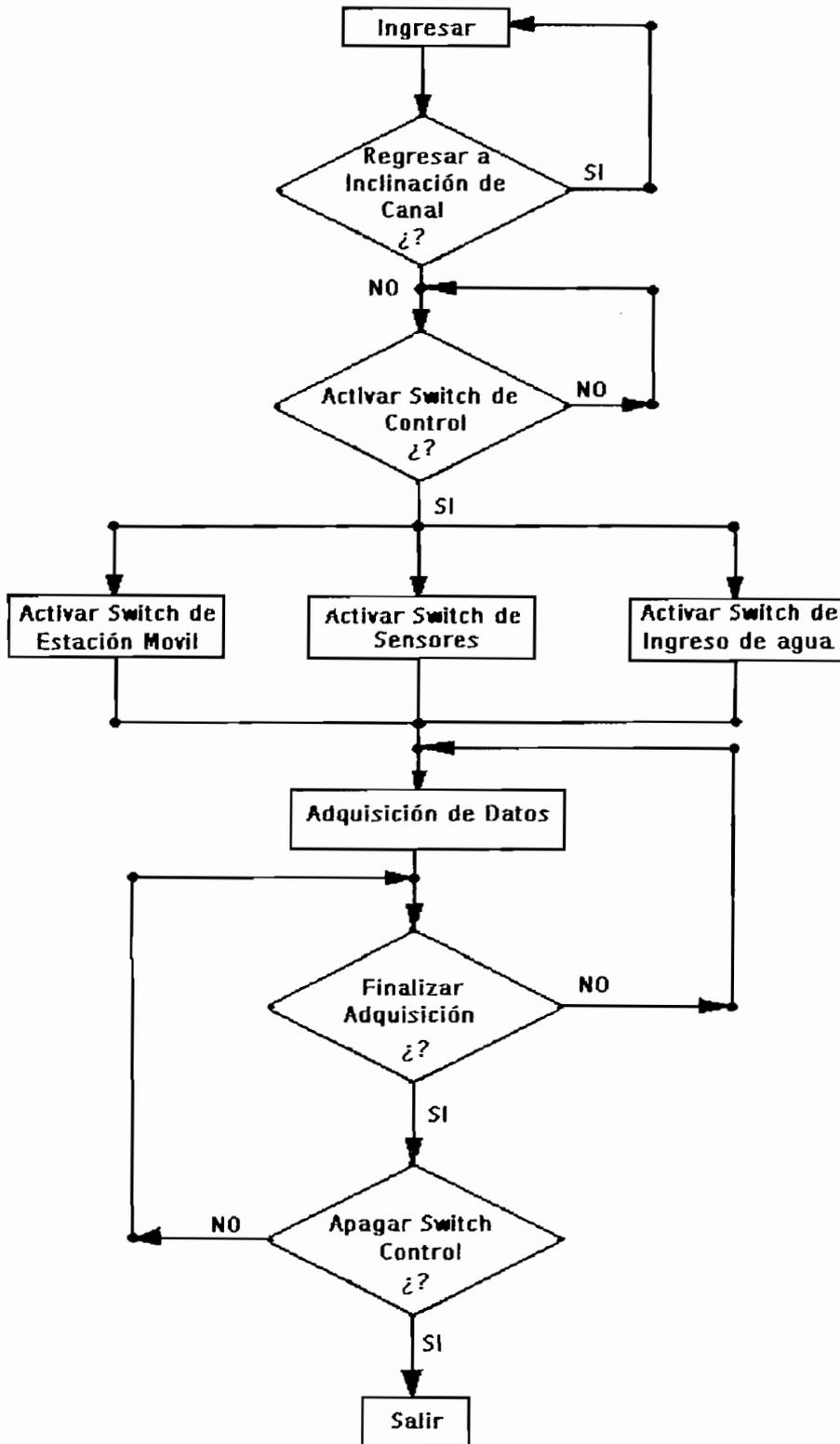
4.3.2 PANTALLA DE CONTROL DE LA COMPUERTA



4.3.3 PANTALLA DE CONTROL DE INCLINACIÓN DEL CANAL



4.3.4 PANTALLA DE VISUALIZACIÓN DE DATOS



CAPÍTULO 5

PRESUPUESTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

5 PRESUPUESTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

En cualquier proyecto, grande o pequeño, siempre será el presupuesto destinado al mismo, lo que limite o impida satisfacer todos los requerimientos de los usuarios.

Cualquier técnica de evaluación de inversiones debe considerar: el Período de Recuperación de las Inversiones (PRI), el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Beneficio/costo (B/C), del proyecto. Sin embargo, y por no constituir el objetivo de este proyecto de titulación, no se abordará este tipo de análisis, por lo que nos limitaremos a presentar un presupuesto aproximado y considerando únicamente el costo de los equipos y dispositivos necesarios para la implementación del proyecto.

El cálculo de la inversión para la implementación del sistema de automatización y adquisición de datos en el canal hidrodinámico, ha sido desarrollado basándose en la disponibilidad y costo del equipo.

5.1 COSTO DEL PROYECTO

El equipo necesario para la implementación de este proyecto está disponible en las diferentes empresas distribuidoras de equipos electrónicos del mercado local, lo que facilita el obtener garantías, repuestos y asesoría técnica. Para el cálculo del costo para implementar este proyecto se han considerado dos alternativas:

1. Costo del proyecto diseñando y construyendo un circuito electrónico especial para el control de la velocidad del motor de la estación móvil.
2. Costo del proyecto usando un motoreductor a la velocidad adecuada para el movimiento de la estación móvil (100 RPM).

5.1.1 COSTO DEL PROYECTO UTILIZANDO VARIADOR DE FRECUENCIA

A continuación se detallan los equipos electrónicos necesarios para la implementación del proyecto, así como también el costo de cada uno de ellos incluidos los elementos electrónicos.

Cant.	Equipo	Marca	P. Un. (\$)	Total (\$)
1	Motor 3φ de Inducción 1/4 HP	USMOTORS	160.00	160.00
3	Contactores	SIEMENS	16.65	49.95
6	Relé de señal (24 VDC)	SIEMENS	8.28	49.68
1	Relé Térmico	SIEMENS	30.00	30.00
1	Variador de frecuencia	WEG	225.00	225.00
1	Elementos electrónicos para el acondicionamiento de señales		20.00	20.00
1	Tarjeta PCI-6034E	NI	1116.00	1116.00
6	Sensores de Ultrasonido	LUC4T	400.00	2400.00
1	Válvula tipo mariposa	CLOW	1900.00	1900.00
2	Finales de Carrera	SIEMENS	7.00	14.00
1	Actuador Eléctrico Serie 2000	EIM	680.00	680.00
	Mano de obra			600.00
90	Cable (UTP)		0.80	72.00
50	Cable # 10 AWG		0.50	25.00
50	Tuberías		1.20	60.00
7	Cajas 10X10X20cm		5.00	35.00
	TOTAL			7436.63

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

#	Actividad /Días	10	20	30	40
1	Montaje de estructura de estaciones	XXXXX			
2	Cableado eléctrico		XXX		
3	Instalación del motor y pruebas		XX		
4	Instalación del variador de frecuencia			XX	
5	Instalación de los sensores y finales de carrera			X	
6	Instalación del actuador y pruebas			XX	
7	Instalación del software y pruebas generales				XXXXX
8	Equipo de trabajo (# de personas)	2	2	2	2

5.1.2 COSTO DEL PROYECTO USANDO UN MOTOREDUCTOR

Cant.	Equipo	Marca	P. Un. (\$)	Total (\$)
1	Motoreductor 3φ 3/4 HP	USMOTORS	480.00	480.00
3	Contactores	SIEMENS	16.65	49.95
6	Relé de señal (24 VDC)	SIEMENS	8.28	49.68
1	Relé Térmico	SIEMENS	30.00	30.00
1	Elementos electrónicos para el acondicionamiento de señales		20.00	20.00
1	Tarjeta PCI-6034E	NI	1116.00	1116.00
1	Válvula tipo mariposa	CLOW	1900.00	1900.00
6	Sensores de Ultrasonido	LUC4T	400.00	2400.00
2	Finales de Carrera	SIEMENS	7.00	14.00
1	Actuador Eléctrico Serie 2000	EIM	680.00	680.00
	Mano de obra			600.00
90	Cable (UTP)		0.80	72.00
50	Cable # 10 AWG		0.50	25.00
50	Tuberías		1.20	60.00
7	Cajas 10X10X20cm		5.00	35.00
	TOTAL			7531.63

En este listado de equipos y costos se incluye un motoreductor a 100 R.P.M. con características de potencia y voltaje iguales a las del motor de inducción que se utiliza en el mecanismo que mueve la estación móvil.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

#	Actividad / Días	10	20	30	40
1	Montaje de estructura de estaciones	XXXXX			
2	Cableado eléctrico		XXX		
3	Instalación del motoreductor y pruebas		XX		
4	Instalación de los sensores y finales de carrera			X	
5	Instalación del actuador y pruebas			XX	
6	Instalación del software y pruebas generales			XX	XXX
7	Equipo de trabajo (# de personas)	2	2	2	2

En cuanto a los señsres de ultrasonido, a pesar de tener un precio elevado, son los más apropiados para la aplicación y, además, entregan salidas estandarizadas

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El estudio realizado en el presente informe, a través de la revisión de la información disponible en los archivos de la Dirección de Asesoría y Evaluación de Políticas, permitió identificar los principales aspectos que caracterizan a la política de...
- La política de... se fundamenta en los principios de... y... que...

CAPÍTULO 6.

El presente capítulo tiene como finalidad presentar las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio realizado en el presente informe. Las conclusiones se refieren a los principales aspectos que caracterizan a la política de...

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se concluye que la política de... se fundamenta en los principios de... y... que...

En consecuencia, se recomienda que la política de... se fundamenta en los principios de... y... que...

Se recomienda que la política de... se fundamenta en los principios de... y... que...

- Se recomienda que la política de... se fundamenta en los principios de... y... que...

- Es de fácil configuración y se adapta a la mayoría de aplicaciones industriales.
- En la actualidad, dada la gran variedad de equipos para el control automático y de bajo costo, resulta más conveniente realizar un dimensionamiento adecuado de estos, antes que diseñar y construir otro similar para una aplicación específica.
- El proyecto desarrollado podrá servir como base para futuros trabajos que involucren a Lookout, como software de adquisición de datos, control y visualización.
- En la selección del actuador es importante considerar el tipo de válvula a controlar. Dada sus características, la válvula tipo mariposa es la que requiere un control más sencillo.

6.2 RECOMENDACIONES

- Aunque para la instalación de Lookout sólo es necesario un computador que tenga instalado Windows y 32 Mbytes de memoria RAM, se recomienda aumentar la capacidad de memoria a un mínimo de 128 Mbytes en RAM dada la cantidad de gráficos y cálculos con los que cuenta el programa.
- Aunque en Lookout es posible realizar el cálculo de expresiones, para cálculos mas complejos es recomendable utilizar algoritmos implementados en programas como Visual Basic u otros similares.
- Se recomienda activar las seguridades en Lookout para que el programa sólo pueda ser manipulado por personal autorizado. Dentro de este proyecto no han sido habilitadas las seguridades, debido a que en la programación solamente se trabajó con el paquete demostrativo.

- Témez, José. Hidráulica Básica. Edigrafis. Madrid. 1984
- <http://www.eim.com>
- <http://www.highlight.com>
- <http://www.sensortek.com>

- Es de fácil configuración y se adapta a la mayoría de aplicaciones industriales.
- En la actualidad, dada la gran variedad de equipos para el control automático y de bajo costo, resulta más conveniente realizar un dimensionamiento adecuado de estos, antes que diseñar y construir otro similar para una aplicación específica.
- El proyecto desarrollado podrá servir como base para futuros trabajos que involucren a Lookout, como software de adquisición de datos, control y visualización.
- En la selección del actuador es importante considerar el tipo de válvula a controlar. Dada sus características, la válvula tipo mariposa es la que requiere un control más sencillo.

6.2 RECOMENDACIONES

- Aunque para la instalación de Lookout sólo es necesario un computador que tenga instalado Windows y 32 Mbytes de memoria RAM, se recomienda aumentar la capacidad de memoria a un mínimo de 128 Mbytes en RAM dada la cantidad de gráficos y cálculos con los que cuenta el programa.
- Aunque en Lookout es posible realizar el cálculo de expresiones, para cálculos mas complejos es recomendable utilizar algoritmos implementados en programas como Visual Basic u otros similares.
- Se recomienda activar las seguridades en Lookout para que el programa sólo pueda ser manipulado por personal autorizado. Dentro de este proyecto no han sido habilitadas las seguridades, debido a que en la programación solamente se trabajó con el paquete demostrativo.

- El programa desarrollado en Lookout es una alternativa para el control y adquisición de datos del canal y se recomienda seguirlo depurando, para un mejor funcionamiento, antes de instalarlo definitivamente.
- Se recomienda que a futuro, el PLC existente sea reemplazado por otro de mayor capacidad, para a través de este, realizar el control total del canal. En este caso el computador más el paquete Lookout, constituirían la interfase hombre máquina (MMI).
- Si la implementación del proyecto no es en un futuro inmediato, será necesario realizar una actualización de equipos (hardware) y costos.
- Para evitar fallas operativas es necesario adiestrar adecuadamente al personal que va a operar el sistema de automatización.
- Debido a que el proyecto de titulación sólo incluye el diseño y dimensionamiento de los equipos se recomienda realizar una segunda fase con la implementación de los equipos.
- Para el proyecto se ha considerado un control del flujo de agua que ingresa al canal tipo on/off por lo que se utiliza en el dimensionamiento del actuador una válvula tipo mariposa, que reemplazaría a la válvula tipo compuerta instalada.
- Si en la implementación del proyecto se considera necesario regular el flujo de agua que ingresa al canal se recomienda utilizar la válvula tipo compuerta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cevallos, Carlos. Inversor Mc. Murray con control de salida por modulación de ancho de pulso. Tesis E.P.N. Quito. 1981
- Coronel, Norma. Control de velocidad de un motor de inducción trifásico con microprocesador. Tesis E.P.N. Quito. 1993
- Coughlin, Robert; Driscoll, Frederick. Amplificadores operacionales y Circuitos integrados lineales. Quinta edición. Prentice-Hall Hispanoamericana. México. 1999
- Creus Solé, Antonio. Instrumentación Industrial. Quinta Edición. Alfa Omega Marcombo. México. 1995
- French, Richard. Hidráulica de Canales Abiertos. Mc. Graw-Hill / Interamericana de México, S.A. México. 1993
- Mackay, S.G.; Park, J.M. Practical Data Acquisition. IDC Technologies
- Rashid, Muhammad. Electrónica de Potencia. Quinta Edición. Mc. Graw-Hill. México 1998
- Rivera, Pablo. Manual de Lookout. 1998
- Rosero, Patricio. Apuntes de Instrumentación. 1999
- Sandoval, Ramiro. Principios de la Hidráulica. E.S.P.E. Quito. 1993
- Suquillo, Edwin. Electrónica de Potencia II. E.P.N. Quito. 1992.

- Témez, José. Hidráulica Básica. Edigrafis. Madrid. 1984
- <http://www.eim.com>
- <http://www.highlight.com>
- <http://www.sensortek.com>

ANEXO A



butterfly valve technical information

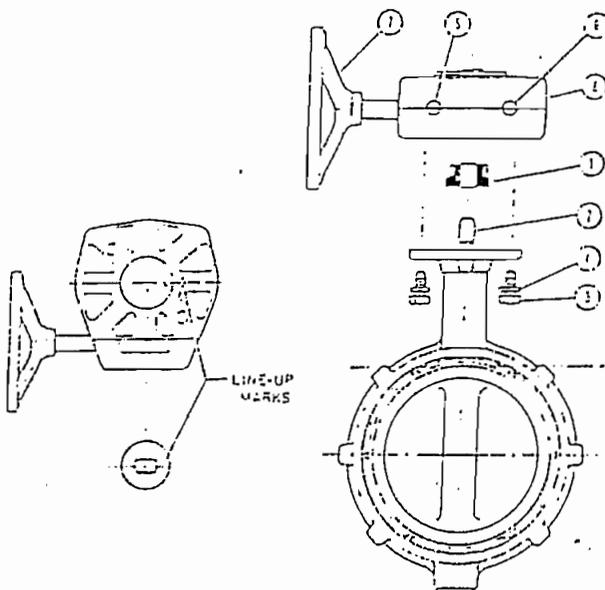
Gear Operator Installation Instructions

(2"-12" LD. WD. 2000-3000 B.F.V.)

NOTE: The gear operators are shipped from the factory, "pre-set" for mounting to valves that are in the closed position.

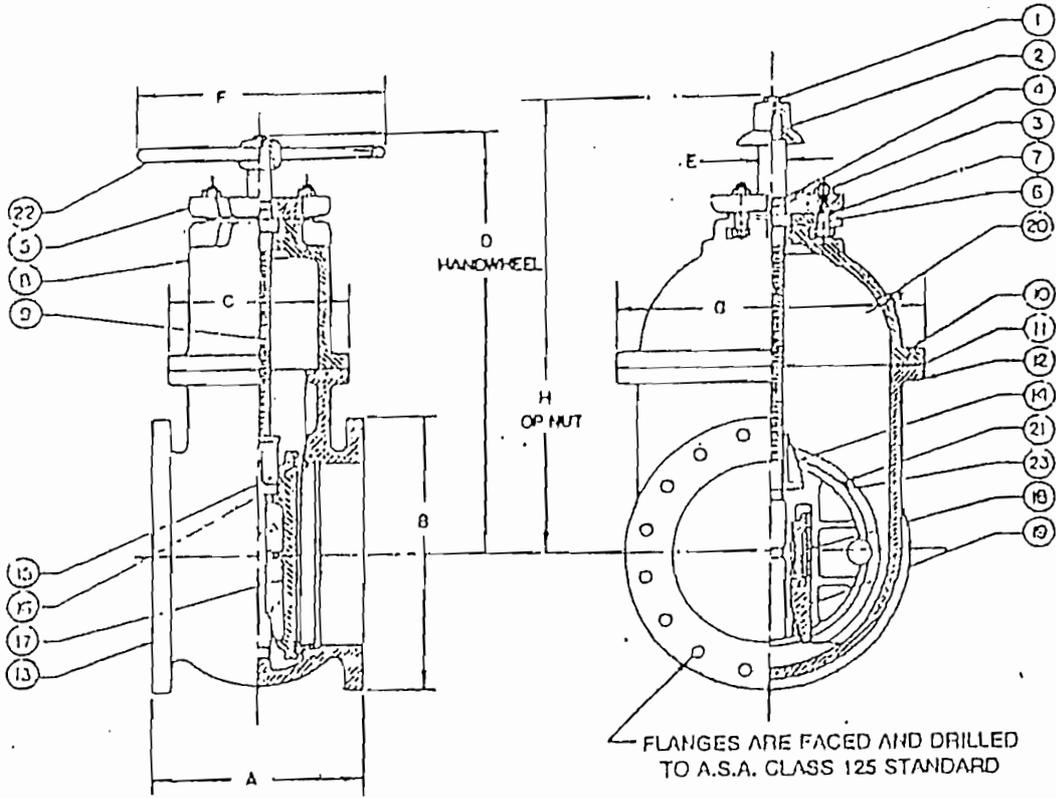
PROCEDURE

1. The adapter bushing (Fig. 1) should be inserted into the gear operator using the alignment marks provided.
2. The assembly should then be slipped onto the valve stem (Fig. 2), with the valve in the closed position.
 - 2a. If the operator mounting holes do not line up with the valve flange holes the stop screws (Fig. 5 and or 6) should be backed off and handwheel turned until holes are aligned.
3. Upon proper alignment of mounting holes, the two bolts and washers (Figs. 3 & 4) should be installed.
4. If the valve is in service and the "full open" position, the operator handwheel (Fig. 7) should be turned until indicator pointer (Fig. 8) is at the open position and operator bushing assembly slipped onto valve stem and adjustment procedure in paragraph 2a followed.
5. Where possible, the closed position should be determined by leak test using water or air, under low pressure.
6. Do not attempt to force beyond stops. Handwheel should turn freely over full range of travel.



2"-12" FLANGED END
F-5070 GATE VALVE

CLOW VALVE COMPANY



QTY.	DESCRIPTION	MATERIAL
1	COVER	STEEL
1	OPERATING NUT	CAST IRON
	BOLTS & NUTS TO NUTS	RUST PROOF STEEL
2	O-RINGS	RUBBER
1	TOPPING PLATE	CAST IRON
1	LOW TOPSIDE BEARING	DELRIN I
1	STUFFING BOX CASSET COVER	COMPOSITION
1	COVER	CAST IRON
1	NON-FRISK STEEL	BRONZE
1	NECK-FLANGE BOLTS	RUST PROOF STEEL
1	NECK-FLANGE WASHERS	COMPOSITION
1	NECK-FLANGE NUTS	RUST PROOF STEEL
1	NUT	CAST IRON
1	OPER. NUT	BRONZE
2	GATE RING	BRONZE
2	GATE RING	BRONZE
2	GATE	CAST IRON
2	WEDGE	BRONZE
2	WEDGE	CAST IRON
1	PIPE PLUG	CAST IRON
1	FRONT END OPERATING VALVE	BRONZE
1	OPERATING NUT	CAST IRON
2	STUFFING BOX OPERATING VALVE	STAINLESS STEEL

VALVE SIZE	A	B	C	D	E	F	O	H	Weight	Turns to Open
2	7	0	5	11 1/4	1/2	7 1/2	5 1/2	11 1/4	30	5
2 1/2	7 1/2	7	5 1/2	13	1/2	7 1/2	6 1/2	13	30	6
3	8	7 1/2	5 1/2	14	1/2	7 1/2	7 1/2	14	50	7
4	9	9	7	15 1/2	1 1/2	10	9	15 1/2	90	15
5	10	10	7 1/2	16 1/2	1 1/2	10	10 1/2	16 1/2	120	18
6	10 1/2	11	9	18 1/2	1 1/2	12	12 1/2	18 1/2	100	21
8	11 1/2	13 1/2	10	21 1/2	1 1/2	14	15 1/2	21 1/2	200	27
10	13	16	10 1/2	25 1/2	1 1/2	16	18 1/2	25 1/2	405	33
12	14	18	11 1/2	30 1/2	1 1/2	18	20 1/2	30 1/2	585	39

ANEXO B



butterfly valve technical information

Butterfly Valve Torque Data

LD/WD SERIES

Breakaway Torque (In. Lbs.) Wet Service

Size	100 psi	200 psi	250 psi
2	140	180	195
2½	190	235	255
3	250	300	325
4	430	530	580
5	590	760	845
6	795	1035	1155
8	1850	2350	2600
10	2350	2900	3125
12	3875	5390	6145
Size	50 psi	100 psi	150 psi
14	4478	5194	5893
16	6026	6938	7929
18	8527	9873	11220
20	11582	13411	15240
24	16142	18691	21240
30	—	43605	47740
36	—	64250	69440

LC/WC SERIES

Size	50 psi	100 psi	150 psi
14	5200	6000	7500
16	6900	8000	9500
18	9000	10500	12000
20	11000	14000	15200
24	16000	21000	28000

TORQUE is the rotary effort required to operate a valve. This turning force in a butterfly valve is determined by three factors: (1) Friction of the disc to seat for sealing (2) Bearing friction (3) Dynamic torque.

BREAKAWAY TORQUE is the total of the torques resulting from bearing friction and seat/disc interference friction at a given pressure differential. This value is normally the highest required torque to operate a valve, and is used in sizing actuators. The values listed at the left are based on performance tests and include a safety factor. The torques listed are valid for water and lubricating fluids at ambient temperature. For dry and non-lubricating fluids, contact your NIBCO customer service representative.

Butterfly valves, sizes 8" and larger, when used on liquids, show a marked increase in dynamic torque which tends to close the valve. For this reason, gear operated or actuated valves are recommended.

Torque listed for EPDM. When calculating torques for Buna-N, or Fluorocarbon multiply listed torque by 1.25. Consult factory for dry service valves.

ANEXO C

ACTUADORES ELECTRICOS



EIM Controls, ha manufacturado alta calidad de actuadores para válvulas desde 1949.

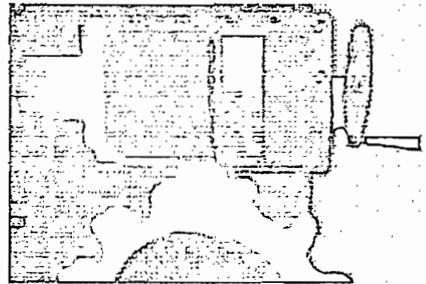
Pionero en comunicaciones digitales, introdujo CONTROLINC, el primer sistema digital de control de actuadores en 1985.

Por casi medio siglo, han mantenido una posición de liderazgo en innovación del producto y mejoras en los diseños técnicos.

EIM diseña y fabrica cada producto para exceder las expectativas de uso, tanto en sus habilidades, como en su larga vida de operación.

Su certificado ISO 9001 testifica su calidad actual y el compromiso de constante mejora en el futuro.

Reconocido mundialmente por su construcción robusta y su larga vida útil, los actuadores EIM son producidos por personal altamente calificado en sus instalaciones ubicadas en las afueras de Houston, Texas, USA.

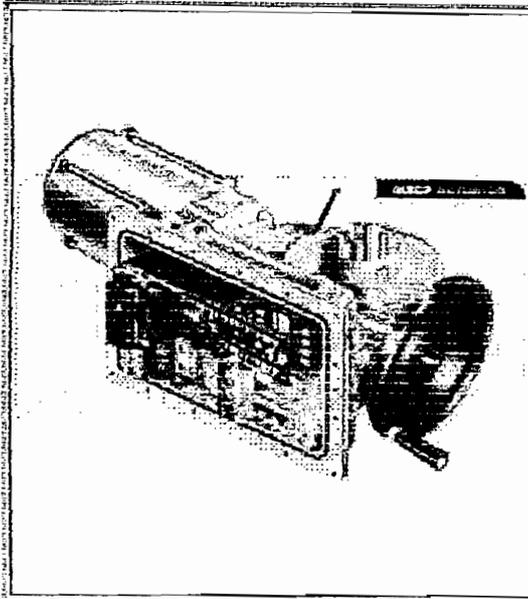


Su compromiso con la innovación tecnológica permanente, le permite liderar la industria, en la solución de aplicaciones competitivas y entregas a tiempo.

Lynsa posee una importante experiencia en aplicaciones con actuadores EIM; provee los recursos necesarios en el diseño, instalación y soporte de los proyectos, para satisfacer plenamente los requerimientos de los clientes.

La experiencia y el soporte Post-Venta son especialmente importantes en el complejo mundo del control digital.

Con casi 50 años de experiencia, EIM le permite a Ud. cubrir todas sus necesidades de control de válvulas, ahora y en el futuro.



ACTUADORES SERIE 2000

Los actuadores serie 2000 se fabrican para válvulas de 1/4 de vuelta o multivuelta.

Ofrecen un amplio rango de tamaños, potencias, velocidades de actuación para encontrar el más apropiado a su aplicación.

Los actuadores de 1/4 de vuelta (90° de carrera) son seleccionados de acuerdo al requerimiento específico de voltaje de alimentación, torque, tiempo de operación y diámetro del vástago de la válvula.

Están específicamente diseñados para válvulas mariposa, esféricas (bola), tapón, como así también para dampers de 1/4 de vuelta.

Su rango de torque va desde 210 a 150.000 lb/pie.

Los actuadores multivuelta son seleccionados de acuerdo al requerimiento específico de voltaje de alimentación, empuje, cantidad de revoluciones por minuto y diámetro del vástago de la válvula.

Están específicamente diseñados para válvulas compuerta (esclusa), globo, compuerta deslizante, y dampers multivuelta.

Sus dimensiones de montaje son de acuerdo a MSS SP-102 y ISO 5210.

Su torque va desde 130 a 8.000 lb/pie, con un empuje de hasta 250.000 lb.

[Brochure Completo de Actuadores \(4 Mb\)](#)

[Listado de clientes](#)

<u>Actuador Multivuelta</u>	<u>Actuador 1/4 vuelta</u>
---	--

A continuación podrán ver algunas de sus características:

[Electro-Mecánica](#)

[Paquete de control](#)

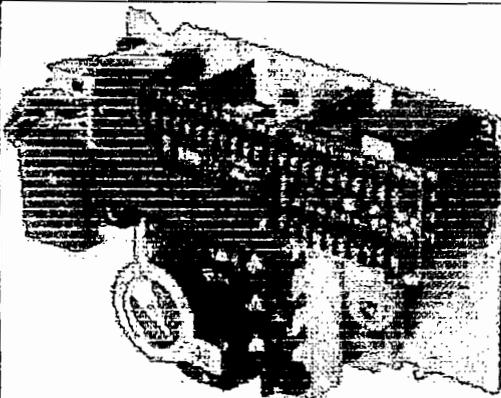
[Tope de Página](#)

Nota: Si Ud ingresó directamente a esta página, por favor acceda a:
[Página Principal](#)

ACTUADOR ELECTRICO SERIE 2000



Características Técnicas:



Paquete de control modular M2CP

El paquete de control modular M2CP de EIM ha sido específicamente diseñado para proveer al usuario alta flexibilidad, confiabilidad y precio competitivo en la automatización de eléctrica de válvulas. Mediante su exclusivo concepto de diseño, el servicio y las futuras actualizaciones pueden ser fácilmente realizadas. El módulo completo, como así también cada una de sus partes, puede ser removido y reemplazado en minutos. Todos sus componentes han sido cuidadosamente seleccionados para proveer años de servicio libre de fallas. El M2CP es módulo de control de mayor calidad obtenible en el mercado, aún así el más flexible y un sencillo concepto que facilita todas las tareas.

El mayor beneficio del paquete de control M2CP es su facilidad para realizar eventuales servicios de mantenimiento. El conjunto electrónico completo puede ser removido, armado, desarmado y reemplazado usando solo un destornillador. El servicio de campo puede ser realizado rapidamente y sin contratiempos.



Panel Integral de control

- Sus LED's de alta intensidad proveen larga vida y tremendas ventajas sobre los bulbos incandescentes tradicionales.
- Su botoneras con cerramiento de triple sello (O Ring's), de acero inoxidable, aseguran máxima protección contra perdidas y/o corrosión.
- Su selector de tres posiciones puede proveerse con protección contra uso indebido, mediante candado o botonera mediante llave.

Contactador Inversor

- El conjunto módulo de poder/contactores inversores, montados en riel DIN, permite su remoción/ re inserción con facilidad.
- Tornillos de acero asegura al conjunto contra vibraciones.
- El contactor inversor se provee mecánica y electricamente interconectado.



transformador primario y posee un terminal separado para los cables de alta tensión para alimentación externa de la unidad.

- Opcionalmente se ofrece un centrador de fase, que protege al equipo por falta de fase y corrige la secuencia de cada una.



Módulo de terminales

- Cada transformador secundario está individualmente protegido mediante fusible y con conexión a tierra.
- Los supresores de ruido y rayos son distribuidos a través del M2CP para proteger los componentes.
- El módulo de terminal provee conveniente acceso a través de sus 48 puntos de conexión.
- Señales de entrada/ salida, tanto analógicas como digitales, y los controles externos convergen en este módulo.



ACTUADOR ELECTRICO SERIE 2000

Características Técnicas:



Motores

Los motores eléctricos EIM de la serie 2000 son sellados y emplean un mínimo de configuraciones de montaje, para una máxima intercambiabilidad. El motor y los engranajes forman una unidad modular, montado al actuador con solo 8 agarres fácilmente accesibles. Evita errores y disminuye el tiempo de reparación. Los motores son provistos con protección termica por sobrecarga (puede ser anulada en situaciones de parada de emergencia de planta). El sistema sena la temperatura del bobinado y corta el circuito de control antes que se produzca un daño en el motor.

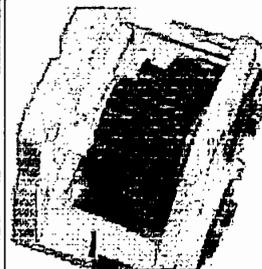
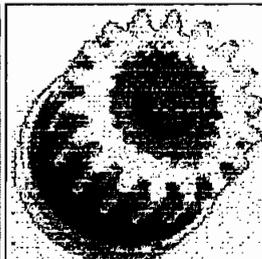
Engranajes de Empuje

Los engranajes, de aleación de acero, son ranurados para permitir un máximo agarre y facil instalación. Los juegos de engranajes son intercambiables.

Armados para relaciones de reducción simples o dobles, de acuerdo al tiempo de actuación requerida.

Un amplio rango de engranajes de reducción permite una gran variedad de combinaciones de torques y velocidades, de acuerdo al requerimiento específico.

Cualquier modificación futura, debido a cambio de condiciones de proceso, para cambiar el torque y RPM de salida, puede ser facilmente realizada en campo.



Comando manual con sistema de embrague

Los actuadores eléctricos de la serie 2000 de EIM incluyen en forma standart un volante manual para emergencia.

La selección de modo de operación con volante manual se realiza mediante un sistema de embrague externo, por palanca, trabajando sobre el lado de bajo torque del tornillo sin fin y el engranaje de empuje de dicho tornillo.

El sistema de embrague, exclusivo y patentado por EIM, hace imposible el accionamiento del motor y del volante manual en forma simultanea. La energía del motor no puede ser transmitida al volante manual.

El sistema habilita el modo accionamiento por motor en forma automática tan pronto la energía se recompone. Si bien el sistema es "Motor referencia" la palanca de

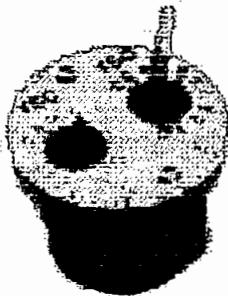


manual" mediante un firme candado, para tareas de mantenimiento, y evitar que el motor accione al actuador mientras se está trabajando en el mismo. También se puede fijar la palanca en "Accionamiento motor", para evitar el uso no autorizado.

Limites y protecciones

Caja de limites de carrera

- Los limites de carrera están mecánicamente conectados al tornillo sin fin del actuador a través de los engranajes contenidos en el sub-conjunto de la caja de limites.
- Este sistema de sensado mecánico permite monitorear en forma permanente la carrera de la válvula, tanto en acción por motor, como así también por acción manual, es decir aún en la condición crítica de falta de energía.
- Tanto los switches de fin de carrera, como así también los switches de torque mantendrán sus ajustes bajo cualquier condición, sin necesidad de fuente de alimentación ni baterías.



Switch de limite de torque

- El ajuste del switch de torque determina la fuerza máxima que puede producir el actuador antes de que el arrancador del motor se des-energize.
- Posee ajustes independientes para cerrar o abrir, lo que permite un diferente torque para cada dirección.
- Los ajustes poseen un dial indicador de posición con 10 divisiones.

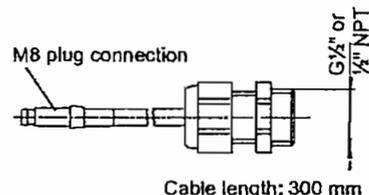


ANEXO D

Measurement range	0.3 m ... 4 m, for liquids
Accuracy	0.5 % of the measuring area terminal value
Resolution	2 mm
Supply	
Operating voltage	DC 10 V ... 30 V (3-wire)
Ripple	± 10 % ss, $\bar{U}_r=33$ V
Power consumption PL	≤ 1200 mW
Output	
Current	4 mA ... 20 mA, $R_i \leq 500 \Omega$
Voltage	0 V ... 10 V, $R_i \geq 1 \text{ k}\Omega$
Displays	
Operation	LED, green
Fault	LED, red, 2 Hz flashing
Current output	≥ 21 mA
Voltage output	≥ 10.5 V
Ambient conditions	
Temperature	-25 °C ... +70 °C
Storage	-40 °C ... +85 °C
Process conditions	
Temperature	-25 °C ... +70 °C
Pressure	atmospheric
Electrical connection	V15 unit connector (M12x1)
Process connection	
LUC□□-G5S	Screwed connection G1½A, stainless steel 1.4571
LUC□□-G5P	Screwed connection G1½A, polypropylene
LUC□□-N5S	Screwed connection 1½" NPT, stainless steel 1.4571
LUC□□-N5P	Screwed connection 1½" NPT, polypropylene
Membrane surface	
LUC4T	PTFE
Calibration and configuration	
connector position	
A1	Empty equalisation
E2/E3	Teach in/moving-target indication
A2	Full equalisation
T	Operation
Housing material	PTB
Protection class in accordance with IEC 60529	IP65
Installation	Choose the installation direction in such a way that the sound direction is normal to the liquid surface.

Accessories

- LUC4-Z30-G2V, external temperature probe, G½A
- LUC4-Z30-N2V, external temperature probe, ½" NPT
- V1-G-2M-PVC, cable sockets, straight, 2 m cable, PVC
- V1-W-2M-PVC, cable sockets, 90° bent, 2 m cable, PVC
- external temperature probe



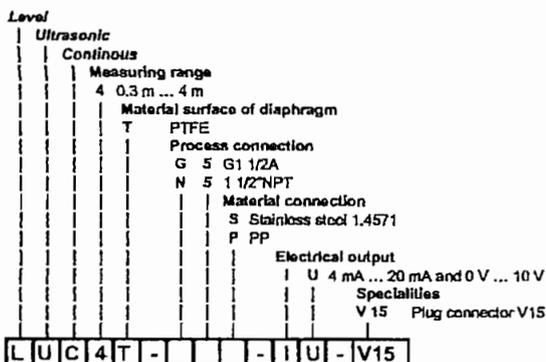
External temperature probe
LUC4-Z30-□2V

A measuring system consists of:

- an Ultrasonic Level Sensor LUC4T-□5□-IU-V15 and a display unit DA5 or a power supply unit, but can also be connected directly to a PLC.

Key to model numbers/ordering code

Ultrasonic Level Sensor LUC4

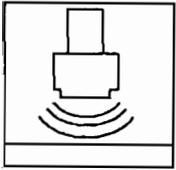


Date of issue 18.08.2000

Ultrasonic Level Sensor LUC



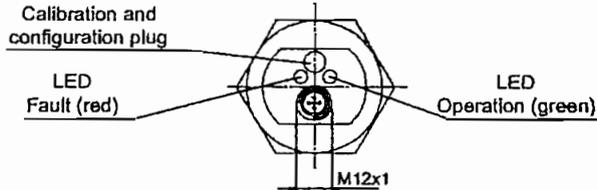
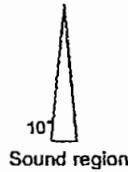
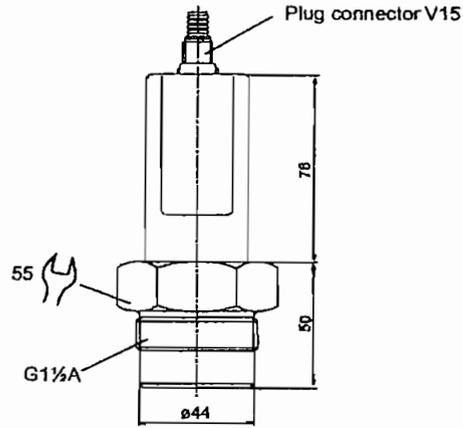
LUC4



Features

- Active moving-target indication
- Temperature compensation
- 12 bit d-a converter
- Compact design
- Connector
- Simple calibration
- Function monitoring
- Fail-safe behaviour for missing echo
- Output signal
4 mA ... 20 mA / 0 V ... 10V

Dimensions

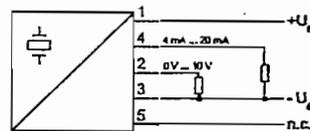
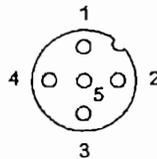


Function principle

The ultrasonic sensor transmits an ultrasonic pulse which is reflected at the medium's surface. After the pulse returns to the sensor, the level is calculated by a microprocessor. Sources of interference like weld seams, fixed targets, etc. are reliably suppressed. Changes of the ultrasonic speed caused by changing temperatures are compensated.

Electrical connection

Plug connection V15 or V1



ANEXO E

Low-Cost E Series Multifunction DAQ – 200 kS/s, 16-Bit, 16 Analog Inputs

NI 6034E, NI 6035E

NI 6034E, NI 6035E

NI 6034E

PCI-6034E

NI 6035E

PCI-6035E

Analog Inputs

16 single-ended, 8 differential channels
200 kS/s sampling rate
200 kS/s stream-to-disk rate
16-bit resolution

Analog Output (NI 6035E only)

2 channels, 12-bit resolution

Digital I/O

8 (5 V/TTL) lines

Counter/Timers

2 up/down, 24-bit resolution

Triggering

Digital

Driver Software

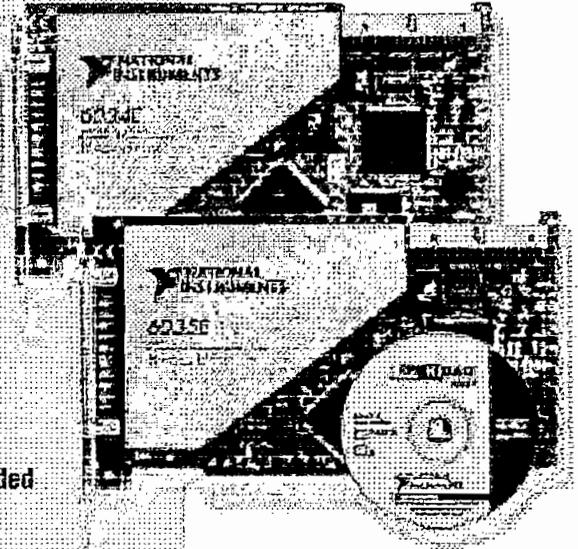
NI-DAQ
Windows 2000/NT/Me/9x
Mac OS

Application Software

LabVIEW
Measurement Studio
VirtualBench
Measure
Lookout

Calibration Certificate Included

See page 256.



Ordering Information

NI 6034E

PCI-6034E778075-01

NI 6035E

PCI-6035E778026-01

Includes NI-DAQ for Windows 2000/NT/Me/9x and Mac OS.

Extended warranty and

value added servicespage 880

Recommended Configurations

Family	DAQ Device	Accessory	Cable
6034E	PCI-6034E	CB-68LP (777145-01)	R6868 (182482-01)
6035E	PCI-6035E	CB-68LP (777145-01)	R6868 (182482-01)

See page 334 for accessory and cable information.

Overview

The NI 6034E, and NI 6035E are our low-cost 16-bit DAQ devices that use E Series technology to deliver reliable, 16-bit acquisition in a wide range of applications. You get up to 200 kS/s, 16-bit performance on 16 single-ended analog inputs. Depending on your type of hard drive, these devices can stream to disk at rates up to 200 kS/s.

These E Series DAQ devices feature digital triggering capability, as well as two 24-bit, 20 MHz counter/timers; and eight digital I/O lines. The NI 6035E also features two 12-bit analog outputs.

See the E Series Multifunction DAQ Overview on page 306 for a more detailed hardware overview.



EXPRESS CODES

For information or to buy products online, visit ni.com/catalog and enter:

pci6034e
pci6035e

BUY ONLINE!

Measurements

Family	Bus	Analog Inputs	Resolution	Sampling Rate	Input Range	Analog Outputs	Resolution	Output Rate	Output Range	Digital I/O	Counter/Timers	Triggers
NI 6034E	PCI	16 SE/8 DI	16 bits	200 kS/s	±0.05 to ±10 V	—	—	—	—	8	2, 24-bit	Digital
NI 6035E	PCI	16 SE/8 DI	16 bits	200 kS/s	±0.05 to ±10 V	2	12 bits	10 kS/s ¹	±10 V	8	2, 24-bit	Digital

¹ 10 kS/s system dependent when using the single DMA channel for analog output. 1 kS/s system dependent when using the single DMA channel for either analog input or counter/timer operations.

Table 1. NI 6034E and NI 6035E Channel, Speed, and Resolution Specifications (see page 349 for detailed specifications)

Low-Cost E Series Multifunction DAQ – 200 kS/s, 16-Bit, 16 Analog Inputs

Nominal Range (V)	Absolute Accuracy						Relative Accuracy		
	% of Reading		Offset (μ V)	Noise + Quantization (μ V)		Temp Drift (%/°C)	Absolute Accuracy at Full Scale (mV)	Resolution (μ V)	
	24 Hrs	1 Year		Single Pt.	Averaged			Single Pt.	Averaged
± 10	0.0646	0.0688	1591.4	885.0	77.9	0.0010	8.553	1025.2	102.5
± 5	0.0148	0.0188	808.2	442.5	38.9	0.0005	1.787	512.6	51.26
± 0.5	0.0646	0.0688	99.5	53.4	4.76	0.0010	0.448	62.73	6.27
± 0.05	0.0646	0.0688	28.9	26.4	2.57	0.0010	0.096	39.80	3.98

Note: Accuracies are valid for measurements following an Internal E Series Calibration. Averaged numbers assume dithering and averaging of 100 single-channel readings. Measurement accuracies are listed for operational temperatures within ± 1 °C of internal calibration temperature and ± 10 °C of external or factory-calibration temperature. One-year calibration interval recommended. The Absolute Accuracy at Full Scale calculations were performed for a maximum range input voltage (for example, 10 V for the ± 10 V range) after one year assuming 100 pt. averaging of data. See overview on page 312 for an example calculation of this type.

Table 2. NI 6034E and NI 6035E Analog Input Accuracy Specifications

Nominal Range (V)		Absolute Accuracy				Temp Drift (%/°C)	Absolute Accuracy at Full Scale (mV)
		% of Reading			Offset (mV)		
Positive FS	Negative FS	24 Hrs	90 Days	1 Year	Offset (mV)	Temp Drift (%/°C)	Absolute Accuracy at Full Scale (mV)
10	-10	0.18	0.020	0.022	5.93	0.0005	8.127

Note: Temp Drift applies only if ambient is greater than ± 10 °C of previous external calibration. See page 312 for example calculations.

Table 3. NI 6035E Analog Output Accuracy Specifications

Family	Analog Input – All 16-Bit			Analog Output				Available DMA Channels	PCI Bus Master
	Sampling Rate	Polarity	Range Selections	Update Rate	Polarity Rate	Resolution	FIFO Size		
6010E	20 kS/s	Unipolar or Bipolar	20 V, 10 V, 5 V, 2 V, 1 V, 200 mV, 100 mV	20 kS/s	Bipolar	12-bit	-	3	✓
6030E/6031E 6032E/6033E	100 kS/s	Unipolar or Bipolar	20 V, 10 V, 5 V, 4 V, 2 V, 1 V, 500 mV, 400 mV, 200 mV, 100 mV	100 kS/s	Unipolar or Bipolar	16-bit	2048 Samples	3	✓
6034E/6035E	200 kS/s	Bipolar	20 V, 10 V, 1 V, 100 mV	10 kS/s	Bipolar	12-bit	-	1	✓
6052E	333 kS/s	Unipolar or Bipolar	20 V, 10 V, 5 V, 2 V, 1 V, 500 mV, 200 mV, 100 mV	333 kS/s	Unipolar or Bipolar	16-bit	2048 Samples	3	✓

* 10 kS/s system dependent when using the single DMA channel for analog output, 1 kS/s system dependent when using the single DMA channel for either analog input or counter/timer operations.

Table 4. How To Choose Between the NI 601xE, NI 603xE, and NI 6052E DAQ Devices. The table above highlights some of the differences between these product families. Use the table to determine which device has the features your application requires.

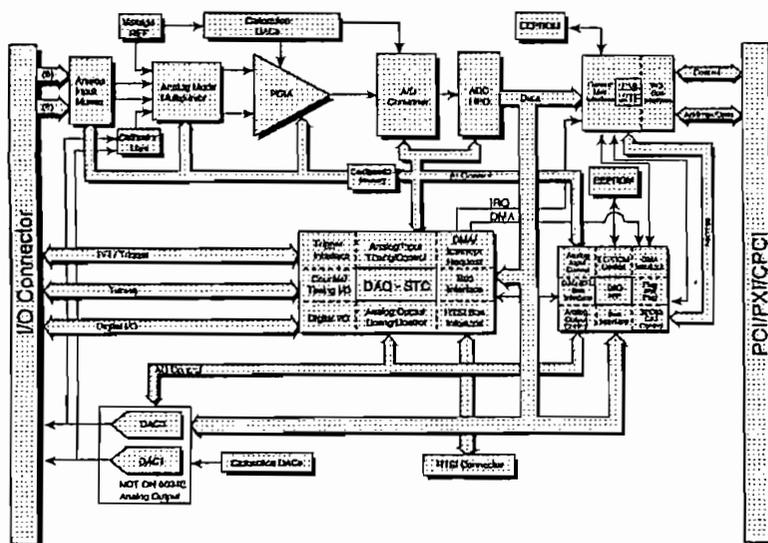


Figure 1. NI 6034E and NI 6035E Block Diagram



See page 349 for detailed specifications.



See page 310 in the E Series Multifunction DAQ Overview for I/O connector diagrams.