

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

"Diseño y Puesta en marcha de una plataforma de control para el proceso de limpieza de la planta de cocimiento de la Compañía de Cervezas Nacionales C.A."

**TESIS DE GRADO**

Previa la obtención del título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD  
ESPECIALIZACION INDUSTRIAL**

Presentada por:

Juan Fabricio Villalobos Toro

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2003

## AGRADECIMIENTO

Agradezco al Dr. Edgardo Baez, Presidente de la Compañía, Ing. Rafael Osorio, Vicepresidente Técnico, Ing. Cesar Martín Villegas, Director de mantenimiento civil, altos funcionarios de Compañía de Cervezas Nacionales C.A. por permitirme desarrollar como tema de tesis, la Fase II del proyecto de automatización de las pailas de cocimiento y presentar el trabajo de graduación titulado “Diseño y Puesta en marcha de una plataforma de control para el proceso de limpieza de la planta de cocimiento de la Compañía de Cervezas Nacionales C.A.”.

Al excelente grupo de trabajo que lidera el Ing. Oscar Rivera Hayek, Director de mantenimiento del área de elaboración; a los Ingenieros de Planta, Julio Naranjo, Patricio Vásquez, Rubén Loaiza, Herman Medina por sus valiosos consejos.

Al Tlgo. Franklin Montalbán y a los Técnicos electricistas, Edy Salazar, Miguel Robelly, Alejandro Serrano, Luis Yambay, Edgar Guerrero, Jhonny Silva, José Bernal, Carlos Muzzio, a los instrumentistas Carlos Ugarte, Wilmer Palma, Pablo Guim por su infaltable trabajo.

A los operadores de planta, Carlos De La Torre, José Basurto, Jhonny Navarro, Erick Salazar, Milton Gilce, Víctor Serafín, Walinton Chalén, por sus importantes observaciones.

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo y muy especialmente al Ing. César Martín Moreno como Director de tesis, por su invaluable ayuda.

## DEDICATORIA

Mi madre,  
A mi hermano,  
A mi hermana,  
y mis sobrinos.

# TRIBUNAL DE GRADUACION

---

Ing. Norman Chootong  
PRESIDENTE

---

Ing. César Martín M.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Alberto Manzur H.  
VOCAL

---

Ing. Juan Del Pozo L.  
VOCAL

## **DECLARACION EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL ”

Art. 12 del Reglamento de Graduación

## RESUMEN

Mediante oficio del 27 de febrero del año 2001, dirigido al Ing. Rafael Osorio, Vicepresidente Técnico de la Compañía de Cervezas Nacionales C.A y firmado por el Ing. Carlos Monsalve, Subdecano de la FIEC. La ESPOL solicita a la Compañía de Cervezas Nacionales C.A la participación del estudiante de tesis, Sr. Juan Villalobos en la Fase II del proyecto de automatización de las pailas de cocimiento, en calidad de pasante para su posterior desarrollo como Tesis de Grado. Esta solicitud fue aprobada con visto bueno de la Vicepresidencia Técnica el 13 de marzo del año 2001.

Compañía de Cervezas Nacionales C.A., con el objeto de mejorar eficiencia y costos de producción, decide actualizar la plataforma de control del proceso de limpieza en sitio de las pailas y tolvas del área de cocimiento e integrarla a una red existente de controladores industriales Modbus plus, para el proceso de elaboración de cerveza, uniendo así los procesos en una sola red de monitoreo y mando, también propone realizar la selección e implementación de una nueva línea de sensores para medición de presión de líquidos y de nivel, para líquidos y sólidos.

En este trabajo se realizó el diseño, análisis de costos, selección, implementación y puesta en marcha de una plataforma de control, basada en controladores lógicos programables e instrumentación.

La selección de la plataforma de controladores y sensores a implementar. Se realiza en base de criterios, que se detallan completamente.

Para realizar el diseño de las instrucciones del equipo de control o autómata, se aplicó una guía de marchas y paradas de procesos y se utilizó un programa de computación experto llamado CONCEPT versión 2.2. Este programa distribuido por Schneider Electric, permite crear el mando de control industrial en lenguaje de contactos, diagrama de funciones y en gráficos de mando etapa – transición secuenciales o GRAFCET, para los controladores elegidos.

Los planos necesarios para especificar la instalación de la plataforma de control e instrumentación, fueron realizados mediante la utilización de un programa de dibujo del tipo CAD.

La instalación se realizó mediante la utilización de métodos profesionales y mano de obra calificada de la misma compañía. Las pruebas de funcionamiento, se realizaron en el taller de mantenimiento electrónico de la planta, en un panel eléctrico montado para este fin, capaz de simular todas las condiciones de operación del sistema en sitio.

En la puesta en marcha, los ensayos y calibraciones finales se llevaron a cabo, mediante el uso de una lista de variables y protocolos de prueba, para los diferentes modos de funcionamiento y rutas de proceso.



## INDICE GENERAL

RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	IX
INDICE DE TABLAS	XIII
INDICE DE FIGURAS	XIV
ABREVIATURAS	XV
INTRODUCCION	1
I.- DESCRIPCION DEL PROCESO DE LIMPIEZA	4
1.1 Proceso del CIP	4
1.1.1 Detalles generales	4
1.1.2 Rutas de limpieza	5
1.1.3 Descripción de etapas	7
1.1.4 Tiempos de operación	8
1.1.5 Detalle de válvulas del sistema	9
1.1.6 Listado de materias primas	10
1.1.7 Desperdicios y residuos tóxicos	11
1.2 Servicios generales de la planta	11
1.2.1 Energía eléctrica	11
1.2.2 Agua para el proceso	12
1.2.3 Vapor de agua	

1.2.4	Aire comprimido	13
1.3	Capacidades físicas existentes	13
1.3.1	Detalle de actuadores	13
1.3.2	Detalle de captadores	14
1.3.3	Detalle del elemento de mando	15
1.4	Detalles generales	15
1.4.1	Distribución general de las pailas	15
II.- ANALISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL		18
2.1	Criterios para la selección de un PLC	25
2.1.1	Consideraciones de costo	28
2.1.2	Configuración y arquitectura	28
2.1.3	Entradas/salidas	29
2.1.4	Herramientas y lenguaje de programación	30
2.1.5	Comunicación	37
2.1.6	Mantenimiento y diagnostico	42
2.2	Descripción de la instalación automática	43
2.2.1	Elemento de mando	46

2.2.2	Accionadores	51
2.2.3	Captadores	54
2.2.4	Descripción del funcionamiento	55
2.3	Implementación programada	56
2.3.1	Estructura del programa	60
2.3.2	Procesos de Parada y Puesta en Marcha	66
2.3.3	Procesos de falla de la parte operativa	69
2.3.4	Procesos de funcionamiento	71
III.-	ANALISIS Y ELECCION DE LA INSTRUMENTACION	74
3.1	Variables del proceso	79
3.1.1	Medición de nivel	79
3.1.2	Medición de presión	86
3.2	Criterios para selección de sensores	90
3.2.1	Aplicación	90
3.2.2	Condiciones del proceso	93
3.2.3	Fidelidad en la medida	99
3.2.4	Diseño de sistema y operación	100
3.2.5	Entradas y salidas	101

3.2.6	Construcción mecánica	102
3.3	Descripción de la plataforma de sensores	112
3.3.1	Listado de instrumentos nuevos	115
3.4	Implementación de cableado de instrumentación	115
3.4.1	Cables	117
3.4.2	Conexiones flexibles	122
3.4.3	Tubería	122
3.4.4	Tendidos eléctricos y balance de materiales	123
IV.- ANALISIS DE COSTOS		125
4.1	Listado de materiales	125
4.2	Costo de materiales directos e indirectos	125
4.3	Costo total	127
CONCLUSIONES		128
RECOMENDACIONES		131
ANEXOS		133
BIBLIOGRAFIA		314

## INDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.1	Rutas del Proceso de Limpieza	5
Tabla 1.2	Tiempos de las Etapas de limpieza	9
Tabla 1.3	Listado de Materias Primas en la mezcla de soda	10
Tabla 1.4	Capacidad de reservorios en la Sala de Cocimiento	16
Tabla 2.1	Detalle de módulos del PLC principal	47
Tabla 2.2	Detalle de direcciones de red Modbus plus	48
Tabla 2.3	Accionamiento de las válvulas del grupo 1	53
Tabla 2.4	Accionamiento de las válvulas del grupo 2	54
Tabla 3.1	Sistemas de medición de nivel	79
Tabla 3.2	Sistemas de medición de presión	88
Tabla 3.3	Precisiones de los Sistemas de medición de nivel	100
Tabla 3.4	Listado de Instrumentos nuevos	115

## INDICE DE FIGURAS

		Pág
FIGURA 2.1	Procedimiento para la instalación de una plataforma de control.	21
FIGURA 2.2	Protocolos de comunicación RS232 y RS485.	38
FIGURA 2.3	Guía de los modos de Marchas y Paradas	59
FIGURA 3.1	Sistema Capacitivo de detección de nivel	80
FIGURA 3.2	Sistema Inductivo de detección de nivel	81
FIGURA 3.3	Sistema Hidrostático de medición de nivel	82
FIGURA 3.4	Sistema Radiométrico de medición de nivel	83
FIGURA 3.5	Sistema Ultrasónico de medición de nivel	84
FIGURA 3.6	Sistema por Microondas de medición de nivel	84
FIGURA 3.7	Sistema electromecánico de medición de nivel	85
FIGURA 3.8	Sistema Vibratorio de detección de nivel	86
FIGURA 3.9	Tipos de sensores: compactos y con extensiones	103
FIGURA 3.10	Tipos de conexiones: roscadas, sanitarias y bridadas	104
FIGURA 3.11	Tipos de carcasas: Poliéster, Acero inoxidable y aluminio	105
FIGURA 3.12	Pieza electrónica de instrumentación	106
FIGURA 3.13	Procedimiento para la instalación de instrumentación industrial.	109

## ABREVIATURAS

CIP	Limpieza en sitio (Cleaning in Place)
E&H	Endress & Hauser
ERP	Sistema general de administración de recursos (Enterprise Resource Planning)
HMI	Interfase Hombre Maquina (Human Machine Interface)
I/O	Entrada Y/O Salida
MB+	Modbus plus
PLC	Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller)
TI/O	Terminal de Entrada y salida
UPS	Unidad de respaldo de energía (Unit Power Suplí)
VAC	Voltaje Corriente Alterno
VDC	Voltaje Corriente Directo

## INTRODUCCION

El trabajo realizado comprendió la selección, instalación y puesta en marcha de un nuevo sistema, para el control automático del proceso de limpieza de las pailas e instrumentación, para la medición de nivel y presión de la planta de cocimiento de la Compañía de Cervezas Nacionales C.A. en Pascuales.

La elaboración del proyecto respondió a los siguientes objetivos:

- ✓ Aseguramiento de la calidad del producto, mediante la estandarización del proceso en todas sus etapas.
- ✓ Garantizar la eficiencia del proceso, mediante reducción de paradas y tiempos perdidos en controles manuales.
- ✓ Modernización de equipos de monitoreo y control con los avances tecnológicos del momento.
- ✓ Seguridad en la operación y funcionamiento del nuevo sistema de control de limpieza.
- ✓ Contabilizar el contenido de hectolitros de cerveza en el proceso de elaboración.



- ✓ Optimizar el volumen de reserva de los recipientes.
  
- ✓ Realizar bombeos automáticos entre las pailas y tanques.

El sistema actual de control, reemplazó una antigua plataforma basada en cinco PLCs Telemecanique TSX 17, implementada en el primer proyecto de automatización del proceso en el año de 1995. En la actualidad el sistema de control es moderno, responde a todas las necesidades de control, es eficiente y permite la conectividad a sistemas superiores. Tiene la capacidad de entregar información en tiempo real, creando así una plataforma para acceder a los datos generados en la planta, para que en un futuro esta información alimente al sistema general de administración de recursos (ERP: Enterprise Resource Planning) SAP/R3 existente en la Compañía de Cervezas Nacionales C.A.

El proyecto comprendió el retiro de los equipos de control antiguos, readecuación de tableros, tendido de nuevo cableado donde correspondía, instalación de controladores programables, elaboración de interfase hombre máquina, programación de instrucciones, calibración y puesta en marcha del sistema. También resolvió la actualización de sensores de presencia de

líquido e instalación de nueva instrumentación para la medición de nivel y presión, calibración e ingreso de las señales al sistema de elaboración.

Sé reutilizaron los cables, equipos de detección existentes, así como también las electro-canales, acometidas y dispositivos de fuerza, para motores.

# CAPITULO I

## I. DESCRIPCION DEL PROCESO DE LIMPIEZA

### 1.1. Proceso del CIP

#### 1.1.1. Detalles generales

El CIP de la planta de cocimiento, es el proceso de limpieza de las diferentes pailas y tolvas con agua y soda cáustica, a una temperatura de 100 grados Celsius, los reservorios a ser limpiados están involucrados en el proceso de mezcla, filtrado y cocinado de la malta y adjunto para la elaboración de Mosto.

Este lavado de ocho etapas, se realiza de manera general a toda la cocina en la programación de mantenimiento de fin de semana, fuera de todo proceso de elaboración. También se lo ejecuta diariamente, muy particular a la paila de hervir durante el proceso de cocción de mosto.

Con el fin de obtener una correcta higiene en toda la cocina, el CIP se realiza en siete rutas diferentes llegando a cada una de las pailas de la planta.

### 1.1.2. Rutas de limpieza

El sistema de limpieza está formado por una elaborada red de tuberías y válvulas neumáticas encargadas, de realizar enjuagues con agua y solución lavadora a los siguientes reservorios:

**TABLA 1.1**  
**Rutas del Proceso de Limpieza**

RUTA 1	Molinos y Tolvas de Malta
RUTA 2	Paila de malta
RUTA 3	Paila de adjunto
RUTA 4	Filtro
RUTA 5	Tanque intermedio
RUTA 6	Paila de hervir
RUTA 7	Whirlpool

El tanque para el almacenamiento de soda, es un reservorio de acero inoxidable con una capacidad de 35 hectolitros. Posee tres detectores de nivel: superior, inferior y bajo. En la salida de este tanque existe una bomba dosificadora, que suministra la soda y agua a las diferentes rutas.

Por medio de un cambio de válvulas, la bomba de suministro (17.1M1) realiza las tareas de impulsar a las pailas la solución lavadora desde el tanque de soda e impulsar el agua, para los enjuagues desde la línea principal de agua.

La bomba de suministro se conecta a la paila que se desea limpiar, por medio de la ubicación adecuada de un codo móvil ubicado en un panel de tuberías, desde donde se distribuyen a las 7 rutas. Este panel seleccionador de tuberías está ubicado a un costado del tanque de soda. Cada ruta termina en forma de ducha dentro de cada reservorio.

Los enjuagues y soluciones ingresadas a las pailas son evacuadas de su interior, por medio de tres bombas de retorno.

- ✓ La bomba 17.1 M2 para las rutas 1,2 y 3,
- ✓ La bomba 17.1 M3 para las rutas 4,5 y 6,
- ✓ La bomba 17.1 M5 para la ruta 7.

### 1.1.3. Descripción de etapas

El CIP consta de ocho etapas para realizar el programa completo de limpieza, ésta secuencia se realiza en cada una de las rutas especificadas anteriormente:

Las etapas uno y dos constituyen el enjuague preliminar del CIP, se realiza con el objeto de retirar cualquier tipo de residuo de malta y tiene una duración aproximada de 10 minutos.

**ETAPA 1.** - Se introduce agua caliente en la paila para un primer enjuague.

**ETAPA 2.** - Se introduce más agua y solo se evacua el agua acumulada.

En las tres etapas siguientes se realiza el ingreso, recirculación y evacuación de soda, para desinfectar cada uno de los elementos inmersos en el proceso, tiene un tiempo de limpieza de 22 minutos, aunque normalmente se extiende a decisión del operador.

**ETAPA 3.** - Una vez evacuada el agua, se inicia una recirculación de soda, por un tiempo asignado por defecto.

**ETAPA 4.** - La soda acumulada en la paila será evacuada en este paso, durante un tiempo ya establecido. No se introducirá más soda.

**ETAPA 5.** - Se termina de recuperar la soda y se introduce agua, para comenzar el enjuague de las tuberías y la paila.

Las etapas seis, siete y ocho con una duración de 11 minutos, constituyen el enjuague final en el CIP.

**ETAPA 6.** - Se comienza a botar al desagüe el agua.

**ETAPA 7.** - Se evacúa el agua acumulada durante el enjuague.

**ETAPA 8.** - Se limpia el intercambiador con agua limpia.

#### **1.1.4. Tiempos de operación**

Los tiempos de operación, para cada una de las etapas del CIP, tienen un valor definido en el programa, sin embargo, el operador tiene la facultad de cambiar la duración de cualquiera de las etapas durante el proceso. Estos tiempos fueron establecidos por el Ingeniero Químico, con el objeto de tener una mezcla adecuada de soda y agua con un potencial hidrógeno de entre cuatro y cinco aproximadamente.

**TABLA 1.2**  
**Tiempos de las Etapas de limpieza**

Etapa 1	300 segundos
Etapa 2	300 segundos
Etapa 3	600 segundos
Etapa 4	1020 segundos
Etapa 5	10 segundos
Etapa 6	300 segundos
Etapa 7	300 segundos
Etapa 8	30 segundos

#### **1.1.5. Detalle de válvulas del sistema**



El sistema de limpieza está formado por una elaborada red de tuberías y válvulas neumáticas, que permiten elegir el camino efectivo del desinfectante. Para realizar este trabajo, la apertura y cierre de válvulas es realizado de manera automática por medio del autómatas o PLC. Las instrucciones del programa almacenado, activan las señales neumáticas respectivas, el PLC censa el giro de los motores neumáticos de cada una de las válvulas con detectores inductivos, uno para la apertura y otro para el cierre.

El **ANEXO 1.2.2** detalla la distribución en el campo de las válvulas manuales y automáticas utilizadas en el proceso.

#### **1.1.6. Listado de materias primas**

Las materias primas utilizadas en la mezcla de soda, para la limpieza de las pailas son:

**TABLA 1.3**  
**Listado de Materias Primas en la mezcla de soda**

Soda Cáustica	NaOH	40%
Metadisulfato de Sodio	SO <sub>4</sub> Na <sub>2</sub>	10 Kg. / HI.

Exametalfosfato de Sodio  $PO_6Na_2$  2 Kg. / HI.

La mezcla compuesta solo de soda concentrada y agua, es una mezcla muy abrasiva para el acero inoxidable, razón por la cual se agrega el Metadisulfato y Exametalfosfato de Sodio para convertirla en una solución desinfectante y limpiadora.

#### **1.1.7. Desperdicios y residuos tóxicos**

En el proceso del CIP de la Planta de Cocimiento de CCN no existe emanación, ni producción de desperdicios tóxicos. El agua utilizada en el proceso, es filtrada de soda antes de su desecho, luego es enviada a la Planta de Tratamiento de Aguas residuales con el objeto de darle un nivel aceptable de PH y entregarla al Río Daule finalmente.

### **1.2. Servicios generales de la planta**

#### **1.2.1 Energía eléctrica**

El suministro de energía eléctrica de la planta, es realizado desde un banco de transformadores de 13.2KV / 440V (estrella en alta / delta en baja,

aterrizado), el cual constituye la subestación de éste sector.

En los tableros actuales, el voltaje de 440Vac es transformado y distribuido a un nivel de 110Vac a 60Hz para cada sección. La tensión de control es 110Vac a 60 Hz. La tensión de 24Vdc para instrumentación, es suministrada a cada uno de los paneles con fuentes de 110Vac.

Para los PLC y computadoras, el voltaje de control de 110Vac es regulado y protegido mediante una unidad de respaldo o UPS de 6.000 KVA, con tiempo de respaldo de dos horas y 30 minutos aprox.

### **1.2.2 Agua para el proceso**

El agua para enjuague es entregada desde el área de servicios, es un agua blanda sin minerales, previamente tratada en ablandadores. Esta característica es importante en el proceso para evitar la formación de sólidos e incrustaciones en pailas y tuberías.

### **1.2.3 Vapor de agua**

El vapor es generado en el área de calderos y suministrado desde la zona de servicio a una presión de 7 bares, en la planta de cocimiento es regulado a una presión de trabajo de 4 bares. Este servicio es requerido en el CIP, para el calentamiento de la soda a una temperatura de 75 grados Celsius, temperatura en la cual la soda realiza una adecuada labor desinfectante.

### **1.2.4 Aire comprimido**

Servicio utilizado en el sistema neumático del proceso, el aire comprimido es obtenido de un conjunto de compresores alternativos, que almacenan el aire en tanques pulmones a una presión de trabajo de 75 psi. , la distribución del aire comprimido se realiza mediante tuberías hasta la planta y por mangueras neumáticas a los elementos finales de control, sean éstas válvulas, cilindros, reguladores neumáticos, etc.

## **1.3 Capacidades físicas existentes**

### **1.3.1 Detalle de actuadores**

#### **Accionadores eléctricos**

El CIP dispone de una bomba alimentadora de soda y tres bombas de retorno, para la recirculación y extracción de la soda de las rutas del proceso, estos equipos constituyen los accionadores eléctricos en la instalación automática

### **Accionadores neumáticos**

Otros actuadores presentes en el sistema son las electro válvulas, ubicadas en cada una de las islas de control del CIP y utilizan como fuente de energía el aire comprimido, para realizar la apertura y cierre de las válvulas neumáticas de la red de tuberías.

#### **1.3.2 Detalle de captadores**

Los elementos que componen el grupo de los captadores en esta instalación, son los detectores inductivos, capacitivos y vibratorios, tienen como objeto informar al órgano de mando del estado del sistema o de los eventos que sucedan en él. Los captadores registran las señales necesarias, para conocer el estado del proceso y decidir su desarrollo futuro. En este sistema se detecta la posición de las válvulas, el nivel

de sólidos en tolvas, la presencia de líquidos en tuberías y la detección de nivel en tanques.

### **1.3.3 Detalle del elemento de mando**

Los autómatas programables, que constituyeron la plataforma de control antigua, para el proceso del CIP se ubicaban en cinco lugares diferentes de la planta, comunicados entre sí por cable multifilar enmallado y realizaban la transferencia de información con el protocolo Unitelway, a una velocidad de transmisión de 9600 baudios.

## **1.4 Detalles generales**

### **1.4.1 Distribución general de las pailas**

La sala principal de la sección de Cocimiento, consiste en un sistema elaborado de pailas y tuberías, para el manejo secuencial del proceso de maceración, filtrado, cocción y sedimentación de mosto, los reservorios son los siguientes:

**TABLA 1.4**  
**Capacidad de reservorios en la Sala de Cocimiento**

<b>Reservorio</b>	<b>Capacidad</b>
Paila de malta,	1100 Hlt.
Paila de adjunto,	650 Hlt.
Filtro de Mosto,	1170 Hlt.
Tanque intermedio,	1250 Hlt,
Paila de hervir,	1650 Hlt,
Whirlpool,	1300 Hlt.

Existen equipos adicionales como:

Molinos de malta 1 y 2,

Tina clarificadora,

Tanques de última agua 1 y 2.

Centrífuga

Tanque de jarabe

Tanque de soda cáustica,

Tolva de adjunto, 190 Hlt.

Tanque trub, 50 Hlt.

Tanque de agua caliente, 4200 Hlt.

Tanque de agua fría, 1500 Hlt,

Paneles de codos móviles, bombas, válvulas neumáticas e hidráulicas, etc.

El **ANEXO 1.2.1** muestra la distribución general de pailas y equipos, dentro de la sección Cocimiento.



# CAPITULO II

## II. ANALISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

Una forma clásica de abordar el estudio de los sistemas automatizados de control, es la división en Parte de Mando y Parte Operativa.

La parte operativa, es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación. Forman parte de ella los accionadores de las máquinas como son motores de corriente continua, motores de corriente alterna, cilindros neumáticos, accionadores hidráulicos, compresores, bombas, etc.

La parte de mando suele ser un autómatas programable (PLC por sus siglas en inglés de Programmable Logic Control). En un sistema de fabricación automático, está en el centro del sistema y debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes del sistema automatizado.

El autómatas elabora las acciones a realizar sobre el sistema de fabricación, en base de: el programa que ha sido introducido en su

memoria, las señales de los captadores y las órdenes que provengan del operador.

El autómata dialoga con el operario, recibiendo consignas y suministrando informaciones. Puede coordinarse con otros procesos, comunicándose con los demás autómatas de la línea de producción o con un nivel superior de supervisión.

No es posible automatizar todos los procesos. Las razones o causas pueden ser varias, aunque las más comunes son:

- ✓ Es muy caro desarrollar las máquinas o los robots necesarios, para la automatización.
- ✓ No existen captadores fiables del proceso que se desea automatizar. Un ejemplo puede ser la automatización inteligente de lavadoras. ¿Existe un captador de suciedad fiable? ¿A qué llamamos suciedad?
- ✓ Es más barato que lo realice un ser humano.

Para que el control del proceso sea efectivo, las informaciones de los captadores y accionadores deben ser suficientes y fiables.

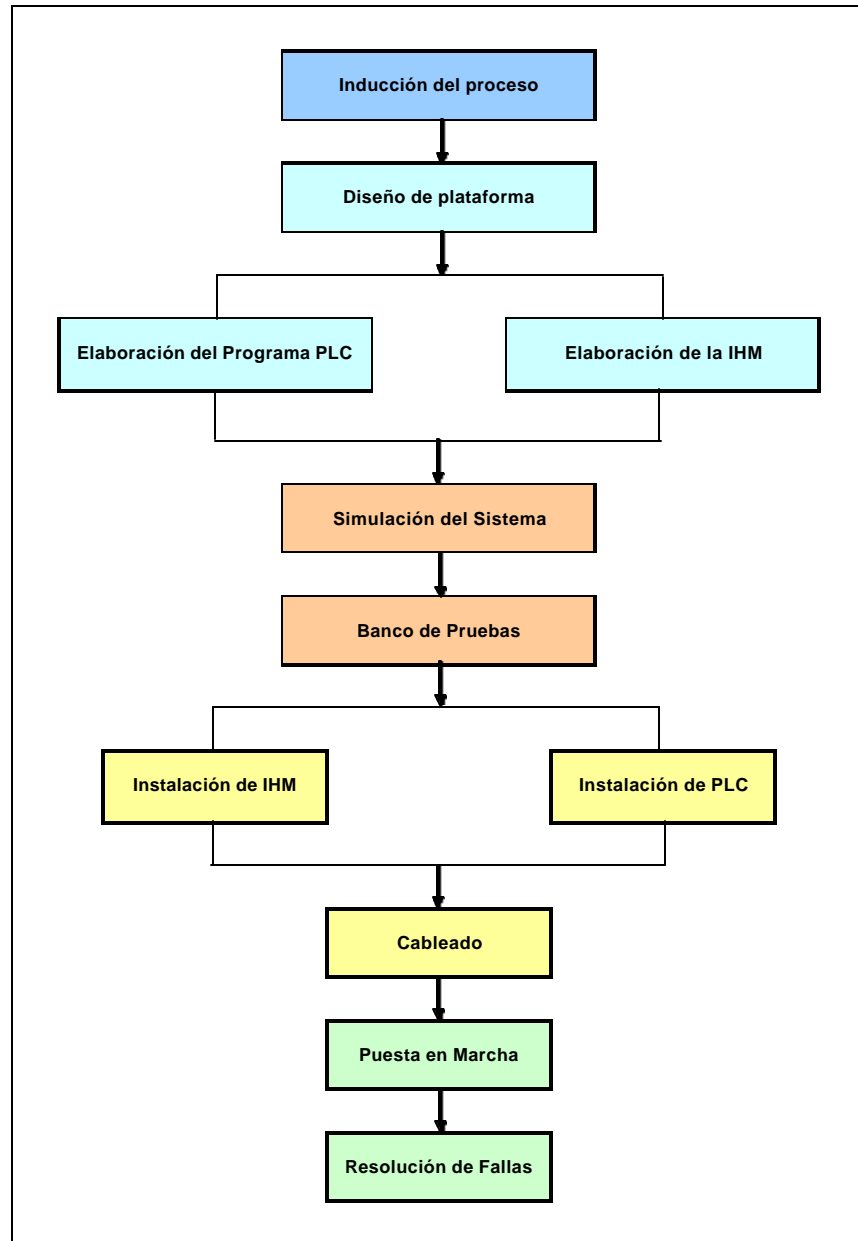
Los captadores son finales de carrera, detectores de proximidad inductivos, decodificadores, dínamos tacométricos, que informan al órgano de mando el estado del proceso y así decidir su desarrollo futuro. Detectan presión, posición, temperatura, caudal, velocidad, aceleración.

Los accionadores son de naturaleza eléctrica, neumática e hidráulica, están acoplados al equipo para realizar movimientos, calentamiento, etc. Son motores de corriente continua, motores de corriente alterna, cilindros neumáticos, electro válvulas, válvulas solenoides.

### **Procedimiento para la Implementación de una plataforma de control.**

De acuerdo a la experiencia adquirida en la implementación de la plataforma automática, detallo en un procedimiento los pasos que facilitaron el desarrollo del proyecto y el descubrimiento de posibles fallas en la instalación final. Es muy importante subrayar la utilización de un software, que permita la simulación sin PLC del programa diseñado.

**FIGURA 2.1**  
**Procedimiento para la instalación de una plataforma de control**



**Inducción del Proceso.** – Comprende el aprendizaje intensivo del funcionamiento del proceso en cuestión, y de las herramientas de software que el ingeniero utilizará, como son los programas que controlan al PLC y la IHM, se recomienda no más de 4 semanas de trabajo en esta etapa.

**Diseño de plataforma.** - En la etapa más importante del procedimiento, con una duración de 6 semanas aprox., se desarrolla toda la ingeniería; un estudio exhaustivo del sitio, definición de las señales de entrada y salida, definición de la estructura de control, elaboración de planos eléctricos, estimación de materiales eléctricos y mecánicos. Con el fin de tener listados reales de compra para equipos, software y materiales.

**Elaboración del Programa y la IHM.** – Mientras el departamento de compras adquiere las listas de materiales, el ingeniero encargado de la obra debe realizar el programa del PLC directamente en el software y el diseño de las pantallas de visualización, continuar con la elaboración de los planos finales, tareas que le demorarán unas 14 semanas aprox.

**Simulación del sistema** – Este sistema está formado por las pantallas de visualización y el programa de PLC, éste debe ser simulado completamente en el computador sin ninguna conexión al equipo de control, caso contrario, dependerá de la llegada del mismo. Este es el momento para agregar funciones no automatizadas, para optimizar el proceso y realizar una interfase más amigable al operador.

**Banco de Pruebas.** – Se levanta un banco de pruebas para el PLC ya adquirido, con un tablero, rieles, bornas e interruptores. Para la activación de las señales de entrada con voltaje de control de 24 voltios y así generar de acuerdo a las instrucciones programadas respuestas para la activación de bobinas e iluminación de luces de control. Para realizar ésta tarea es necesario del computador, PLC, tablero de pruebas y fuentes de alimentación. Mientras tanto se realiza en el campo el tendido eléctrico de voltaje regulado y de la red de comunicación.

**Instalación de IHM y PLC.** – Antes de llegar a ésta etapa se deben haber realizado los horarios de trabajo, tareas de grupo, marquillaje de entradas y salidas, adecuación máxima de tableros e instalación en tubería de todo el cableado posible. Solo así se asegura la instalación

sin retrasos de la plataforma, si es una actualización de sistema, se recomienda realizarlo en horarios de mantenimiento semanal, considerando que solo se tiene un máximo de tres días aprox., antes de un posible arranque de la planta. El **Anexo 1.1** muestra los cronogramas de tareas, definición de horarios de trabajo y personal en ésta implementación.

**Cableado.** – Esta tarea se lleva a cabo luego de la instalación de equipos, consiste en la conexión de las alimentaciones de voltaje, señales de entradas y señales de salida, con sus respectivas pruebas, éstas comprenden en la activación de señales de entrada a voluntad del técnico y la activación de los equipos actuadores, mediante puentes de voltaje sin el funcionamiento aun del PLC u otro sistema de control.

**Puesta en marcha.** – Esta tarea le compete realizarla solo al Ingeniero desde la interfase instalada en el Computador de control, debe establecer comunicación entre el PC y el PLC, correr secuencias de marcha y pruebas de test de todos los actuadores del sistema, para verificar el normal funcionamiento.

**Resolución de fallos.** – Corrida las secuencias del proceso y simulación completa, se deben realizar los ajustes finales correspondientes a los tiempos de etapas, temporizadores, seguridades y de toda observación útil realizada por los operadores, para el normal desenvolvimiento del proceso.

Este procedimiento establece una guía de trabajo, para cualquier implementación de sistemas automáticos. Los criterios que se describen en la siguiente sección definen cada uno de los pasos detallados anteriormente.

### **2.1. Criterios para la selección de un PLC**

El autómata programable debe realizar multitud de funciones y muchas de ellas de manera simultánea, razón por la cual los criterios de selección para autómatas, que enunciare más adelante, se apoyan en las diferentes características de servicio que presta el equipo y que detallare a continuación.

Las funciones más clásicas que desempeña un autómata son:

**Detección.** Lectura de las señales de los captadores distribuidos por el sistema de fabricación o planta.



**Mando.** Elaboración y envío de las acciones al sistema mediante los accionadores.

**Diálogo hombre máquina.** Mantener un diálogo con los operadores de producción, obedeciendo sus consignas e informarles del estado del proceso.

**Programación.** Para elaborar y cambiar el programa de la aplicación del autómeta.

En los últimos años, en el campo de la automatización industrial, se ha incorporado toda una gama de nuevas funcionalidades como:

**Redes de comunicación.** Permiten establecer comunicación con otras partes de control, en tiempo real e intercambiar información en pocos milisegundos.

**Sistemas de supervisión.** También los autómetas permiten comunicarse con computadores, provistos de programas de supervisión industrial. Esta comunicación se

realiza por una red industrial o por medio de una simple conexión por el puerto serie del computador.

**Control de procesos continuos.** Además de dedicarse al control de eventos discretos, los autómatas llevan incorporadas funciones, que le permiten el control de procesos continuos.

**Entradas y salidas distribuidas.** Los módulos de entradas y salidas, están distribuidos en el campo y se comunican con la unidad central del autómata mediante un cable de red.

**Buses de campo.** Mediante un solo cable de comunicación, se pueden conectar al bus: captadores y accionadores, reemplazando al cableado tradicional. El autómata de manera cíclica consulta el estado de los captadores y actualiza el estado de los accionadores.

De acuerdo con las características de servicio, que presta el equipo los criterios más importantes, para la selección de un PLC son:

- ✓ Consideraciones de costo
- ✓ Configuración y arquitectura
- ✓ Entradas/salidas
- ✓ Herramientas y lenguaje de programación
- ✓ Comunicación
- ✓ Mantenimiento y diagnóstico

### **2.1.1. Consideraciones de costo**

El costo de cualquier PLC en lo referente a la instalación debe ser dividido en tres partes principales:

- ✓ El costo del PLC mismo.
- ✓ El costo de la programación y documentación del software y gastos por instalación.
- ✓ Cableado y hardware adicional como fuentes de energía externa, borneras adicionales, etc.

### **2.1.2. Configuración y arquitectura**

En la arquitectura general del autómata programable, tenemos como elemento base, la unidad central del autómata donde se encuentra la CPU, las memorias RAM y ROM y la fuente de alimentación, a partir de ahí

se incorporan módulos de entradas y salidas digitales, módulos de entradas y salidas análogas, módulos de comunicación, etc.

El autómata programable se organiza alrededor de la unidad central y la comunicación con los módulos se establece mediante un bus interno.

La configuración física de un autómata puede ser presentada en tres formas principales:

**Autómatas compactos.-** Nano autómatas o autómatas de baja gama, suelen tener una estructura compacta. Incorporan en su unidad central los módulos de entradas y salidas e incluso módulos de comunicaciones.

**Autómatas semi - modulares.-** Se dedican a automatizaciones de gama media. Dado que están limitados en sus posibilidades de ampliación, su potencia de proceso aunque superior a los compactos, es también limitada.

**Autómatas modulares.-** Autómatas programables o de gama alta, se construyen como elementos modulares que permiten a las necesidades del usuario, una gran flexibilidad en su configuración, así como un fácil diagnóstico y mantenimiento. Si algún módulo falla, puede ser sustituido rápidamente.

### **2.1.3. Entradas/salidas**

El órgano central de control, recepta en sus puertos de entradas discretas y análogas, la información de los captadores del sistema, que le permite monitorear el estado general del proceso y tomar las decisiones necesarias de acuerdo al programa ejecutado, éstas órdenes se envían a los actuadores, mediante puertos de salidas discretas y análogas.

#### **Entradas / Salidas Discretas**

Lo primero en la selección del hardware del PLC, es determinar el número de entradas y salidas (E/S), que se requieren. Existen dos categorías de E/S, para el control

del equipo de campo y para el control del panel del operador.

Las entradas de control de la máquina, típicamente vienen de sensores de estado sólido e interruptores de límite mecánico. Las salidas discretas manejan contactores, relevadores, válvula solenoides y actuadores.

Las entradas del panel del operador vienen desde botones, interruptores, selectores y teclados alfanuméricos. Las salidas discretas manejan señales de focos y pantallas digitales. Si el panel de control del operador soporta considerable número de E/S, una terminal o computador de interfase, para operador, puede ser mejor que simples luces indicadoras.

Un PLC con una interfase serial, es necesario, para comunicarse con una terminal inteligente. Una interfase serie bidireccional, reemplaza todas las E/S discretas asociadas con el panel de control del operador.

En todos los casos, los botones de paro de emergencia, deben ser alambrados directamente a los circuitos de control de energía. Por seguridad las señales de emergencia, no deben ser enrutadas a través de dispositivos programables, tales como PLC o terminales de interfaz del operador.

El tipo de señal de entrada y salida encontrada en la aplicación es importante. La tendencia es la de usar 24 Vdc, para voltaje de control, sensores y otras entradas. Este voltaje es más seguro que 110 Vac. Los PLC con entradas de 24 Vdc y sensores de estado sólido de 24 Vdc; como interruptores de proximidad y foto celdas, son también menos costosos que los de corriente alterna.

Normalmente, los 24 Vdc no están disponibles en un gabinete de control. Algunos PLC, sin embargo, proporcionan un suministro de 24 Vdc, específicamente, para sensores. Esto ahorra el costo de una fuente de energía adicional, simplifica el cableado y reduce el tiempo de instalación.

Si el PLC es empleado, para adecuar una instalación existente de 110 Vac, para circuitos de control, quizás sea más económico usar 110 Vac, para las entradas. Esto es especialmente cierto, si ya se han colocado sensores de corriente alterna. Para máquinas nuevas, sin embargo, no hay argumentos fuertes válidos, para usar entradas de 110 Vac.

Por otra parte, el voltaje de control más frecuente, para dispositivos de salidas, es 110 Vac. Esto es, porque las señales de salida necesitan una energía considerable y un suministro de 24 Vdc de suficiente capacidad, es relativamente costoso. Las salidas de corriente directa son usadas donde se requieren específicamente una pantalla digital numérica o manejo de switcheo frecuente.

Los circuitos de salida usan relés, para corriente alterna o directa, triacs para salidas de corriente alterna únicamente, o transistores para salidas de corriente directa.

### **Entradas / Salidas Análogas**



Las entradas analógicas para PLC, provienen de transductores de presión, termocuplas, RTD, sensores de desplazamientos, celdas de carga, etc. Las salidas analógicas de control desde el PLC, pueden ser variadores de velocidad, válvulas proporcionales, elementos de calentamiento y algunos otros actuadores.

Los módulos de entradas y salidas análogas, son la interfaz, para que el autómata pueda controlar procesos continuos, como son: temperatura, presión, caudal, nivel, turbidez, radiación, humedad, desplazamiento, densidad, viscosidad, etc.

Los PLC necesitan módulos de entradas y salidas que sean lineales cuando trabajan con una señal analógica, que varíe sobre un rango. Estos módulos convierten tanto el nivel analógico a un número digital correspondiente o ejecutan el proceso inverso, para generar una salida analógica. Para mediciones de alta precisión, son necesarias precisiones de conversión de 10 hasta 14 bits en procesos industriales. Actualmente, existen módulos con una precisión de hasta 16 bits, lo

cual es mucho más que suficiente, para este tipo de aplicaciones.

Los rangos más comunes de señal de voltaje, que ofrecen los sensores analógicos son: +/- 5 Voltios, +/- 10 Voltios, 0..10 voltios, 0..20 mA, 4..20mA.

Los módulos de entradas analógicas leen señales de tensión o corriente. Una gran cantidad de sensores análogos, dan como señal de salida una señal de corriente. La razón, es que es mucho más difícil que su forma de onda se vea alterada por ruidos o tensiones inducidas, que en el caso de que la señal sea de tensión.

#### **2.1.4. Herramientas y lenguaje de programación**

El lenguaje de programación por excelencia de los PLC, es el Diagrama de contactos o Escalera (Ladder Logic). Este es un lenguaje de programación gráfico, que intenta representar con la mayor fidelidad posible, los viejos diagramas de conexiones de lógicas de relés. Fue este tipo de programación sumamente accesible, para los

usuarios la que permitió en los orígenes de la industria del PLC, la difusión masiva de estos.

Este lenguaje ha evolucionado con el tiempo y se han añadido bloques de función, que permiten realizar todo tipo de operaciones: matemáticas, movimiento de bloques, control de procesos, operaciones matriciales, etc. Sin embargo, el concepto de programación en escalera, ha sido mantenido.

El lenguaje de programación, está muy ligado a la selección del PLC, esto es, muy importante tener presente, ya que las condiciones del hardware definen las ventajas del software. Es imposible hacer uso de software de un distribuidor, para programar autómatas de otro diferente. La plataforma de programación elegida debe no solo programar y configurar el equipo, incluyendo la capacidad de documentar las aplicaciones, sino que también debe interactuar con generadores de aplicaciones, para interfaces de visualización hombre máquina (HMI) y así simular todas las condiciones reales de proceso en tiempo de prueba.

### 2.1.5. Comunicación

Todos los autómatas programables llevan incorporado un sistema de comunicación básico, que permite su programación mediante computador. Consiste en una comunicación serie asincrónica, que cumple con los estándares RS232C o RS485.

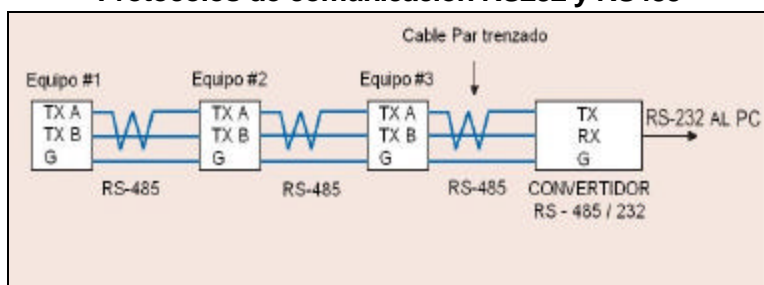
El método de comunicación serial RS232C permite a un dispositivo, la comunicación serial por un puerto COM del PC. El número de datos bits, que pueden ser enviados por segundo es de 9600, 19200, etc.

El protocolo RS485, permite la comunicación en red de 31 equipos a un PC. Cada dispositivo requiere de una dirección única. Para conectar los nodos RS485 al computador, se necesita de un convertidor 232 / 485. El medio físico del RS485, está formado por tres cables.

La gráfica muestra la intercomunicación de los protocolos RS485 y RS232.

**FIGURA 2.2**

### Protocolos de comunicación RS232 y RS485



La comunicación serie asincrónica, permite el intercambio de caracteres entre el autómatas y el computador en el proceso de programación, o bien en el envío de caracteres a una impresora serie o de mensajes a una terminal de visualización. Esta comunicación se puede considerar lenta. Pues, se establece a una velocidad máxima de unos 19200 baudios.

Actualmente, con la incursión de transmisores inteligentes, protocolos de comunicación digitales de alta velocidad, las redes de datos industriales no se diferencian mucho de las redes de computadoras.

La estrategia de redes de comunicación utilizada en este trabajo, está fundamentada en dos tecnologías: Modbus y Modbus Plus, que son las que tratare a lo largo de éste

trabajo. La tecnología Modbus Plus fue utilizada para comunicar el grupo de autómatas y la Modbus, para establecer comunicación entre el PLC principal y la computadora de programación.

Estos dos tipos de protocolos utilizados, constituyen el medio de comunicación no solo de autómatas, sino también de paneles de supervisión y control, paneles mímicos, medidores de energía, anunciadores de voz, cámaras de vídeo industriales, variadores de velocidad, sensores, etc.

### **Comunicación Modbus**

La red de comunicación Modbus, fue introducida por MODICON en el mercado en el año 1979.

Las puertas de comunicación Modbus, permiten implementar una red de comunicaciones punto a punto o bien acceder al PLC, para su configuración, programación, monitoreo o carga y descarga de programas.

Esta conexión directa punto a punto, es un vínculo físico que une directamente un equipo maestro y otro esclavo a una velocidad máxima de 19200 baudios. Pueden ser direccionados hasta 247 esclavos por un único maestro. Debido a las características eléctricas de la puerta que cumple con la norma eléctrica RS232C, ésta distancia entre maestro y esclavo no puede superar los 15 metros.

### **Comunicación Modbus Plus**

La red Modbus Plus (MB+), es una red de comunicación local de alta velocidad, para aplicaciones de control industrial, responde a una arquitectura cliente / servidor.

Las características de la misma son:

- ✓ Velocidad de transmisión: 1 Megabit por segundo.
- ✓ Cada red soporta hasta 64 nodos o dispositivos direccionales.
- ✓ Distancia máxima utilizando repetidora: 1800m (6000ft)
- ✓ Medio físico de transmisión es el cable tipo par trenzado enmallado.

La red MODBUS PLUS estándar, soporta hasta 32 nodos y distancias de esta 450m (1500ft). La longitud puede ser hasta 2000m con el agregado de 3 repetidoras (amplificadores bidireccionales), los cuales son absolutamente "transparentes", para la red y para las aplicaciones sobre la misma, es decir, no constituyen nodos de red.

El funcionamiento de la red, es muy similar al de una red con protocolo "Token Ring". Un "Token" o grupo de bits, que trabajan como una "Posta" recorren la red siguiendo de una forma secuencial el orden lógico de las diferentes direcciones (no el orden físico), comenzando por la más baja y finalizando con la más alta. Cada nodo tiene acceso a la red cuando recibe el "Token". El nodo que retiene el token realiza las diferentes transacciones de mensajes (recepciones y envíos), desprendiéndose de aquel una vez completada la labor. Cuando realiza las transacciones recibe un acuse de recibo de la transacción, pero no la respuesta, ésta la recibirá cuando el nodo correspondiente haya adquirido el token. Una



vez que el token recorrió todos los nodos de la red, vuelve a comenzar por el primero.

#### **2.1.6. Mantenimiento y diagnóstico**

La fiabilidad de los autómatas, se podría decir que crece con el desarrollo de la técnica, pero también hay que observar que los procesos tienen cada día mayores exigencias o complicaciones, por lo cual se somete al autómata a problemas más difíciles a los que tendrá que enfrentarse con una garantía de éxito.

La fiabilidad de un autómata, representa la probabilidad de que esté en buen funcionamiento en un determinado instante de tiempo. Esta no se mantendrá, si se somete al sistema a unas condiciones peores de trabajo.

El autómata programable trabajará en ambientes hostiles electromagnéticos, químicos, etc., así que una primera precaución consiste en apantallar bien el autómata de posibles contaminaciones, que afecten a su buen funcionamiento.

Para ello se deberán colocar dentro de armarios que en bastantes casos deberán disponer de módulos de aire acondicionado, para garantizar una temperatura aceptable.

El autómata debe ser lo suficientemente modular, para permitir una rápida sustitución de los elementos donde se presente una avería.

## **2.2. Descripción de la instalación automática**

El sistema de limpieza CIP instalado en la sección de Cocimiento de **COMPAÑÍA DE CERVEZAS NACIONALES C.A.**, es un sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA). Esta nueva plataforma de controladores constituye la Fase II del proyecto de automatización de Pailas de cocimiento y se integra con la Fase I. El sistema completo trabaja sobre una red Modbus Plus y cuenta con dos computadoras personales, tres controladores lógicos programables, instrumentos de medición de temperatura, flujo, presión, nivel y equipos electromecánicos como relés de sobrecarga, breakers, variadores de frecuencia, motores,

bombas, electro válvulas neumáticas, válvulas motorizadas, pistones neumáticos, etc.

En el nivel inferior de la plataforma automática del CIP, se encuentran los equipos eléctricos y mecánicos de campo, estos son los **CAPTADORES** del sistema, que tienen por función proveer información del estado del proceso y ejecutar el control del mismo. Las señales de los captadores de señales discretas son 78 y del tipo análogo son 9. Los **ACCIONADORES** que también forman parte de este nivel, tienen por finalidad cumplir o ejecutar las señales de salida del autómatas, lo conforman los motores y válvulas neumáticas en un número de 29 salidas del tipo discreto. Todos los equipos de campo constituyen hardware del sistema SCADA. Refiérase al **ANEXO1.3**, para conocer el detalle de entradas y salidas del sistema de limpieza.

En un nivel intermedio tenemos al hardware de control o **ELEMENTO DE MANDO**, constituido por un controlador lógico programable marca Modicon, modelo TSX Quantum, el mismo que ha sido programado, para controlar la secuencia del proceso de limpieza, consta de un módulo de 32 entradas a 24 Vdc y un módulo de 16 salidas de relé a 110 Vac, que le

permite interactuar con las 12 terminales I/O de campo marca Modicon modelo Momentum. Todo este hardware se encarga de recoger los datos de campo y enviar instrucciones a los equipos, que así lo requieren.

En el nivel superior tenemos al **SISTEMA DE SUPERVISIÓN** formado por dos computadores con el software de visualización InTouch de Wonderware, software que permite la interacción de los operadores de planta con los equipos de campo, razón por la cual se le conoce como interfase hombre máquina (HMI, Human Machine Interface). Para cumplir esta función, las computadoras tienen que ser conectadas físicamente como nodos a la misma red de comunicación industrial de PLC, mediante una tarjeta de red Modbus Plus.

Las pantallas para la interacción hombre - máquina del CIP, fueron diseñadas con el software de **Wonderware, Intouch versión 7.1**, que opera bajo ambiente Windows.

El programa InTouch tiene dos componentes principales: Window Maker y Window Viewer.

El **Window Maker**, es el medio de desarrollo orientado a objetos que permite crear ventanas, para ser conectadas a sistemas industriales de adquisición de datos, como los controladores lógicos programables y otros programas de Microsoft Windows.

El **Window Viewer**, es el medio para ejecutar o correr las aplicaciones, que han sido creadas con el Window Maker y supervisar el proceso presentado en tiempo real, con el estado de las variables definidas en el sistema y que son registradas por los dispositivos instalados en el campo.

Para el caso particular de la **COMPANIA DE CERVEZAS NACIONALES C.A**, tiene acceso solo al Window Viewer.

### 2.2.1. Elemento de mando

El nivel intermedio de la plataforma de automatización, para el proceso de limpieza en sitio, está compuesto por:

- ✓ Hardware de control
- ✓ Software para programación de PLC
- ✓ Programa de Control

### Hardware de control

El PLC principal con unidad de almacenamiento y procesador matemático, para el sistema de limpieza CIP está ubicado en el tablero principal número diez de la sala de control eléctrico, se denomina PLC C y los módulos que lo componen son:

**TABLA 2.1**  
**Detalle de módulos del PLC principal**

<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCION</b>
140 CPS11140	Fuente de poder
140 CPU11303	CPU
140 DDI35300	Tarjeta de 32 IN / discretas a 24 Vdc
140 DRA84000	Tarjeta de 16 OUT / relay 110Vac

Las terminales de entradas y salidas, se encuentran distribuidas en el campo en tres gabinetes de control, existen dos tipos de terminales: las discretas con capacidad para 10 señales de entrada de 24 Vdc y 8 señales de salidas a relé a 110 Vac, y las análogas con capacidad para 4 entradas y dos salidas de 4 a 20 mA, su disposición dentro de cada estación se detalla en la Tabla 2.2.

Para conocer más características del controlador programable principal y de las terminales del sistema automático de limpieza, refiérase a los catálogos de SCHNEIDER ELECTRIC Quantum Process Control 2003 y Modicon Catalog & Specifier's Guide 2000.

Cada elemento formador de la red de control, posee una dirección en la red de comunicación, para el intercambio de información, éstas son:

**TABLA 2.2**  
**Detalle de direcciones de red Modbus Plus**

<b>UBICACION</b>	<b>ELEMENTO</b>	<b>DIRECCION</b>
<b>Pupitre de Control</b>	Computador 1	01
	Computador 2	04
<b>Tablero MCC10</b>	Autómata A	02
	Autómata B	03
	Autómata C	20
<b>Estación #1</b>	Terminal discreta	06

	Terminal discreta	07
	Terminal discreta	08
	Terminal análoga	09
	Terminal análoga	10
<b>Estación #2</b>		
	Terminal discreta	11
	Terminal discreta	12
	Terminal discreta	13
	Terminal análoga	14
<b>Estación #3</b>		
	Terminal discreta	15
	Terminal discreta	16
	Terminal análoga	17

Para más detalles de esta arquitectura revisar el **ANEXO**

#### **1.4.**

#### **Software para programación de PLC**

La herramienta de ingeniería usada para programar el PLC QUANTUM, es el software **CONCEPT Versión 2.2**, trabaja bajo ambiente Windows y dispone de cinco lenguajes de programación:



1. Diagrama de contactos (Ladder Logic)
2. Diagrama de Funciones (Function Block Diagram)
3. Lista de instrucciones (Instruction List)
4. Lenguaje estructurado (Structured text)
5. Gráficos de Funciones secuenciales (Sequential Function Chart or Grafcet)

Para ésta aplicación, se ha utilizado en su mayoría el lenguaje de Diagrama de contactos (Ladder Logic) y Gráficos de funciones secuenciales (Sequential Function Chart), para el control lógico de la secuencia del proceso.

### **Programa de Control**

El programa de control, está cargado en el PLC C y está diseñado para trabajar con el número de entradas y salidas que se especifican en el **ANEXO 1.3**. Controla toda la secuencia del proceso de limpieza, utiliza directamente todas las variables del campo concentradas en las tres estaciones, que corresponden a las válvulas neumáticas y controla todas las señales del tablero MCC10, que corresponden al accionamiento de bombas y equipos de protección

## **2.2.2. Accionadores**

### **Accionadores Eléctricos**

Cada ruta de limpieza necesita dos bombas, la de suministro de desinfectante y la de retorno de soda.

La bomba principal 17.1M1 o alimentadora, provee de desinfectante a todas las rutas. La bomba 17.1M2 retorna la soda de las rutas uno, dos y tres. La bomba 17.1M3 retorna la soda de las rutas cuatro, cinco y seis.

La bomba 17.1M5 retorna la soda de la ruta siete.

Los motores eléctricos de cada una de las bombas tienen protecciones de sobrecarga, sobre corriente y seguridades de trabajo en vacío. El motor eléctrico de corriente alterna, se acopla a la bomba por medio de un matrimonio o acoplamiento mecánico. A continuación, se detallan sus características eléctricas:

Bomba Alimentadora 17.1M1:

Marca Siemens, 30Kw, 440 V, 50 A, 3545 RPM

Arranque Estrella delta.

Bomba de Retorno 17.1M2:

Marca Siemens, 15Kw, 440 V, 25.3 A, 1730 RPM

Arranque Estrella delta.

Bomba de Retorno 17.1M3:

Marca RETME, 15Kw, 440 V, 20 A, 1730 RPM

Arranque Estrella delta.

Bomba de Retorno 17.1M5:

Marca Siemens, 11Kw, 440 V, 19 A, 1765 RPM

Arranque Directo.

La ubicación de cada una de las bombas en la planta, se detalla en el **ANEXO 1.2.3**.

### **Accionadores Neumáticos**

El proceso del CIP posee dos grupos de válvulas neumáticas.

**GRUPO 1.** – Lo constituyen las válvulas, que permiten el ingreso de material a cada paila, su accionamiento depende solo de la ruta elegida por el operador.

**GRUPO 2.** – Lo constituyen las válvulas del tanque de soda, su accionamiento es secuencial y depende de la etapa elegida.

Las válvulas del grupo uno, se activan al elegir la ruta respectiva y permanecerán abiertas hasta que haya concluido la secuencia de las válvulas del grupo dos. El cuadro a continuación, muestra el accionamiento por ruta de las válvulas del grupo uno.

**TABLA 2.3**  
**Accionamiento de las válvulas del grupo 1**

	VALVULAS	RUTA 1	RUTA 2	RUTA 3	RUTA 4	RUTA 5	RUTA 6	RUTA 7
P. MALTA	V11-1							
MOLINOS	V11-2							
	V11-3							
	V11-4							
	V11-5							
	V11-6							
	V11-7							
	V11-8							
P. ADJUNTO	V12-1							
	V12-2							
	V12-6							
FILTRO	V13-1							
	V13-6							
T. INTERMEDIO	V14-1							
P. HERVIR	V15-1							
	V15-2							
	V15-3							
	V15-4							
	V15-5							
	V15-6							
	V15-7							
	V15-8							
WHIRLPOOL	V17							

El siguiente cuadro muestra la secuencia de accionamiento por etapas, que cumple el programa del autómatas para la apertura y cierre automático de las válvulas del grupo dos.

**TABLA 2.4**  
**Secuencia de accionamiento de las válvulas del grupo 2**

	TISI	V1-1	V1-4	V03	V04	V31	V32	V33
ETAPA 1	300							
ETAPA 2	300							
ETAPA 3	600							
ETAPA 4	600							
ETAPA 5	5							
ETAPA 6	300							
ETAPA 7	300							
ETAPA 8	30							

El **ANEXO 1.2.2** describe la distribución en el campo de las válvulas manuales y automáticas, utilizadas en el proceso.

### 2.2.3. Captadores

En el sistema de limpieza existen sensores, que tienen la función principal de salvaguardar al sistema de posibles fallos, estos detectan:

1. **Nivel en tanque de soda.** Existen tres sensores del tipo vibratorio, que presencian el nivel de líquido alto, bajo e inferior.
2. **Presencia de líquido a la entrada de bombas.** También existen sensores del tipo vibratorio, para la detección de líquido en cada una de las bombas y así prevenir de funcionamientos en vacío y cavitaciones.
3. **Presencia y posición de válvulas (Abierto y cerrado).** Son sensores inductivos de 12 mm de diámetro, distancia de detección de 2 mm y contacto de salida normalmente abierto y señal NPN
4. **Presencia y posición de codos en panel de tuberías.** Sensores inductivos de similares características a los utilizados en las válvulas.

Cada uno de los captadores, es detallado en la lista de entradas digitales de campo del **ANEXO 1.3**.

#### **2.2.4. Descripción del funcionamiento**

Refiérase al **ANEXO 1.9** manual de usuario, para mayor información.

### **2.3. Implementación programada**

La automatización de máquinas y de procesos industriales, debe contemplar todos los posibles estados en que se puede encontrar una máquina o proceso. No solamente se debe contemplar en el programa el simple funcionamiento normal automático, sino las situaciones de fallo, de parada de emergencia, los procesos de rearme y puesta en marcha de la máquina, las marchas de test, el control manual.

Un programa de autómeta, debe considerar prioritario la detección de los posibles defectos de la parte operativa y el ejecutar la parada de emergencia. Asimismo, una cuestión fundamental es el rearme de la máquina, debiendo contemplar el caso de que la producción deba continuar en el estado previo a la emergencia, o si ya no es posible continuar, el proceso debe ser iniciado de nuevo.

Todo programa de autómeta debe contemplar estos casos, con el objetivo de reducir al mínimo los tiempos de parada de las

máquinas y hacer simple el proceso de re arranque y los cambios de modo de funcionamiento, por ejemplo paso de control manual a control automático.

En esta sección se expondrá una forma organizada de elaborar los programas de autómatas, para que se contemplen las situaciones anteriores. En un principio todo programa de autómatas deberá implementar:

- ✓ Producción Normal Automática
- ✓ Control manual del proceso.
- ✓ Marchas de Test.
- ✓ Posicionamiento de la máquina en la Posición Inicial.
- ✓ Gestión de la parada de emergencia.
- ✓ Gestión del rearme de la Máquina.

Una Guía de los modos de Marchas y Paradas, es la representación organizada de todos los modos o estados en que se puede encontrar un proceso de producción automatizado, igualmente representa los saltos o transiciones ,



que se dan de un estado a otro. Estos estados se organizan en tres grupos principales:

- ✓ Procesos de Parada y Puesta en Marcha
- ✓ Procesos de fallo de la Parte Operativa
- ✓ Procesos de funcionamiento

La guía también representa el estado en que la Parte de Mando se encuentra fuera de Servicio. Es decir, el autómatas está sin alimentación o en detención.

El estado de producción es representado mediante un rectángulo que engloba todos los posibles estados de producción. Puede existir producción tanto en procesos de funcionamiento como en procesos de puesta en marcha y en procesos donde existan fallos de la parte operativa.

El modelo de marchas y paradas es una adaptación de la guía GUEMMA analizada con más detalle en la obra “La Ingeniería de la Automatización Industrial” de Ramón Piedrafita Moreno.



### **2.3.1. Estructura del programa**

La estructura del programa del controlador principal, para la limpieza en sitio, está elaborado de acuerdo a las siguientes condiciones:

1. Etapas, Rutas y tiempos del proceso de limpieza antes descrito.
2. Capacidades físicas de los elementos de Control antes detallados.
3. Cableado de entradas y salidas del proceso en lista previa.
4. Principios y normas para el funcionamiento seguro del sistema automático especificados en la teoría.
5. Requerimientos adicionales de producción.

Para una fácil documentación y búsqueda de fallos el programa se divide en las siguientes secciones:

1. Secuencia lógica o GRAFCET
2. Arranque del proceso
3. Verificación de rutas y etapas
4. Activación de válvulas
5. Activación de Bombas

6. Tiempos de etapas
7. Fallas del sistema
8. Comunicación con terminales discretas
9. Comunicación con terminales análogas

### **Secuencia lógica o GRAFCET**

Cada una de las ocho etapas del proceso de limpieza están programadas como macro estados de un Grafcet de producción normal y automática. También las condiciones previas de cada una de las etapas, se establecen en el mismo grafcet mediante transiciones entre los estados. Esta es la sección principal o columna vertebral de diálogo entre el sistema y el operador, para gestionar los cambios de los modos de funcionamiento automático y manual.

### **Arranque del proceso**

En la secuencia de arranque del proceso intervienen las señales de marcha y paro automático, selección de modo automático y manual, al igual que la señal del codo y el paro general del sistema. Aquí se genera el bit

interno de programa, para el arranque de bombas en modo automático denominado “Inicio-proceso”.

### **Verificación de rutas y etapas**

En esta sección se realiza la validación de rutas, comparando el dato de la paila seleccionada, que ingresa el operador con la interfase gráfica y la señal del sensor de posición del codo en el panel de tuberías. Si la comparación es efectiva, se generaran bits de control que habilitaran las secciones posteriores. La validación de etapas se realiza consultando la correcta ubicación de cada una de las válvulas. Si la validación de rutas y etapas no es efectiva, el sistema no arrancará el proceso de limpieza

### **Activación de válvulas**

Con las condiciones de funcionamiento definidas por el operador o secuencia de arranque terminada:

- ✓ Selección del modo de trabajo
- ✓ Ingreso de ruta y etapa.
- ✓ Ingreso y carga de tiempos de recirculación.
- ✓ Arranque de programa en manual o automático.

El controlador genera las salidas, que accionan las válvulas neumáticas. Cada válvula presenta tres modos de operación: manual, automático y test, los tres modos están en función de las condiciones particulares de seguridad.

### **Activación de bombas**

Esta sección genera las salidas, para el accionamiento de las bobinas, que controlan el encendido de los motores. El control y accionamiento, de cada uno de ellos, se realiza de una manera más minuciosa, debido a la presencia de condiciones de vacío, sobrecarga, ingreso de ruta y etapa con sus distintos modos de funcionamiento. Esta sección es la primera en condiciones de seguridad, pues tiene el dominio sobre los actuadores del sistema que darán vida al proceso de limpieza y por ende al envío, recirculación y retorno de agua y desinfectante. En modo automático se pregunta por el bit de programa "Inicio-Proceso" a la sección uno del arranque del proceso, para habilitar el encendido de

las bombas, caso contrario, ninguna otra condición habilitará el encendido.

### **Tiempos de etapas**

Esta sección procesa en modo automático, los tiempos de cada una de las etapas, ingresados por el operador desde la interfase gráfica. También se incluye un reset automático y manual, para la puesta del sistema en un estado inicial completamente inactivo. La condición predominante para el arranque de los tiempos, es el cierre del contacto auxiliar de la bobina de fuerza de la bomba de suministro de soda "K1M3 CONTACTO M1".

### **Fallas de sistema**

Esta última parte del programa, elaborada también en diagrama de contactos, considera los posibles fallos del sistema. Generando los bits de programa necesarios, para activar las señales de precaución y detención del proceso.

El estudio minucioso del programa y detalle de cada sección, se realiza en la documentación hecha en el mismo programa.

### **Comunicación con terminales discretos**

Las siguientes secciones se desarrollan en bloques de funciones. Esta sección tiene el mayor número de bloques de conversión de datos - palabra a bits y de bits a datos - palabra, para el envío y recepción de la información hacia o desde las terminales del campo. Es importante saber que las señales de ON / OFF de una válvula o bomba, es considerada una señal discreta de un bit y también que la comunicación entre terminales y PLC, se realiza solo entre datos - palabra que agrupan hasta 16 datos bits.

### **Comunicación con terminales análogos**

Esta sección agrupa todos los bloques de configuración de las diferentes terminales análogas, el PLC principal del proceso de limpieza constantemente escribe en las terminales la configuración de los canales de entrada,



para la recepción de las señales análogas de corriente de 4 a 20 mA.

Para más detalle del programa del CIP consulte el **ANEXO 1.5.**

### **2.3.2. Procesos de parada y puesta en marcha**

Engloba los procesos de paradas activadas a petición del operador por varias causas, como fin de trabajo, parada pedida a fin de ciclo, parada en un estado determinado y que responden no a eventos generados por el proceso. También agrupa los procesos, que conllevan a la puesta en marcha de la máquina como son la puesta del sistema en el estado inicial o la puesta del sistema en un estado determinado.

#### **Parada en el estado inicial**

Es el estado normal de reposo del sistema de limpieza. Se representa por un rectángulo doble. Este estado corresponde a la etapa cero del Grafcet. Esta detención se logra: si esta en modo automático, se realiza el paro

del automático y luego se resetea el sistema, si esta en modo manual, simplemente se resetea el sistema.

### **Parada solicitada a final de ciclo**

Es un estado transitorio en el que el sistema, que hasta ese momento estaba trabajando normalmente, debe producir sólo hasta acabar el ciclo y pasar a estar parada en el estado inicial. Este estado, se logra al final de la secuencia de limpieza de manera automática en cada ruta, quedando el sistema en un estado inicial para la siguiente secuencia.

### **Parada solicitada en un estado determinado**

Es un estado que memoriza una parada solicitada por el operador, para que el sistema pare en un estado intermedio del ciclo y pase al estado de parada obtenida. Con el paro del automático se logra la detención inmediata del sistema, quedando memorizado el estado actual, el operador puede llevar el sistema al estado inicial o ingresar una nueva etapa, anterior o posterior a la etapa memorizada.

### **Parada obtenida**

Es un estado de paro en un estado intermedio del ciclo del proceso distinto al estado inicial. Puede ocurrir entre o durante las etapas de la secuencia.

### **Preparación para la puesta en marcha después de defecto**

En este estado se deben realizar las acciones necesarias para corregir los fallos o defectos que han supuesto que se ejecutará una parada de emergencia. Esto lo realizarán los técnicos de mantenimiento o instrumentistas de la instalación, la interfase gráfica les podrá indicar, donde se encuentra el fallo. Una vez finalizado el proceso, el operador elegirá cómo se reinicia la máquina. A este estado, también se le conoce como selección del modo de reinicio por parte del operador. El operador, mediante mandos del panel de control, decidirá pasar el proceso a control manual, o bien pasarlo a un estado inicial.

### **Puesta del sistema en el estado inicial**

La máquina, es puesta por el autómata programable de una forma automática en el estado inicial. Se realiza el llamado proceso de retomo automático al estado inicial. Ocurre al final de cada secuencia de limpieza, al finalizar la limpieza del filtro de soda en la etapa ocho.

### **Puesta del sistema en un estado determinado**

Desde el estado de preparación, para la puesta en marcha después de los defectos, el operador decide situar la máquina en un estado diferente al inicial, dado que la producción debe continuar a partir de ese estado y no comenzar desde el principio. Corresponde a casos en que ha existido previamente un defecto o una parada de emergencia que ha dejado el sistema a medio producir.

### **2.3.3. Procesos de fallo de la Parte Operativa**

Engloba los procesos de fallo, activados por un fallo propio del proceso o también a petición del operador al pulsar el paro de emergencia.

### **Parada de emergencia**

En este estado, se debe llevar el sistema a una situación segura para el operador, como para el producto, normalmente implica la parada de los accionadores. Se deberá procurar que el autómata memorice el estado en que se encontraba antes de ejecutar la parada emergencia para una vez superado el defecto se pueda rearmar la máquina en la situación correcta.

### **Diagnóstico y tratamiento de los defectos**

La plataforma de control puede guiar al operador, para indicarle dónde se encuentra el defecto, pero la reparación del defecto tendrá que ser realizada por el Instrumentista o por el personal de mantenimiento.

### **Producción a pesar de los defectos**

Corresponde a aquellos casos en que hay que continuar produciendo, a pesar de que el sistema no trabaja correctamente. Casos en los que falla un accionador, que puede ser sustituido por un operador o casos como el de

una línea de fabricación en que falla un puesto, pero que al estar duplicado la producción puede continuar.

#### **2.3.4. Procesos de funcionamiento**

Designa los procesos necesarios, para la realización de una correcta limpieza. Además del estado de producción normal automático, agrupa también las marchas de preparación y de cierre, las marchas de test y las marchas de verificación.

##### **Producción normal**

Representa al grafcet, que realiza la limpieza normal de la planta. Es el estado más importante, va representado por un rectángulo de paredes más gruesas que los demás. El estado de producción normal, suele ser un funcionamiento automático, por lo cual al grafcet asociado se le denomina grafcet de funcionamiento normal automático.

##### **Marcha de preparación**

Son las acciones necesarias que el operador debe realizar, para que el sistema entre en funcionamiento. Como las cargas de los tiempos, selección de la etapa inicial, ruta de limpieza, etc.

### **Marcha de cierre**

Corresponde a la fase de vaciado del agua del último enjuague y limpieza del filtro, que se debe realizar para iniciar la siguiente ruta.

### **Marchas de verificación sin orden**

El sistema está en control manual, el operador por medio de mandos del panel de control, puede hacer mover los accionadores del sistema. Estos movimientos deben ser realizados dentro de las condiciones de seguridad del sistema de limpieza. Se suele utilizar, para verificar el correcto funcionamiento de los captadores y accionadores de la máquina, o bien para posicionar la máquina en un determinado estado de producción.

### **Marchas de verificación con orden**

En este caso, el proceso realiza el ciclo completo de funcionamiento en orden, pero al ritmo fijado por el operador. Se usa para funciones de mantenimiento y verificación.

### **Marchas de test**

El operador puede comprobar con las marchas de test el buen funcionamiento de los accionadores y captadores del sistema. El autómata activa los accionadores de la máquina, esperando la activación de los captadores en un máximo tiempo. Esta función se realiza directamente sin ninguna condición bajo la responsabilidad del operador o técnico de guardia.



# CAPITULO III

## III. ANALISIS Y ELECCION DE LA INSTRUMENTACION

Actualmente la industria moderna requiere de instrumentación de control y medición, para optimizar sus procesos productivos, esto se ve reflejado en el producto terminado con las garantías de calidad exigidas y en la cantidad suficiente, para que el precio obtenido sea competitivo.

La seguridad de las instalaciones, el mantenimiento de la calidad del producto, la optimización de los procesos y la no menos importante protección del ambiente, son factores que han convertido a la medición en una rama importante de la técnica industrial.

La técnica de medición, está presente en todos los campos: Química, Petroquímica, Alimenticia, Cervecera, Preparación de aguas potables, Tratamiento de aguas residuales, Materiales de construcción, Centrales Energéticas, Fabricas de papel, Astilleros, Industria automóvil, Industria aeronáutica, etc.

Esto nos muestra que no existe prácticamente límite en las aplicaciones de los instrumentos en los procesos industriales. Esta investigación se ha limitado, pues, a estudiar de manera muy específica la aplicación de

instrumentación de nivel y presión, que es utilizada con mayor frecuencia en procesos dentro de la industria, tales como: Calderos de vapor, Sistemas de cocción, Secadores y Evaporadores, Intercambiadores de calor, Columnas de destilación, Sistemas de refrigeración, Mezcladores, tinas de remojo, sistemas de almacenaje de granos, etc.

Una gran diversidad de aplicaciones de medición, plantea a su vez muchas cuestiones: ¿Que técnica de medición?, ¿En que punto de medición?, ¿De qué fabricante?, ¿Bajo qué condiciones?. Para asegurar que todas estas preguntas tengan una respuesta satisfactoria, se debe de disponer de los adecuados principios, para la elección de instrumentación prácticamente en todos los parámetros del proceso: Nivel, Presión y Presión diferencial, Caudal, Temperatura, Caudal para sólidos, Análisis y Humedad.

Razón por la cual, he realizado procedimientos de selección e instalación de instrumentación, con la experiencia recaudada en el trabajo de campo y en las características técnicas ofrecidas, por el fabricante de los equipos utilizados.

En la selección de sensores, es importante conocer la terminología empleada que define las características propias de medida y de control

en instrumentos industriales. Las definiciones de los términos empleados, se relacionan con las sugerencias hechas por la SAMA (Scientific Apparatus Makers Association) en su norma PMC 20-2-1970. La cual regulariza que los fabricantes, usuarios y los organismos, que intervienen directa e indirectamente en el campo de la instrumentación industrial empleen el mismo lenguaje. A continuación, tenemos los más importantes.

**Campo de medida (Measuring Range).** - Conjunto de valores de la variable medida, que están dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida o de transmisión del instrumento.

**Alcance (Span).** - Es la diferencia algebraica, entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento.

**Error (Error).** - Es la diferencia algebraica entre el valor leído y el valor real de la variable medida.

**Exactitud de la medida.-** Es la cualidad de un instrumento de medida, por la que tiende a dar lecturas próximas al verdadero valor de la magnitud medida.

**Incertidumbre de la medida (Uncertainty).** - La incertidumbre es la dispersión de los valores, que pueden ser atribuidos razonablemente al verdadero valor de la magnitud medida.

**Precisión (Accuracy).** - Es el intervalo donde es admisible que se sitúe la magnitud medida y define los límites de los errores cometidos, cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de servicio durante un periodo de tiempo determinado.

**Sensibilidad (Sensitivity).** - Es la razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona, después de haberse alcanzado el estado de reposo. Por ejemplo, si en un transmisor electrónico de 0 – 10 bares, la presión pasa de 5 a 5,5 bares y la señal de corriente de 11,9 a 12,3 mA la sensibilidad es:

$$\frac{(12,3 - 11,9) / (10 - 0)}{(5,5 - 5) / 10} = \pm 0,5 \text{ mA / bar}$$

**Histéresis (Hysteresis).** - Es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por la pluma del instrumento, para el mismo valor cualquiera del campo de medida, cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos, ascendente y descendente. Se expresa en tanto por ciento del alcance de la medida. Por ejemplo: si un termómetro de 0 – 100 %, para el valor de la variable de 40 grados Celsius, la aguja

marca 39,9 grados al subir la temperatura desde cero grados, e indica 40,1 grados al bajar la temperatura desde 100 grados, el valor de la histéresis es de:

$$\frac{40,1 - 39,9}{100 - 0} * 100 = \pm 0,2\%$$

**Linealidad basada en puntos (Linearity).** - Falta de linealidad expresada en forma de desviación máxima con relación a una línea recta, que pasa a través de los puntos dados correspondientes al cero y al 100% de la variable medida.

### **3.1. Variables del proceso**

#### **3.1.1. Medición de nivel**

En la industria, la medición de nivel de sólidos y líquidos es muy importante, para ésta tarea existen medidores y detectores de nivel.

Los medidores trabajan midiendo directamente la altura del material sobre la línea de referencia, y los detectores de nivel de punto fijo proporcionan una medida en uno o varios puntos fijos determinados.

Los instrumentos de nivel de acuerdo al sistema de medición pueden ser:

- ✓ Sistemas de medición directa como el sistema de microondas y electromecánico.
- ✓ Sistemas de medición indirecta como el hidrostático.
- ✓ Sistemas que utilizan las características eléctricas del líquido como los capacitivos, conductivos, ultrasónicos y radiométricos.

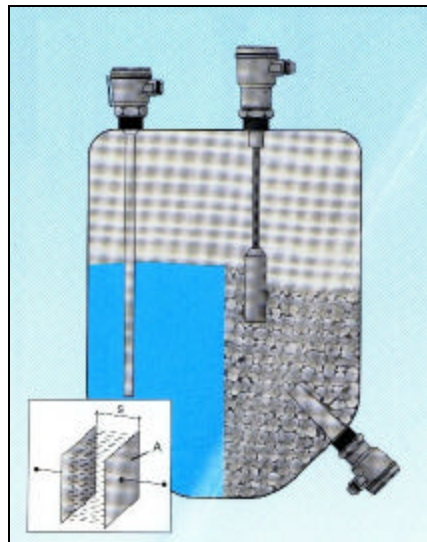
El siguiente cuadro muestra los diferentes sistemas para medición y detección de nivel que detallo a continuación.

**TABLA 3.1**  
**Sistemas de medición de nivel**

SISTEMA DE MEDICION DE NIVEL	MEDICION		DETECCION	
	LIQUIDOS	SOLIDOS	LIQUIDOS	SOLIDOS
CAPACITIVO				
CONDUCTIVO				
HIDROSTATICO				
RADIOMETRICO				
ULTRASONICO				
MICROONDAS				
ELECTROMECANICO				
VIBRATORIO				

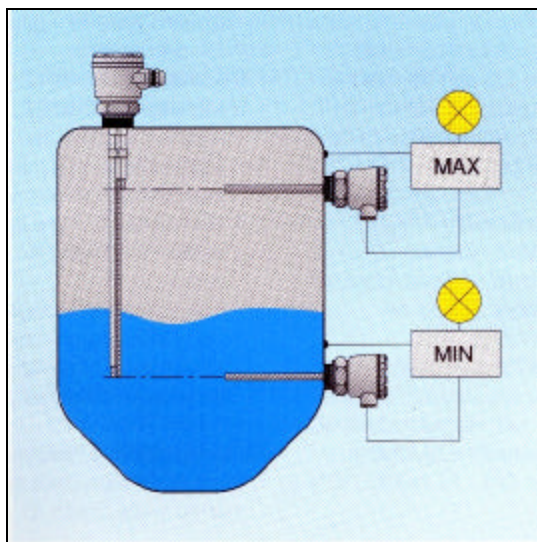
**Sistema capacitivo.-** Se utiliza con líquidos y sólidos para detección y medición de nivel. La sonda y la pared forman un condensador. La capacidad viene determinada por la superficie de las placas del condensador (sonda y paredes del depósito) y la separación entre ellas, así como por la naturaleza y el estado del material (dieléctrico). Al ir llenando el depósito, aumenta la capacidad del condensador. En la electrónica se genera una señal proporcional al nivel, de acuerdo con el cambio de capacidad. Esta señal es entonces utilizada en el sistema por la instrumentación de medida o control.

**FIGURA 3.1**  
**Sistema Capacitivo de detección de nivel**



**Sistema conductivo.-** El sistema conductivo de medida es adecuado para detectar niveles límite en líquidos conductores. Mide la diferencia entre la conductividad de los líquidos y la del aire. Entre los extremos de dos sondas, o de una sonda y la pared del depósito, se aplica una pequeña tensión alterna. Cuando el líquido alcanza el extremo de las sondas, se cierra el circuito eléctrico y se señala el nivel. La tensión y la corriente en el líquido son tan pequeñas (2 mA), que no existen tensiones de contacto peligrosas. Al ser tensión alterna, se evita la electrólisis.

**FIGURA 3.2**  
**Sistema Inductivo de detección de nivel**

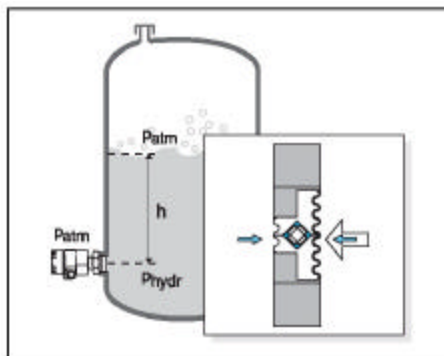


**Sistema Hidrostática.-** El principio hidrostático de medición, utiliza la presión debida al peso del líquido para la medición



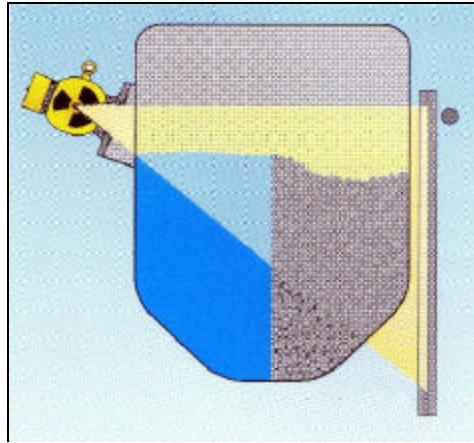
continua de nivel. El nivel cero del líquido, se selecciona en un eje a la altura del diafragma.

**FIGURA 3.3**  
**Sistema Hidrostático de medición de nivel**



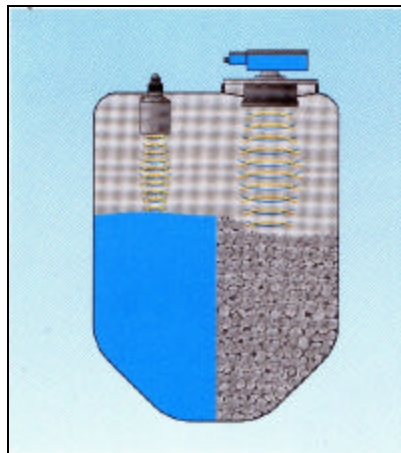
**Sistema Radiométrico.-** La fuente emisora, el isótopo radioactivo  $Co60$  o  $Cs137$ , contenido en un recipiente protector bloqueado, emite radiaciones gamma. En el lado opuesto del depósito hay montado un detector que transforma los rayos gamma recibidos en una señal eléctrica. La cantidad de cuantos, disminuye al atenuarse la radiación cuando el material sube en el depósito. Los detectores de la radiación transmitida, son distintos según se desee una detección de nivel o una medición continua.

**FIGURA 3.4**  
**Sistema Radiométrico de medición de nivel**



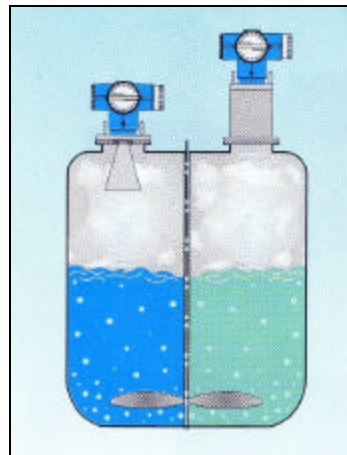
**Sistema ultrasónico.-** El sistema por ultrasonidos mide el tiempo de tránsito del impulso ultrasónico. El sensor emite en rápida sucesión, impulsos de ultrasonido que son reflejados por la superficie del material. El tiempo de tránsito se transforma en una señal de nivel proporcional.

**FIGURA 3.5**  
**Sistema Ultrasónico de medición de nivel**



**Sistema por microondas.-** El sistema por microondas funciona, según el principio de medición del tiempo de retorno. Mediante un sistema combinado de emisión/recepción, los impulsos microondas se emiten en rápida sucesión en dirección al medio y se reflejan en su superficie. El tiempo medio entre emisión y recepción, se transforma en una señal de nivel.

**FIGURA 3.6**  
**Sistema por Microondas de medición de nivel**



**Sistema electromecánico.-** El peso palpador colgado de un cable o cinta metálica desciende en el depósito con la ayuda de un motor eléctrico. El contacto con la superficie del material da lugar a la inversión del movimiento y subida del

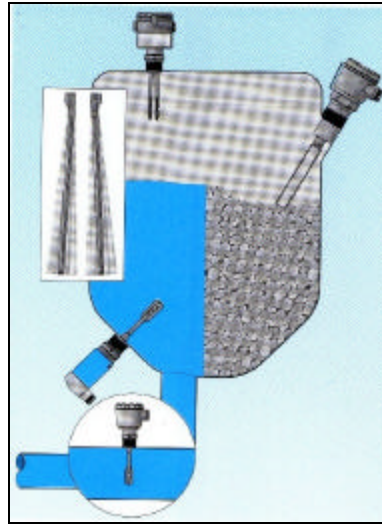
peso. Midiendo la longitud recorrida, se determina e indica el nivel en el depósito.

**FIGURA 3.7**  
**Sistema electromecánico de medición de nivel**



**Sistema vibratorio.-** Dos varillas metálicas dispuestas una junto a otra, sobre una membrana metálica, se hacen vibrar, accionadas por elementos piezoeléctricos, a su frecuencia de resonancia. El contacto del material modifica la oscilación. Este cambio es detectado y convertido en una señal de mando.

**FIGURA 3.8**  
**Sistema Vibratorio de detección de nivel**



### 3.1.2. Medición de presión

La presión, es una fuerza por unidad de superficie y puede ser expresada en unidades, tales como: el Bar, Pascal, Atmósferas, Psi, etc.

Sus equivalencias son:

$$1 \text{ Bar} = 14,5 \text{ Psi}$$

$$1 \text{ Atmósfera} = 14,7 \text{ Psi}$$

$$1 \text{ Bar} = 100000 \text{ Pa}$$

La presión puede medirse en valores absolutos o diferenciales.

La presión absoluta se mide con relación al cero absoluto de presión. La presión manométrica se mide con relación al

valor de una atmósfera de presión o al valor de la presión atmosférica al nivel del mar. La presión atmosférica, es la presión ejercida por la atmósfera terrestre medida mediante un barómetro. A nivel del mar tiene un valor de 1 atmósfera o 14,7 Psi. La presión diferencial, es la diferencia entre dos presiones. El vacío, es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta.

Los instrumentos de presión se clasifican en cuatro grandes grupos: mecánicos, neumáticos, electromecánicos y electrónicos de vacío. Los instrumentos electromecánicos, utilizan un elemento mecánico elástico combinado con un transductor eléctrico, que genera la señal eléctrica correspondiente. De acuerdo con el principio de funcionamiento los elementos electromecánicos, se clasifican en diversos tipos: Resistivos, Magnéticos, Capacitivos, Piezoeléctricos y Extensiométricos. En esta investigación me referiré solo a los instrumentos electromecánicos de funcionamiento capacitivo por tener mayor relevancia en la implementación.

El siguiente cuadro muestra los diferentes sistemas cerámicos - capacitivos para medición de presión.

**TABLA 3.2**  
**Sistemas de medición de presión**

SISTEMA DE MEDICION DE PRESION	PRESION DE PROCESO	PRESION DIFERENCIAL	NIVEL	CAUDAL
TRANSDUCTOR DE PRESION				
TRANSMISOR DE PRESION				
TRANSMISOR DE PRESION DIFERENCIAL				
SENSOR DE PRESION HIDROSTATICA				

Los transductores cerámicos capacitivos, se basan en la variación de capacidad, que se produce en un condensador al desplazarse una de sus placas por la aplicación de presión. La placa móvil tiene forma de diafragma (material cerámico) y se encuentra situada entre dos placas fijas. De este modo, se tienen dos condensadores uno de capacidad fija o referencia y el otro de capacidad variable, que pueden compararse con circuitos oscilantes o bien en circuitos de puente de Wheatstone alimentados con corriente alterna. Se caracterizan por su tamaño pequeño y construcción robusta.

En el mercado, los medidores de presión, se clasifican por las bondades que tiene el transmisor para realizar una o varios tipos de lecturas de presión, estos pueden ser:

**Transductor de presión universal.-** De uso universal, recibe una señal de entrada de presión y la convierte a una señal de corriente.

**Transmisor de presión relativa y absoluta.-** Medidor cerámico capacitivo de presión absoluta y relativa, es extremadamente resistente a las sobre presiones y a los golpes de presión.

**Transmisor de presión diferencial.-** Diseñado para medir la diferencia de presiones entre la toma inferior y la parte superior de tanques cerrados y con presiones altas.

**Sensor de presión Hidrostática.-** Consiste en un manómetro conectado directamente a la parte inferior del tanque para medir la presión debida a la altura que existe entre el nivel del tanque y el centro de la membrana.



### **3.2. Criterios para selección de sensores**

Los criterios técnicos de selección, se definen en función de las capacidades y características físicas presentes en todo equipo industrial de medición, estos son:

- ✓ Aplicación del equipo.
- ✓ Condiciones del proceso.
- ✓ Fidelidad en la medida.
- ✓ Diseño de sistema y operación.
- ✓ Entradas y salidas.
- ✓ Construcción mecánica.

#### **3.2.1. Aplicación del equipo**

Al seleccionar un sensor, es muy importante tener una idea clara del parámetro, que se desea controlar u optimizar, entender la aplicación o requerimiento del cliente que desea se instrumente. Como ejemplo, detallo algunas de las aplicaciones que se instrumentaron.

**Medición de nivel de cerveza en pailas de malta, adjunto y hervir, tanque de whirlpool y tanque de jarabe.**

Es necesario registrar el nivel del producto en las pailas y tanques por los siguientes objetivos:

- ✓ Controlar de manera automática la cantidad de cerveza producida durante y al final de proceso de cocción.
- ✓ Optimizar el volumen de reserva de los recipientes.
- ✓ Realizar bombeos automáticos entre las pailas y tanques.
- ✓ Contabilizar el contenido de hectolitros de la cerveza en el proceso de elaboración.

La altura de cada una de las pailas no supera los tres metros, el tanque de whirlpool tiene una altura de cinco metros aproximadamente

**Detección de nivel inferior en la tolva de afrecho.**

Es importante detectar el nivel inferior de la tolva de afrecho, para determinar la evacuación de la misma y realizar el apagado automático del sistema de transporte

al vacío del afrecho, este consiste en un sinfín y un compresor de aire.

### **Detección de nivel de líquido en tanques de últimas aguas.**

Con el objeto de prevenir posibles reboses, se requiere la actualización del sistema antiguo, para la detección de nivel inferior, por un sistema moderno de detección de nivel alto y bajo. Estos tanques depositan las “últimas aguas”, aguas de enjuague recogidas de la paila de adjunto, que se incorporan nuevamente al proceso de cocción, por tener una concentración importante de materias primas.

### **Detección del nivel en el tanque de soda.**

Para reforzar las medidas de seguridad en el llenado de soda, se necesita actualizar tres viejos detectores de nivel de líquido basados en un sistema conductivo, con un juego de sensores mucho más confiables en su funcionamiento.

### **Detección de nivel de líquido en tanque de trub.**

El tanque de trub, también requiere una actualización de los detectores de nivel superior e inferior. El trub, es el residuo de afrecho, que se obtiene en la parte final del proceso de cocción, cuando el mosto o concentrado de cerveza se deja reposar en el whirlpool, después de ser bombeado el trub al tanque es centrifugado, para obtener la mayor cantidad de mosto en el proceso.

#### **Protección contra funcionamiento en vacío de las Bombas de CIP.**

Con el objeto de mantener la vida útil de los motores de las diferentes bombas del CIP y mantener la seguridad en el suministro de soda, se necesita actualizar los detectores de presión de vacío, que presentan muchas fallas en su funcionamiento, por un juego de detectores de liquido más confiables.

#### **3.2.2. Condiciones del proceso**

Para justificar la adquisición de nuevas tecnologías en ambientes industriales y asegurar su exactitud y precisión, es muy importante una exhaustiva investigación del área donde se colocará el equipo de

medición electrónica. Las condiciones del proceso son uno de los factores más importantes y decisivos en la elección e instalación del sensor en condiciones normales de servicio.

Las condiciones generales se dividen en dos grupos: Condiciones del ambiente y Condiciones del proceso.

En las condiciones que impone el ambiente al equipo se consideran:

- Temperatura ambiente

- Grado de protección

En las condiciones que impone el proceso al equipo se consideran:

- Posición de montaje

- Orientación del sensor

- Temperatura del producto fabricado

- Temperatura del producto de limpieza

- Presión límite de proceso

- Tamaño del material sólido

- Densidad de producto

- Viscosidad de producto

### **Condiciones en las aplicaciones de detección de nivel.**

Todas las aplicaciones donde se requiere detectar nivel, se trabaja con un producto de naturaleza definida sea ésta líquida o sólida, la temperatura máxima de los productos almacenados, fluctúa entre 40 a 80 grados Celsius, es decir, no se superan los 150 grados Celsius en todos los ambientes. Estos ambientes, se someten a limpiezas semanales de CIP. Por lo tanto la carcasa y sensor, tienen que ser de acero inoxidable para prevenir futuros desgastes con desinfectantes o sodas.

Para cumplir con ésta necesidad, se considera la adquisición de los detectores de nivel de líquidos y sólidos con el sistema de horquillas vibratorias, por ser inmune a la espuma, tener una alta presión en proceso, fácil instalación y de muy poco mantenimiento.

### **Condiciones en las aplicaciones de medición de nivel**

La medición de nivel, se realiza en las pailas de malta, adjunto, hervir y tanque de whirlpool.

Las dimensiones geométricas de las pailas , no presentan una simetría uniforme, como el tanque de whirlpool, de forma cilíndrica. Son reservorios abiertos a presión atmosférica. En su interior, existen agitadores de considerable tamaño, encendidos casi en todo el tiempo, solo en la paila de hervir, los agitadores son pequeños y se accionan al final del proceso para enfriar la mezcla.

En las pailas de malta y adjunto, se imposibilita la instalación de sensores en paredes y fondo, por estar ocupados de tuberías de vapor. La paila de hervir, permite la instalación de sensores en el techo y en una de las caras del fondo. El tanque de whirlpool, posee una bomba de succión a uno de sus costados, que debe ser considerada en la instalación del sensor.

El producto que se elabora (cerveza) en las pailas y tanques , tiene una constante dieléctrica relativa de 25 a 20 grados Celsius, el agua a 20 grados tiene una constante relativa de 80,3 y a 120 grados una constante de 20,4. Valores consultados del libro "Relative dielectric

(DK value) of liquids and solid materials” de ENDRESS + HAUSER, escrito por MARTIN HOLDEFER.

El producto no homogéneo de las pailas de malta y adjunto, contiene cebada en suspensión, la paila de hervir almacena una mezcla más homogénea, pero con una película de espuma de 20 cm. de espesor. En las tres pailas el producto que contienen, se cocina a una temperatura máxima de 100 grados Celsius.

Todas las pailas y tanques, se someten a una limpieza con soda a una temperatura de 80 grados Celsius.

Evaluando éstas restricciones técnicas, y considerando las observaciones del departamento de instrumentación y electrónica de la compañía cervecera, concluyo que no será posible la utilización de sistemas de medición de nivel, que funcionen con los métodos: capacitivo, electromecánico y radiométrico. Por basar su funcionamiento en sondas de nivel de considerable longitud, elementos radioactivos y pequeñas piezas mecánicas dentro del producto.



Finalmente, selecciono el método de radar para medición de nivel en las pailas de malta y adjunto, por emplear la propagación de ondas electromagnéticas, que no son influenciadas por la temperatura ni por las variaciones de densidad que puedan existir sobre el líquido. Lo cual lo hace inmune a los disolventes volátiles, espuma, vapores y polvo, que son un problema de atenuación para la señal de un medidor ultrasónico.

También selecciono el método de presión hidrostática, para medición de nivel en la paila de hervir y tanque de whirlpool, por emplear un sistema de diafragma cerámico - capacitivo de gran estabilidad, para fluidos limpios no corrosivos, no tiene partes móviles, el sensor es de fácil limpieza, preciso y confiable, admite temperaturas de fluido hasta 120 grados Celsius y no es influenciado por las fluctuaciones de presión, ni tampoco por la variación en la constante dieléctrica.

### **3.2.3. Fidelidad en la medida**

En los instrumentos de medición, la precisión es la tolerancia de medida admisible, donde se sitúa la lectura durante un periodo determinado de tiempo. Es un factor importante en la decisión de compra de un equipo, más preciso mayor costo.

Al igual que la precisión, la exactitud de un instrumento de medida depende al mantenimiento de las condiciones normales de servicio, para el que fue diseñado.

El siguiente cuadro compara las precisiones y características más importantes de los sistemas de medición de nivel revisados, para las pailas de malta, adjunto, hervir y tanque de whirlpool. Los métodos de medición elegidos responden a los requerimientos de la compañía cervecera y las condiciones del proceso detalladas anteriormente.

**TABLA 3.3**  
**Precisiones de los Sistemas de medición de nivel**

Metodo / Característica	Capacitivo	Ultrasonico	Radar	Electro - mecanico	Radiacion	Presion Hidrostatica
Solido	√	√	√	√	√	√
Liquido	√	√	√	√	√	√
Rango Temp. Max [C]	-80...400	-20...80	-40...350	-20...150	No limites	-10...100
Presion Proceso Max [Bar]	-1...500	-0,3...1,5	-1...64	2	No limites	500
Rango Medicion Max [m]	22	70	35	70	4	30
Conexion Min.	3/4"	1 1/2"	1 1/2"	3"	No limites	1 1/2"
Precision	1 - 2 %	0,5 - 1 %	1...10 mm	10 mm	2 - 5 %	0,1 %
Densidad	No relevante	No relevante	No relevante	No relevante	No relevante	Constante
Viscosidad Max [CST]	10.000	No relevante	No relevante	-	No relevante	10.000
Conductividad	No relevante	No relevante	No relevante	-	No relevante	No relevante
Constante Dielectrica	No relevante	No relevante	>1,8	No relevante	No relevante	No relevante
HART	√	√	√	-	-	√
Profibus	-	√	√	-	-	√
Fieldbus F	-	-	√	-	-	√
4...20 mA	√	√	√	√	√	√
Compacto	√	√	√	√	-	√
Contactos de rele	-	-	-	√	√	√
Desventajas	Recubrimiento del electrodo	Sensible a la densidad	sensible a la constante dielectrica	Expuesto a corrosion	Fuente radioactiva	Posible agarrotamiento
ventajas	Resistencia, corrosion	Todo tipo de reservorios	Todo tipo de reservorios y liquidos con espuma	Facil limpieza	Todo tipo de reservorios y sin contacto de liquidos	Interfase Liquido

En la tabla 3.3 se encuentran las diferentes condiciones, que deben existir para asegurar la calidad de las lecturas en cada uno de los sistemas de medición.

### 3.2.4. Diseño de sistema y operación

El diseño del sistema y operación en sensores digitales, comprende: el principio de detección de la variable física y el uso de transmisores con interruptores de nivel o transmisores inteligentes de señal de nivel.

#### Principio de detección de nivel

Los diversos métodos utilizados en sensores, para la detección de nivel son ampliamente detallados en la sección 3.1.1 de este mismo capítulo.

### **Transmisores con interruptores de nivel**

Son transmisores que interrumpen o switchean la carga, por medio de un tiristor en circuitos AC, transistor en circuitos DC o relee en circuitos AC y DC, éstos últimos se denominan transmisores universales.

### **Transmisores de señal de nivel**

Son transmisores que envían una señal de flanco de determinado valor de corriente, señal que puede ser captada por sistemas superiores de control como los PLC, controladores análogos, etc. Son transmisores digitales diseñados para áreas de riesgo explosivo.

#### **3.2.5. Entradas y salidas**

Todo equipo de medición posee un transmisor, este toma el nombre de interfase electrónica y su selección depende de la definición de cada una de las entradas y salidas que este posee, entre las más comunes tenemos:

Una entrada de la interfase, es el rango de medición y su selección depende del alcance máximo de la aplicación, como por ejemplo, para un sensor de presión los

transmisores con rangos de presión diferentes van desde 100 mbares a 4000 mbares.

Es común, que un sensor análogo SMART (con transmisor inteligente) incorpore salidas para una minipantalla y una señal de corriente de 4 a 20 mA con protocolo HART, sin embargo existen otras como: Señal de salida de frecuencia, Señal de corriente de 0,2 a 1,2 mA, Señales para comunicación con buses de campo Profibus PA, Fieldbus Foundation y otros.

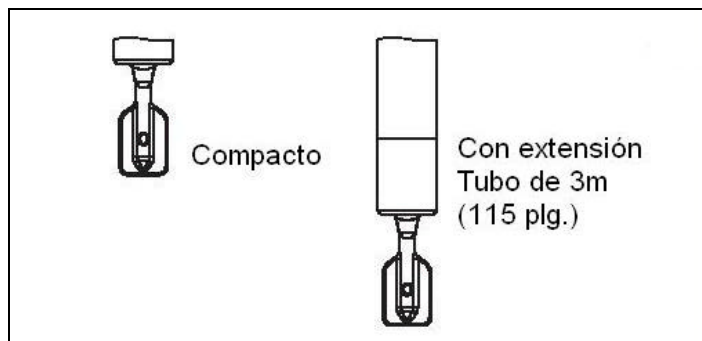
### **3.2.6. Construcción mecánica**

Un factor no menos importante, es la construcción mecánica del sensor, aquí se definen los materiales de los cuales está constituido todo el equipo de medición, sus componentes y protecciones.

La mayor parte de los equipos de medición, sean estos análogos o discretos, se componen de cuatro partes bien definidas:

**Sensor (Sensor).** - Es la parte que está en contacto continuo con la variable, y utiliza o absorbe energía del medio controlado, para dar al sistema de medición una indicación en respuesta a la variación de la variable controlada, detecta o mide la variable física, que se desea controlar mediante un proceso físico o químico. El sensor puede ser del tipo compacto o con cuellos de extensión, para un mayor contacto con el medio.

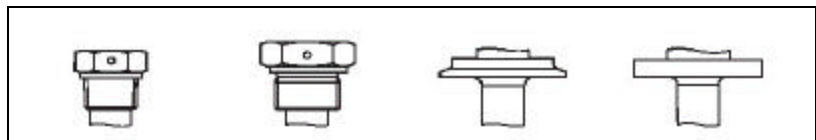
**FIGURA 3.9**  
**Tipos de sensores: compactos y con extensiones**



**Conexión ( Process connections).** - Es el tipo de junta o forma de conexión, que une el sensor al tanque. Existen tres tipos de uniones: las roscadas; recomendadas para soportar presiones superiores a los 60 bares, las sanitarias; que no poseen rosca y soportan

una presión no mayor a 40 bares y las bridas; uniones empernadas, que soportan presiones de hasta 40 bares.

**FIGURA 3.10**  
**Tipos de conexiones: roscadas, sanitarias y**  
**bridadas.**



**Carcasa (Housing).** - Es la parte protectora de la electrónica y se cataloga de acuerdo a la norma IEC 529, la cual define un sistema de códigos, para indicar el grado de protección de la carcasa del equipo eléctrico contra la infiltración de cuerpos extraños sólidos y de agua. Esta norma no aplica en la protección contra riesgos explosivos o condiciones de humedad, gases corrosivos, hongos o bichos.

Los fabricantes de equipos de medición o detección instalan las carcasas de acuerdo a la aplicación y según el tipo de protección, éstas pueden ser: de Acero Inoxidable, Aluminio y Poliéster.

**FIGURA 3.11**  
**Tipos de carcasas: Poliéster, Acero inoxidable y aluminio**



**Electrónica (Electronic Insert).** - Es el transmisor que capta la variable de proceso, a través del sensor y la transmite a distancia en forma electrónica a sistemas superiores tales como PLC o PC. Estos módulos de interfase electrónica compacta actualmente, se integran en todos los sistemas de bus usuales: Modbus, Profibus PA, Fieldbus.

**FIGURA 3.12**  
**Pieza electrónica de instrumentación**





Para una definición adecuada del compuesto químico, que constituye la carcasa, conexión y sensor es necesario el soporte técnico de una guía de resistencia química de materiales, que permita elegir el compuesto adecuado de la pieza con las condiciones de temperatura, presión y concentración química del producto en el depósito o tanque. Por ejemplo, las características físicas de un sensor con cubierta de poliéster en contacto con la soda, son menos resistentes que las cubiertas de acero inoxidable, ocurre igual con una tubería de cobre o bronce en el amoníaco líquido, cuando la correcta debe ser de acero al carbono. Para conocer las especificaciones de materiales químicos de sensores, recomiendo las Tablas Químicas de NIBCO,

empresa fabricante de válvulas y tuberías . Donde se detalla la guía de resistencia química de materiales inmersos en sulfato de sodio.

### **Procedimiento para seleccionar un equipo de instrumentación.**

Cuando se realiza la selección de instrumentación, se debe tener claro un objetivo, garantizar la calidad de las mediciones. Cuando se utiliza un instrumento de medición, es necesario estar seguro del valor indicado en el instrumento, y que este tenga validez universal. Por lo tanto, la selección de un instrumento de inspección, análisis o ensayo, implica:

1. Analizar su necesidad; este análisis, se basa en realizar seis preguntas:

¿Cuáles son las necesidades industriales?

¿Cómo satisfacer esas necesidades?

¿Qué método adoptar?

¿Cuáles son los instrumentos de medidas utilizables?

¿Cómo utilizar los instrumentos escogidos?

¿Cómo se va a garantizar la calidad de las mediciones?

2. Seleccionar un instrumento potencial, que cumpla con nuestros requerimientos primarios.
3. Estudiar su capacidad bajo criterios técnicos.
4. Analizar su facilidad de utilización, de acuerdo al medio de trabajo, protecciones, mantenimiento y almacenamiento.

En el estudio de las capacidades de un instrumento de medición, se deben tomar en cuenta los siguientes criterios generales:

Características básicas.

Duración del equipo.

La homogeneidad respecto al resto.

La calidad del servicio del proveedor.

La calificación del personal que lo utiliza

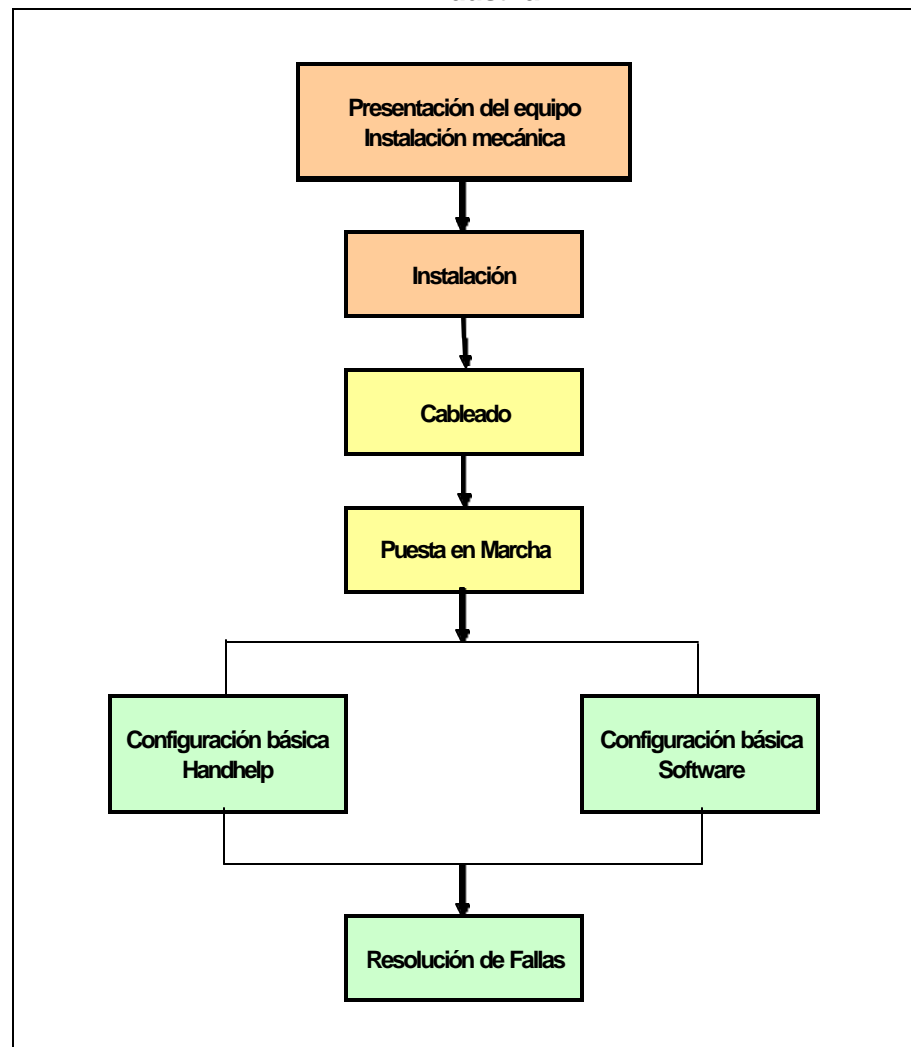
La conveniencia para el uso.

### **Procedimiento para la instalación de instrumentación industrial.**

Elaborado bajo las capacidades técnicas y económicas de un proceso cervecero, los principios de selección e instalación que se exponen en este procedimiento, son aplicables a cualquier

industria que desee adquirir equipos de detección y/o medición de una manera técnica adecuada.

**FIGURA 3.13**  
**Procedimiento para la instalación de instrumentación industrial**



**Presentación del equipo e Instalación mecánica.** – El equipo de instrumentación una vez entregado por el distribuidor, debe

ser revisado en el laboratorio electrónico, para comprobar su correcto funcionamiento, algunos medidores inteligentes tienen la capacidad de simular por software salidas de 4 a 20 mA para su verificación. En este paso se determina la posición y orientación del neplo, brida o abrazadera higiénica, que sujetará al sensor en función de las recomendaciones hechas por el fabricante.

**Instalación.** – La instalación definitiva del equipo implica la instalación previa de aditamentos, que faciliten el mantenimiento del equipo, como por ejemplo, la instalación de válvulas de paso en tanques que contengan producto la mayor parte del tiempo, o aditamentos que mejoren el desempeño del instrumento. Para la instalación definitiva del sensor el ingeniero o técnico, debe tener una idea muy clara del funcionamiento del equipo de acuerdo a las condiciones de proceso, como son la temperatura, presión, orientación, etc.

**Cableado.** – La implementación del cableado debe realizarse con normas técnicas aprobadas, para asegurar el suministro de energía y el transporte de la señal análoga o digital del sensor al equipo superior de control. En la sección 3.4 realizó una

descripción de las normas , para el tendido de cableado de instrumentación.

**Puesta en Marcha.** – La puesta en marcha arranca una vez realizada la conexión del cableado, en ambos extremos, es decir, del lado del sensor y del equipo de control. Si ya se han realizado los ajustes en la unidad de control, es posible en este paso observar variación en la variable física.

**Configuración básica.** – Esta configuración consiste en la definición del cero y el alcance a 4 y 20mA respectivamente. Algunos equipos de medición, disponen de pantallas de visualización incorporadas en el transmisor electrónico o de interruptores, que permiten captar los diferentes estados límites del tanque; vacío y lleno. En transmisores inteligentes, puede realizarse desde un equipo de mano denominado Handhelp o desde un computador portátil con puerto serial de comunicación y el software de la casa fabricante del sensor.

**Resolución de fallas.** – La resolución de fallos realiza ajustes en la calibración con el fin de reducir en mayor grado los errores de cero y multiplicación de la escala. También en la medición de

volumen en tanques irregulares, donde el volumen no es directamente proporcional al nivel es necesario realizar un ajuste denominado linealización.

### **3.3. Descripción de la plataforma de sensores**

La compañía cervecera realiza con mi ayuda la adquisición e instalación de sensores, para algunas aplicaciones en la planta de cocimiento. Los instrumentos instalados cumplen con el objetivo de asegurar la calidad del producto y su actualización, para el uso con tecnologías del futuro.

Utilizados para detectar y medir nivel, los medidores disponen de un sistema electrónico que les permite la comunicación con el protocolo HART y/o señal de corriente. El protocolo HART (High way Addressable Remote Transducer) fue desarrollado por Rosemount Inc. Agrupa la información digital, sobre la señal analógica clásica de 4 a 20 mA. La señal digital usa dos frecuencias individuales, 1200 y 2200 Hz, que representan los dígitos uno y cero, forman una onda senoidal con una amplitud de 0,5 mA que se superpone sobre el lazo de corriente de 4 a 20 mA. Como la señal promedio de una onda seno es cero, no se añade ninguna componente de corriente continua a

la señal analógica de 4 a 20 mA. Este protocolo conecta hasta 256 variables a una distancia no mayor de 3000 m con una velocidad de transmisión de 1200 bits por segundo.

En la plataforma de instrumentación se encuentran: Sondas capacitivas, vibratorias, hidrostáticas y radares.

Las sondas capacitivas, se utilizan con productos líquidos como con granos, para detección de nivel mínimo en las tolvas de malta. El Nivocompact FTC 331 de E&H, es una sonda de cable para tracciones elevadas, hasta 80 KN, su longitud es de 4,5 m y soporta temperaturas hasta 80 grados Celsius.

Las sondas vibratorias, se utilizan para detección de nivel máximo y mínimo con productos líquidos en los tanques de Trub, últimas aguas y para protección de las bombas de CIP y con sólidos se las utiliza en la tolva de afrecho. El Liquiphant M FTL 50 de E&H, es el detector de horquilla vibratoria para líquidos con conexión a dos hilos AC. El Liquiphant T FTL 260 de E&H, es el instrumento compacto para detección de líquidos activos con señal de salida de tres hilos. Sus principales ventajas son:



- ✓ Viscosidades elevadas, variaciones de las características eléctricas.
- ✓ Detección milimétrica de nivel.
- ✓ Construcción simétrica, insensible a la formación de adherencias.
- ✓ Cualquier posición de montaje.

El Soliphant T FTM 260 de E&H, es también una sonda vibratoria para detectar áridos y grano fino, con salida electrónica de contacto, sus principales ventajas son:

- ✓ Utilizado con áridos pulverulentos y de grano fino.
- ✓ Insensible a vibraciones externas
- ✓ Seguridad contra la formación de adherencias
- ✓ Elevada capacidad de carga lateral
- ✓ No necesita ajuste.

Las sondas de presión hidrostática instaladas con brida, para montaje empotrado, se utilizan en la medición continua de nivel con líquidos y productos viscosos en la paila de hervir y tanque de Whirlpool. La indiferencia a la formación de espuma, de adherencias y al cambio de características eléctricas, son

ventajas esenciales de la utilización de los captadores de presión hidrostática Deltapilot-S DB 50 de E&H.

La tecnología Microondas, tiene aplicación en las pailas de malta y adjunto, depósitos de proceso en condiciones extremas y cambiantes. El Micropilot M FMR 240, es la sonda emisora de microondas adecuada, para medir líquidos y sólidos en forma independiente de la temperatura, de la presión, formación de gases, vapores y polvo. Utiliza un nivel de radiación bajo (0.43 W / cm<sup>2</sup>.) en una banda de frecuencia aprobada de acuerdo a especificaciones de catálogo.

### 3.3.1. Listado de instrumentos nuevos

Las especificaciones de las sondas, sensores e instrumentos compactos, para medición de nivel son resumidas en el código de parte. Para conocer las especificaciones de cada uno de los sensores consultar el catálogo general del año 2002 de Endress & Hauser.

**TABLA 3.4**  
**Listado de Instrumentos nuevos**

<b>Cant</b>	<b>Sensor</b>	<b>Código de Parte</b>	<b>Reservorio</b>
2	Nivocompat	FTC331-G11B4	Tolvas de Malta

2	Liquiphant M	FTL50-AGM2AA4E6A	Tanque trub
2	Liquiphant M	FTL50-AGM2AA4E6A	Tanque de Aguas
4	Liquiphant T	FTL260-0110	Protecciones
3	Liquiphant T	FTL260-0110	Tanque de soda
1	Soliphant T	FTM260-N4B	Tolva de Afrecho
2	Micropilot M	FMR240-A5V1CQJBA4A	Adjunto y Malta
2	Deltapilot S	DB50-AC21BC11EE30	Hervir y Whirlpool

### 3.4. Implementación de cableado de instrumentación

Los estándares de desarrollo de la instalación automática están de acuerdo a normas internacionales, que garantizan la confiabilidad, seguridad y continuidad del servicio de alimentación de energía eléctrica a los diferentes elementos de campo, así como el control de los mismos. Con el fin de obtener un funcionamiento satisfactorio del sistema y reducir al mínimo los peligros de incendios y accidentes, que a su vez contemplan las mejoras del rendimiento económico de las inversiones, estableciendo una previsión de ahorro y deterioro de los materiales a colocarse.

El diseño y el montaje de este proyecto, se lo realizó de acuerdo a las normas del Código Eléctrico Nacional, Código Eléctrico



### **Instalación General**

Debe realizarse un trabajo ordenado y limpio con cables fijados en una manera uniforme “Sin Culebreo” de cables. Evitar en lo posible el cruce de cables, el cual deberá ser siempre en ángulos rectos. Deberá dejarse un mínimo de cable extra en toda la instalación. Estos cables extras serán marcados y cortados (Terminados).

Interferencia eléctrica: Lo más importante es eliminar el ruido en las señales de instrumentación. Se seguirán las siguientes reglas:

a) Señales de alto riesgo de interferencia eléctrica

- ✓ Señales análogas de corriente
- ✓ Señales análogas de bajo voltaje
- ✓ Señales seriales y paralelas ASCII
- ✓ Señales de voltaje TTL

b) Señales de bajo riesgo de interferencia eléctrica

- ✓ Señales de generadores de pulsos
- ✓ Señales de entrada de baja tensión DC
- ✓ Señales de salida de baja tensión DC

c) Señales creadoras de interferencia

- ✓ Fuentes de poder
- ✓ Cables de motores
- ✓ Salidas de poder
- ✓ Líneas de alta tensión

### **Comparaciones**

Las señales de los grupos de alto riesgo y bajo riesgo de interferencia antes descritos, pueden correr por la misma canastilla o electro canal, pero no por el mismo cable multipar.

Los cables del grupo de señales creadoras de interferencia, deben ser separados de los otros grupos restantes.

El espacio mínimo entre el grupo de señales creadoras de interferencia y los grupos (a) y (b), debe ser de 1% del largo del recorrido paralelo.

Las válvulas solenoides e interruptores podrán correr en el mismo cable.

### **Como sostener los cables**

Los cables deberán ser pegados a canastillas en intervalos no mayores de un metro para canastillas horizontales y 50 cm., para canastillas verticales, con más soportes de ser necesario.

Cuidado especial se le dará a los cables, para mantener la misma posición relativa a lo largo del tendido y que no desplacen otros cables cuando salgan de las canastillas.

### **Como terminar los cables**

La entrada de los cables y la posición de los terminales deberá ser diseñada de manera tal que los cables puedan ser fácilmente identificados y atornillados a los bloques terminales. Los terminales deberán ser atornillados.

No más de dos conductores se conectará a un terminal.

Todos los cables deberán tener terminales apropiados en cada punto de terminación.

Todos los cables deberán ser continuos sin empates (solo a través de cajas de paso con terminales). No se realizarán soldaduras de cables.

### **Aterrizaje**

Los cables enmallados serán aterrizados en un extremo de cable solamente. Se conectarán las tierras en el riel del panel

### **Marquillas de cables**

Cada extremo del cable, deberá ser marcado con un número de identificación, que tenga la referencia del cable en caracteres de mínimo 6 mm. Estas estarán ubicadas a un máximo de 50 mm. del colector.

Las marquillas deberán ser ubicadas de tal manera, que se puedan leer de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba.



### **3.4.2. Conexiones flexibles**

Se usarán conexiones flexibles, para proteger los cables hacia las conexiones finales.

Las conexiones finales a los instrumentos, se harán con funda metálica de ½NPT con sus correspondientes conectores.

Las fundas flexibles, deberán ser lo más cortas posibles (promedio 50 cm.) y no deberán exceder en ninguna circunstancia los 100 cm.

Se aislarán los dos extremos, para prevenir que entre cualquier sustancia.

### **3.4.3. Tubería**

Se usará tubería rígida metálica de 3/4" NPT Y ½ NPT con una longitud de tres metros, para llevar cables de alimentación de voltaje y control a 110V.

Las tuberías, deberán ser seleccionadas de acuerdo a especificaciones técnicas del fabricante del cable.

Las tuberías y accesorios serán metálicas.

Los extremos de la tubería, deberán conectarse sólidamente a los acoples y si terminan en cajas de distribución, cajas de terminales u otra caja metálica que no tenga entrada, se usarán conectores con corona y contratuerca.

La tubería, deberá ser en lo posible, a prueba de agua. Deberá tener puntos de drenaje en las partes bajas de las tuberías.

Deberá ponerse especial énfasis, para asegurar la conductividad de tierra a lo largo de la tubería.

#### **3.4.4. Tendidos eléctricos y balance de materiales**

El **ANEXO 1.6** presenta los planos eléctricos del proceso automatizado y de la instrumentación instalada, también los detalles del diseño del tendido eléctrico general del proyecto, para asegurar de una manera técnica y económica la correcta distribución del material.

Para más detalles sobre el listado de materiales eléctrico referirse al **ANEXO 1.7**.

# CAPITULO IV

## IV. ANALISIS DE COSTOS

### 4.1. Listado de materiales

#### **Materiales eléctricos**

La Compañía de Cervezas Nacionales C.A. suministró todos los materiales eléctricos, para realizar los tendidos eléctricos de los instrumentos de presión, detectores de válvulas, cableados y protecciones de los dispositivos de control en los tableros.

#### **Materiales mecánicos**

La Compañía de Cervezas Nacionales C.A. suministró todos los accesorios para la instalación mecánica de los nuevos sensores, la instalación de neoplos, bridas y soportes para tuberías.

Para ver detalles de estos materiales eléctricos y mecánicos refiérase al **ANEXO 1.7**.

### 4.2. Costo de materiales directos e indirectos

Los materiales directos utilizados corresponden a los materiales eléctricos y mecánicos, suministrados por la compañía cervecera, para el proyecto.

Los materiales indirectos, corresponden a los trabajos de ingeniería, instalación de equipos, puesta en marcha del sistema automático y capacitación al personal de la planta.

### **Ingeniería, capacitación y puesta en marcha**

Encargado de la dirección del proyecto Yo, Juan Villalobos, realice el análisis, diseño, programación e implementación de los programas a ser colocados en el PLC e interfase gráfica del operador; la creación de los correspondientes manuales de usuario del sistema y los planos eléctricos de todo el proyecto para su instalación. Además capacitar al personal de la planta en el uso y mantenimiento del sistema. En resumen realice las labores de:

- ✓ Dirección Técnica
- ✓ Programación de InTouch y PLC
- ✓ Instalación y Calibración de Equipos de instrumentación

- ✓ Ejecución de Pruebas de Equipos y Señales.
- ✓ Planos de Interconexión
- ✓ Planos Lógicos
- ✓ Manual del Usuario
- ✓ Capacitación al Personal Técnico y Operadores

#### **4.3. Costo total**

El costo total de la obra, suma los siguientes rubros:

Instalación

Ingeniería

Capacitación

Sistema de control

Instrumentación

Materiales eléctricos y mecánicos

Los costos, de cada uno de los rubros, son especificados con más detalle en el **ANEXO 1.8**, son costos referenciales a la fecha de elaboración del proyecto.

## CONCLUSIONES

### **Del sistema de control.**

Se seleccionó un sistema de PLCs, distribuido para el control del proceso de limpieza con el objeto de minimizar el cableado de control presente, en un sistema centralizado y reducir las distancias desde los captadores hasta el armario del autómeta.

El cable de comunicación, que enlaza al PLC principal y cada una de las terminales en una sola red Modbus Plus, se instaló en ducteria independiente y no por el electro canal de la planta, para asegurar el correcto blindaje del cable y la nitidez en la señal de datos.

El sistema de control distribuido, elimina la posibilidad de falla a la hora de la puesta en marcha y reduce el tiempo de instalación de cables en borneras.

El sistema de control instalado, constituye el 80% de la capacidad total de control, para el manejo de señales discretas y análogas.

El pedido de los autómetas , incluyó unidades de repuesto y stock, para un crecimiento futuro de la red de PLCs.

La implementación se llevo a cabo con planos eléctricos y de control, para facilitar la labor técnica de los instrumentistas y así asegurar una adecuada implementación, eliminando la posibilidad de fallo en la etapa de puesta en marcha.

#### **Del sistema de instrumentación.**

Para dimensionar el alcance máximo de un sensor de presión hidrostática, de manera práctica, se puede concluir que 0.1 bar de presión, es equivalente a una columna de agua de un metro.

Los sensores de nivel que trabajan con el método de presión hidrostática, no deben ser instalados próximos a bombas, por ser las causantes de presiones positivas y negativas, nocivas para la membrana.

Todo sensor, que en condiciones normales trabaje en contacto con sustancias líquidas, deberá ser calibrado con agua, por ser una referencia universal y tener un valor de  $1 \text{ g / cm}^3$  a 4 grados Celsius.

Para áreas de alto riesgo explosivo, es necesario que los sensores discretos envíen señales de pulso de muy baja corriente y los sensores análogos trabajen con transmisores de señales de frecuencia.



El cableado de 4 a 20 mA para los sensores análogos, fue dispuesto en el electro canal para un ahorro de tiempo en la instalación de ducteria, también fue necesario asegurar su blindaje, en toda su extensión con funda sellada y así asegurar la veracidad de la señal.

La selección de un sensor, debe estar apoyada con tablas de resistencias de materiales, para justificar su composición, normas de protecciones contra infiltración de partículas y líquidos, normas de instalación segura y una clara idea del método de medición a utilizar.

## RECOMENDACIONES

### **Del sistema de control.**

Es importante seguir las normas recomendadas por el fabricante en los casos de seguridad, ubicación e instalación de equipos de control.

Para una óptima instalación de equipos y tiempo de trabajo, se recomienda asignar en cada uno de los tableros, dos técnicos instrumentistas.

Es importante, que todo el cableado proveniente de los captadores y actuadores, llegue y parta respectivamente desde grupos de borneras, y no directamente del PLC o terminal de control con el fin de realizar un mejor mantenimiento y resolución de fallas.

### **Del sistema de instrumentación.**

Para la aplicación de sistemas de medición, que dependen de la constante dieléctrica del material, se recomienda la consulta de una guía de constantes dieléctricas relativas.

Se recomienda la instalación de los sensores con funda sellada y no con prensas estopas, para mantener el nivel de protección del módulo electrónico.

Para realizar la medición de presión y nivel en líquidos con sustancias en suspensión, se recomienda elegir un método de medición, que no tenga contacto con el producto.

En la compra de instrumentación, debe consultarse además de las características de precisión y costo, las condiciones ambientales y de proceso, incluyendo limpiezas de CIP con sodas.

## ANEXOS

1.1.	Cronograma de obra	134
1.2.	Distribución de Equipos	139
	1.2.1. Pailas en la sala de cocimiento	139
	1.2.2. Válvulas manuales y neumáticas	142
	1.2.3. Bomba principal y retorno	144
1.3.	Detalle de entradas y salidas	148
1.4.	Arquitectura de red	154
1.5.	Programa de PLC	156
1.6.	Planos Eléctricos	220
1.7.	Listado de Materiales	275
1.8.	Costos de materiales directos e indirectos	282
1.9.	Manual de operador del CIP.	285

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **Instrumentación Industrial**

1. WILLIAN DAVID COOPER/ ALBERT D. HELFRICK. Electronic Instrumentation and Measurement Techniques. 3ra edition. Prentice Hall Inc.
2. DALE PATRICK/ STEPHEN W. FARDO. Industrial Electronics, divices and systems. Prentice Hall Inc.
3. ROBERT G. SEIPPEL. Sensors & Detectors. Prentice Hall Inc.
4. JOSE ROLDAN VILORIA. Motores Eléctricos y Automatismos de Control. 3ra edición. Paraninfo
5. ANTONIO CREUS. Instrumentación Industrial. 6ta edición. Alfa Omega.- Marcombo.
6. ENDRESS + HAUSER. General Specifications. Catalogue III
7. ENDRESS + HAUSER / MARTIN HOLDEFER. Relative dielectric (DK value) of liquids and solid materials.
8. FISHER – ROUSMOUNT. Product Catalog. Version 2.1.

### **Interfaces gráficas y Automatismos de control**

1. RAMON PIEDRAFITA MORENO. Ingeniería de la Automatización Industrial. 2001 Alfa-Omega.
2. SCHNEIDER ELECTRIC. Quantum Process Control. 2001
3. SCHNEIDER ELECTRIC. Modicon Catalog & Specifier's Guide 1998
4. GROUPE SCHNEIDER. Concept Version 2.1. User Manual. Volume 1.
5. WONDERWARE CORPORATION. Intouch 7.0 Basic. Training Manual.

6. WONDERWARE CORPORATION. Intouch 7.0 Advanced. Training Manual.
7. KEYENCE AUTOMATION INC. Product Specifications.