

**AUTOMATIZACIÓN DE COMPRESORES PARA EL CONTROL Y MONITOREO  
DE PRESIÓN EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AMONIACO.**

**DIONISIO JOSE CAMACHO MOLINA**

**RAUL DE JESUS AGUAS RAMOS**

**ARIEL NICANOR BUELVAS BERROCAL**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS  
INDUSTRIALES  
CARTAGENA DE INDIAS  
2014**

**AUTOMATIZACIÓN DE COMPRESORES PARA EL CONTROL Y MONITOREO  
DE PRESIÓN EN TANQUES DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE  
AMONIACO.**

**DIONISIO JOSE CAMACHO MOLINA**

**RAUL DE JESUS AGUAS RAMOS**

**ARIEL NICANOR BUELVAS BERROCAL**

**Trabajo Integrador para optar el título de Especialista en Automatización y  
Control de Procesos Industriales**

**Profesores**

**INGENIERO JORGE ELIECER DUQUE**

**INGENIERO JOSE LUIS VILLA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESPECIALIZACIÓN EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS  
INDUSTRIALES**

**CARTAGENA DE INDIAS**

**2014**

Nota de aceptación

-----

-----

-----

-----

-----

-----

Firma de presidente del jurado

-----

Firma del jurado

-----

Firma del jurado

Cartagena, 30 de agosto de 2014

# CONTENIDO

Pag.

INTRODUCCION.....	7
1. DESCRIPCION DEL PROCESO .....	9
1.1 Depresionador de amoniaco NAM-D50 .....	10
1.2 Tanques de almacenamiento NAM-TK30 A y B.....	10
1.3 Compresores de refrigeración NAM-C3 A, B y C.....	11
1.4 Tambor de despacho de amoniaco a buques NAM-D52 .....	13
1.5 Bombas de cargue NAM-P-28A y NAM-P-28B.....	14
1.6 Bombas de trasiego NAM-P31A y NAM-P31B.....	14
1.7 Tanque de almacenamiento de amoniaco NAM-D24 .....	14
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
2.1 Producción y tratamiento de aire comprimido.....	15
2.2 Estadísticas de Falla .....	16
3 MEJORAMIENTO EN EL SISTEMA DE CONTROL.....	17
3.1 Lazos de control.....	18
3.1.1 Control de presión de los tanques D30s .....	18
3.1.2 Control de presión en el tanque D50 .....	19
3.1.3 Fallas relacionadas con variables medidas.....	20
3.1.4 Fallas Relacionadas con activación de Switchs.....	23
3.2 Arquitectura de control .....	25
3.2.1 Descripción del sistema de PLC de los compresores C3'S.....	26
3.2.2 Descripción del Software .....	28
3.2.3 Red de Comunicación .....	29
4 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD.....	29
4.1 Antecedentes de fallas en el sistema neumatico de los compresores c3's.....	30
4.2 Presupuesto para la implementación de un sistema de control electrónico .....	31
4.3 Calculo del tir (tasa interna de retorno).....	33
CONCLUSIONES .....	34

## LISTADO DE TABLAS

	<b>Pag.</b>
Tabla 1. Fallas Variables Medidas .....	23
Tabla 2. Fallas Relacionadas con Activación de Switchs .....	24
Tabla 3. Listado de Señales de temperatura.....	26
Tabla 4. Listado de señales analógicas de entrada .....	27
Tabla 5. Listado de señales análogas de salida.....	27
Tabla 6. Listado de señales digitales de entrada .....	28
Tabla 7. Listado de señales digitales de salida. ....	28
Tabla 8. Dispositivos de red Ethernet .....	29
Tabla 9. Relación de costos por falla del año 2011 .....	30
Tabla 10. Relación de costos por falla del año 2012.....	30
Tabla 11. Relación de costos por falla del 2013.....	31
Tabla 12. Relación de costos por falla del año 2014.....	31
Tabla 13. Resumen de costos por falla total en los últimos 4 años. ....	31
Tabla 14. Presupuesto de la implementación del proyecto .....	33
Tabla 15. Calculo del TIR .....	33

## LISTADO DE IMAGENES

	<b>Pag.</b>
Imagen 1. Diagrama de flujo de un proceso de generación de Amoniacó.....	9
Imagen 2. Compresores C3.....	12
Imagen 3. Unloaders Compresores C3.....	13
Imagen 4. Estadísticas de falla en el periodo 2012 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Imagen 5. Escala Porcentual de la Salida del PID PIC115 .....	19
Imagen 6. Escala Porcentual de la Salida del PID PIC119 .....	20
Imagen 7. Arquitectura de Control Compresores C3's .....	25

## INTRODUCCION

En este trabajo integrador buscare implementar los conocimientos adquiridos durante la especialización en Automatización y Control de Procesos Industriales aplicándolo en la industria del sector agrícola de manera que se pueda mostrar la automatización de algunos de sus sistemas, brindando solución a los costos de operación y mantenimiento por las diferentes tipos de falla que se presentan; También, ayudar a los departamentos de mantenimiento y proceso en el diagnóstico de una falla.

Se harán mejoras en el sistema de control, para la automatización de los equipos que hacen parte de los sistemas de almacenamiento y cargue de amoniaco.

## **OBJETIVO GENERAL**

Control de presión de tanques de amoníaco mediante la automatización de compresores.

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

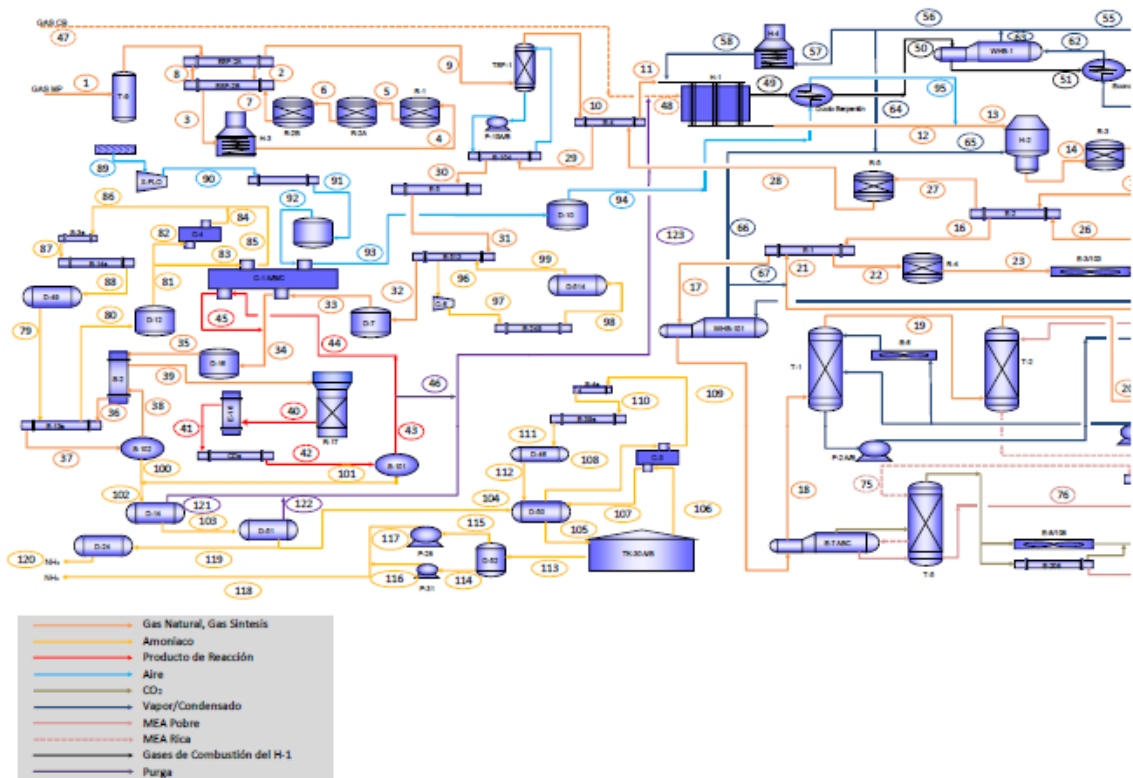
Mejoramiento del sistema de control que ayude a mantener la integridad del sistema y los equipos con el fin de reducir las paradas no programadas y la consiguiente pérdida de producción de la empresa.

Proteger y extender la vida útil de los activos involucrados en la automatización previniendo situaciones anómalas que se puedan detectar antes de que generen una avería.

Ayudar al departamento de mantenimiento y proceso con los diagnósticos de falla, mediante la automatización de sistema.



# 1. DESCRIPCION DEL PROCESO



**Imagen 1. Diagrama de flujo de un proceso de generación de Amoníaco**

El almacenamiento atmosférico y las facilidades para el cargue del amoníaco se han diseñado para almacenar 4.500 toneladas de amoníaco en cada uno de los tanques de almacenamiento. Las facilidades para este almacenamiento han sido diseñadas con ciertas características de control automático de seguridad, las cuales se han incorporado para la protección del personal y el equipo

## **1.1 Depresionador de amoniaco NAM-D50**

El amoníaco líquido que sale del NAM-D51 es enviado al tambor depresionador de amoniaco NAM-D50 en donde la presión baja a 40-50 psig y la temperatura a 100 °F. Al efectuarse el flash en este tambor se produce cierta cantidad de vapores de amoniaco que son succionados por la 2ª. etapa de los compresores de refrigeración NAM-C3's como se verá más adelante. El amoníaco líquido es enviado a los tanques de almacenamiento NAM-TK30A y B a través de la válvula de nivel LV-1601 la cual recibe señal del controlador LIC-1601 por medio del cual se mantiene un nivel constante de amoníaco.

Antes de entrar a este tambor el amoníaco pasa a través de la válvula PV-1542 gobernada por el PIC-1542, los cuales mantienen el líquido a una presión de 150-175 psig entre dicha válvula de control y el NAM-D51 con el objeto de que el amoníaco no se evapore en la tubería sino en el tambor NAM-D50. Por tal razón la válvula PV-1542 está localizada al final de dicha tubería.

## **1.2 Tanques de almacenamiento NAM-TK30 A y B**

Al salir del tambor NAM-D-50 el amoníaco sigue a los tanques de almacenamiento, en donde la presión es bajada a 2.8 - 3.0 inH<sub>2</sub>O y la temperatura cae a -28 °F; esta presión y temperatura se sostienen por acción de los compresores de refrigeración NAM-C3's, una primera etapa succiona los vapores producidos por efecto del flash.

La línea de entrada del producto antes de entrar a cada tanque se bifurca: una línea de 1 ½" lleva el líquido a la parte inferior del tanque mientras que a la parte superior entra la segunda línea de 10". Los dos (2) tanques están comunicados por medio de una línea de balance la cual permite que la presión de ellos sea siempre igual.

Los tanques están recubiertos de un aislamiento especial a base de vidrio celular para evitar la influencia de la temperatura ambiente.

En el fondo de cada tanque está localizada la línea de salida de amoníaco comunicadas con el tanque NAMD52. Cada línea tiene una válvula de bloque normal y otra de bloque a control remoto operada con aire y que recibe señal desde una solenoide localizada a cierta distancia.

En la base de cada tanque, dentro los cimientos se han instalado 10 calentadores eléctricos, para prevenir que por la baja temperatura del amoníaco se produzca congelación en la cimientos lo cual conduciría a que los tanques se ladearan o se deterioraran las bases.

### **1.3 Compresores de refrigeración NAM-C3 A, B y C**

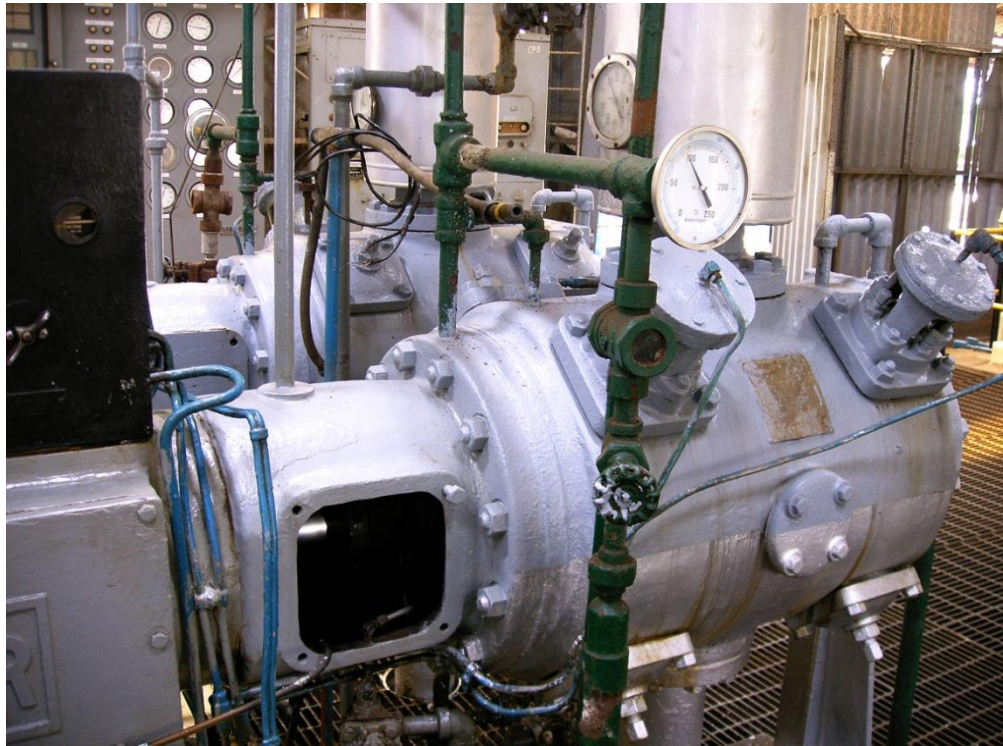
Estos compresores tienen por objeto asegurar que en los tanques de almacenamiento el amoníaco permanezca a la temperatura de  $-28^{\circ}\text{F}$  manteniendo una presión entre 2.8-3.0 InH<sub>2</sub>O succionando los vapores de amoníaco, comprimiéndolos para enviarlos nuevamente a los tanques después de ser enfriados y licuados.

Cada compresor posee dos etapas (ver imagen 2), de las cuales la primera es para el control de presión de los tanques D30's y la segunda es para el control de presión del tanque D50. El control se realiza mediante el accionamiento de una pareja de unloaders en cada etapa, (ver imagen 3), y de acuerdo con los requerimientos de la planta en cada momento, así la presión en los D30's o D50 dependerá de la rata de producción de la planta (entrada de amoniaco a tanques), de la rata de despacho de amoníaco desde los D30's (salida de amoniaco a planta sur o buques) y de factores externos como la temperatura.

Con el aumento de la presión comienza la necesidad de ir cargando las etapas respectivas de cada compresor comenzando por el C3A. El accionamiento de cada unloader es secuencial, iniciando con media etapa de un compresor y continuando con media etapa del compresor siguiente. Es decir se comienza con media etapa del C3A, media del C3B, sigue media del C3C. Luego continúa la otra media etapa del C3A y así hasta cargar completamente los tres compresores en sus etapas. Si por demanda de la planta no están los tres compresores operando los equipos que queden se accionarán secuencialmente en el orden que corresponda, es decir si se para el compresor A, se iniciará secuencia por el B y luego el C. Para el caso opuesto, es decir, cuando la presión esté por debajo del punto de control, se actuará de forma contraria, hasta que todos los equipos queden totalmente descargados.



**Imagen 2. Compresores C3**



**Imagen 3. Unloaders Compresores C3**

#### **1.4 Tambor de despacho de amoníaco a buques NAM-D52**

El amoníaco líquido fluye de los tanques de almacenamiento al tanque de depósito a través de las válvulas de flujo FV-34 A y B, las cuales se operan por medio de botones de contacto. Del tanque de depósito el amoníaco se bombea a los buques-tanques por medio de las bombas de cargue. El tanque de depósito tiene dos bombas de cargue, NAM-P28A y B, y dos bombas de trasiego NAM-P31A y B.

Las bombas de cargue entregarán 1.300 gpm al muelle de cargue y a los buques-tanques. Con las bombas de trasiego se hará circular amoníaco por la línea de trasiego para enfriarla antes de poner a funcionar las bombas de cargue.

### **1.5 Bombas de cargue NAM-P-28A y NAM-P-28B**

Las bombas de cargue NAM-P28A y NAM-P28B, se usan para el trasiego del amoníaco líquido a los buques tanques en el muelle de cargue.

### **1.6 Bombas de trasiego NAM-P31A y NAM-P31B**

Las bombas de trasiego NAM-P31A y NAM-P31B, se usan para hacer circular amoníaco líquido a través de la línea de trasiego y así enfriarlas antes de cargar el amoníaco a los buques-tanques.

### **1.7 Tanque de almacenamiento de amoniaco NAM-D24**

El amoníaco del tanque de flash NAM-D-51 fluye normalmente al tambor y se regula por el controlador de nivel, el cual opera una válvula de control de. Si la planta de amoníaco no está produciendo, el amoníaco se podrá bombear al NAM-D24, sacándolo de los tanques de almacenamiento NAM-TK30's por medio de las bombas de trasiego, NAM-P31A y NAM-P31B, localizadas en el tanque de depósito NAM-D52.

## **2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El sistema de supervisión que se encuentra actualmente instalado es neumático. Esto representa un problema para el equipo de mantenimiento actual ya que al tener sistemas de control neumáticos el mantenimiento es más riguroso, debido a que el amoniaco ataca las partes mecánicas de los sensores y transmisores y los repuestos de dichos equipos ya no se suelen conseguir y en muchos casos es necesario fabricar adaptaciones con los repuestos de los equipos neumáticos disponibles.

El sistema de control actualmente instalado en la planta se basa en sistemas neumáticos. La neumática es la tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos. El aire es un material elástico y por tanto, al aplicarle una fuerza, se comprime, mantiene esta compresión y devolverá la energía acumulada cuando se le permita expandirse, según la los gases ideales.

### **2.1 Producción y tratamiento de aire comprimido**

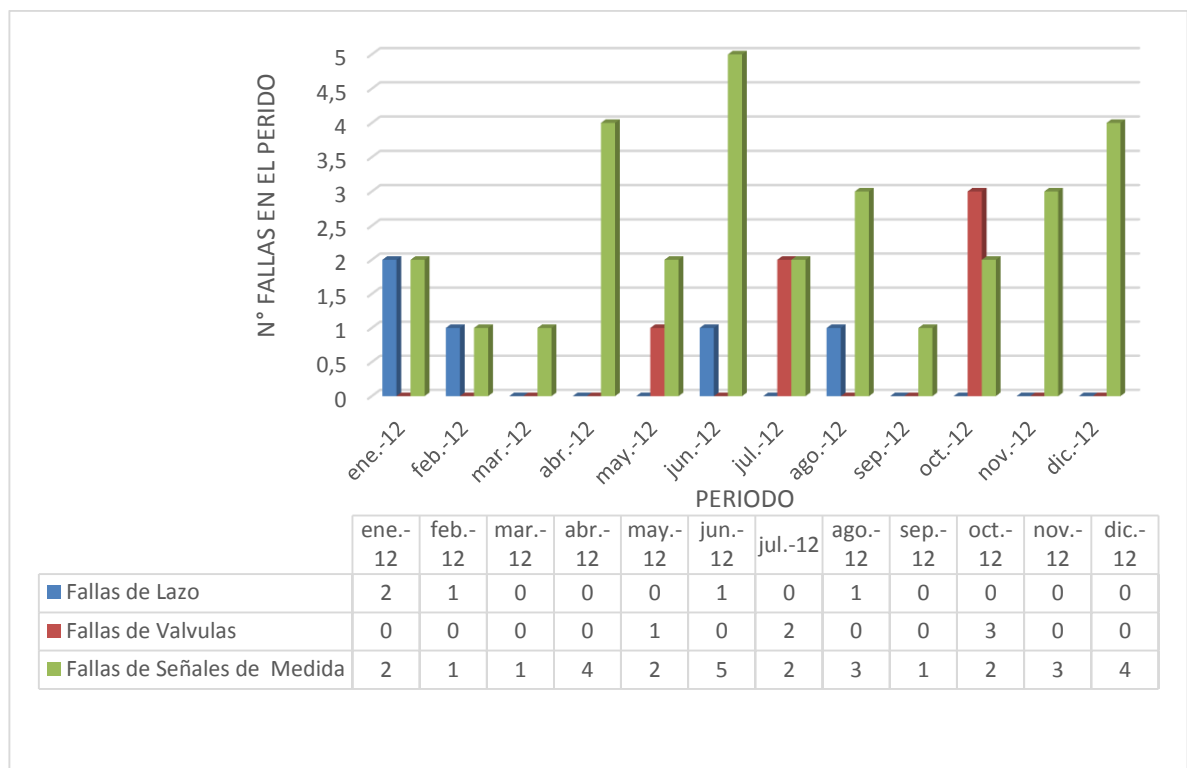
Uno de las desventajas de este sistema de control es que se requiere producir y tratar el aire comprimido que se piensa usar para dicho sistema. El aire comprimido, por el hecho de comprimirse, comprime también todas las impurezas que contiene, tales como polvo, hollín, suciedad, hidrocarburos, gérmenes y vapor de agua. A estas impurezas se suman las partículas que provienen del propio compresor, tales como polvo de abrasión por desgaste, aceites y aerosoles y los residuos y depósitos de la red de tuberías, tales como óxido, residuos de soldadura, y las sustancias hermetizantes que pueden producirse durante el montaje de las tuberías y accesorios.

Estas impurezas pueden crear partículas más grandes (polvo +aceite) por lo que dan origen muchas veces a averías y pueden conducir a la destrucción de los

elementos neumáticos. Es vital eliminarlas en los procesos de producción de aire comprimido, en los compresores y en el de preparación para la alimentación directa de los dispositivos neumáticos lo que requiere implementación de rutinas de mantenimiento, generando un costo adicional en horas hombre.

Por otro lado, desde el punto de vista de prevención de los riesgos laborales, el aire de escape que contiene aceite puede dañar la salud de los operarios y, además, es perjudicial para el medio ambiente.

## 2.2 Estadísticas de Falla



**Imagen 4. Estadísticas de falla en el periodo 2012**

Como podemos apreciar en la Imagen 4, estos equipos tenían fallas que producían la pérdida de los lazos, parando el proceso y produciendo limitaciones en la



producción de la planta. Adicional a esto, se generaban horas hombre adicionales, lo cual se reflejaba en los sobrecostos en los departamentos de mantenimiento.

La instrumentación y el control neumático a pesar de ser muy confiable en muchas circunstancias, y ser la mejor opción en mucho tiempo para la planta, ha ido quedando atrás por los inconvenientes presentados con los productos que se manejan en el proceso, causando pérdidas apreciables para la compañía. Es por eso que se sugiere la modernización del control, ya que productos como el amoníaco, nitrato de amonio y ácido nítrico atacan de manera agresiva las partes mecánicas de la instrumentación y el control neumático, y actualmente se cuenta con muy buenas opciones en el campo de la instrumentación electrónica y el control por PLC.

### **3 MEJORAMIENTO EN EL SISTEMA DE CONTROL**

De acuerdo a los problemas planteados en el capítulo 2, se hará la implementación de una estrategia para mejorar el control de presión en los tanques D30 y D50 mediante la automatización de los compresores C3, llevando todo el control de la presión de los tanques D30's y D50 que actualmente se encuentra mediante el sistema neumático hacia un PLC, por lo cual se conectaran las siguientes señales:

- Termocuplas que vienen de cada compresor.
- Señales de estado de compresores (trabajando, disponible), selector del modo de operación (automático ó manual).
- Señales de mando a compresores (Start y Stop).
- Señales de presóstatos de corte de cada compresor.
- Señales de corriente de cada compresor.
- Señales de energización de solenoides.
- Señales de flujo de amoníaco a buque tanque y de flujo de amoníaco a clientes.

- Señales de presóstatos de las bombas P28's, P31's.

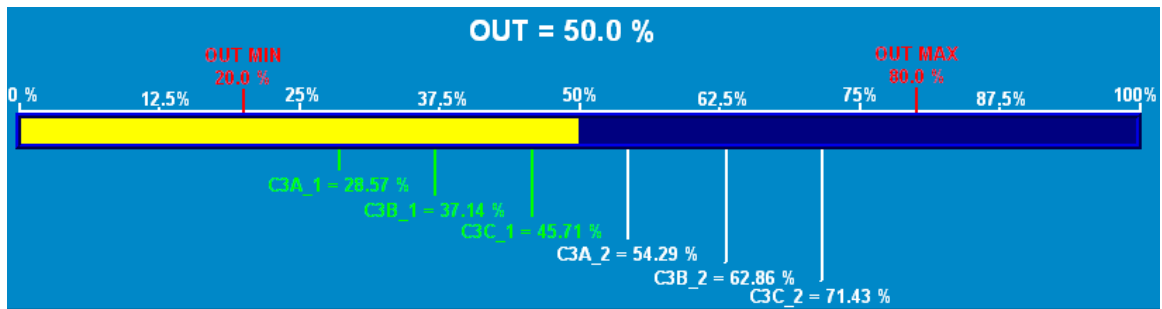
La información y manejo de las variables de presión, estado del compresor, eventos, y alarmas se hará a través de un PanelView 1500 Plus, el cual se conectará al PLC vía ethernet a través de un switch de ocho puertos phoenix contact. Adicionalmente se cuenta con una luz estroboscópica y sirena para anunciar alarmas o cortes de algún compresor o del sistema.

### **3.1 Lazos de control**

El sistema cuenta con 3 lazos de control PID, uno para la presión de los taques D30s, otro para la presión del tanque D50 y uno para el nivel del tanque D50, nos enfocaremos en los lazos de control de presión de cada uno de los tanques.

#### **3.1.1 Control de presión de los tanques D30s**

Los tanques D30's contara con un controlador PID para realizar el control de la presión en los mismos, el cual actúa sobre los unloaders de la primera etapa de los compresores C3's según el porcentaje de salida que este arrojando la ecuación del controlador. Es decir, el PLC calcula los puntos dentro de una escala porcentual de la salida del PID en los cuales cada unloader empezara a cargar. En la imagen 5 se ilustra como el PLC coloca los puntos de cada unloader dentro de la escala porcentual de la salida del PID, esta escala se podrá observar en una de las pantallas de la PanelView.



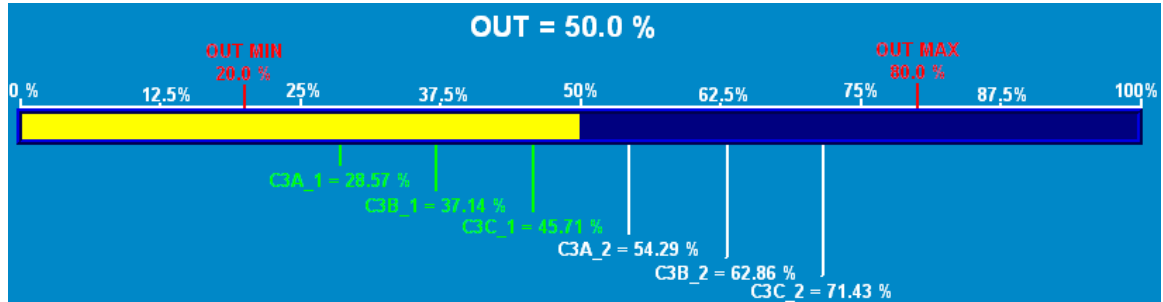
**Imagen 4. Escala Porcentual de la Salida del PID PIC115**

En la imagen 5 se indica el valor porcentual de la salida en representación numérica y con la barra que se llena de color amarillo a medida que el valor de la salida se incrementa. Las indicaciones OUT MIN y OUT MAX son los valores que limitan la salida del PID entre dos valores porcentuales fijos, estos parámetros se usan para reducir el rango de separación de los puntos en los cuales se encuentran los unloaders. Por último, las indicaciones que se encuentran en la parte inferior de la barra son los puntos en los cuales cada uno de los unloader cambia de estado, cuando la salida supera el valor de unloader este empezara a carga y de lo contrario el unloader se encontrara en posición de descarga. Los unloader se ven identifican por las siglas C3A\_1, que representa el unloader 1 del compresor C3A que es el que se encuentra mas cerca al motor, y C3A\_2, que representa el unloader 2 del compresor C3A que es el que se encuentra mas lejos del motor. De igual manera se identifican los unloaders para los compresores C3B y C3C.

### 3.1.2 Control de presión en el tanque D50

El tanque D50 contara con un controlador PID para realizar el control de la presión en el mismo, el cual actúa sobre los unloaders de la segunda etapa de los compresores C3's según el porcentaje de salida que este arrojando la ecuación del controlador. Es decir, el PLC calcula los puntos dentro de una escala porcentual de la salida del PID en los cuales cada unloader empezara a cargar. En la imagen 6jError! No se encuentra el origen de la referencia. se ilustra como el PLC coloca los puntos

de cada unloader dentro de la escala porcentual de la salida del PID, esta escala se podrá observar en una de las pantallas de la PanelView.



**Imagen 5. Escala Porcentual de la Salida del PID PIC119**

En la imagen 6 se indica el valor porcentual de la salida en representación numérica y con la barra que se llena de color amarillo a medida que el valor de la salida se incrementa. Las indicaciones OUT MIN y OUT MAX son los valores que limitan la salida del PID entre dos valores porcentuales fijos, estos parámetros se usan para reducir el rango de separación de los puntos en los cuales se encuentran los unloaders. Por último, las indicaciones que se encuentran en la parte inferior de la barra son los puntos en los cuales cada uno de los unloader cambia de estado, cuando la salida supera el valor de unloader este empezara a carga y de lo contrario el unloader se encontrara en posición de descarga. Los unloader se ven identifican por las siglas C3A\_1, que representa el unloader 1 del compresor C3A que es el que se encuentra mas cerca al motor, y C3A\_2, que representa el unloader 2 del compresor C3A que es el que se encuentra mas lejos del motor. De igual manera se identifican los unloaders para los compresores C3B y C3C.

### 3.1.3 Fallas relacionadas con variables medidas

La tabla **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.1** muestra las fallas y alarmas relacionadas con las variables análogas que se están leyendo en el sistema y las acciones de control que se ejecutaran de acuerdo a la falla o la alarma que se presente.

<b>ALARMA</b>	<b>DISPARO</b>	<b>ACCIÓN DE CONTROL</b>	<b>RESET</b>
Underrange Transmisor PT115A	La presión en los tanques D30's medida por el transmisor es menor a 0"H2O	Indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	Cuando la condición desaparece
Overrange Transmisor PT115A	La presión en los tanques D30's medida por el transmisor es mayor a 6"H2O	Indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	Cuando la condición desaparece
Underrange Transmisor PT115B	La presión en los tanques D30's medida por el transmisor es menor a 0"H2O	Indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	Cuando la condición desaparece
Overrange Transmisor PT115B	La presión en los tanques D30's medida por el transmisor es mayor a 6"H2O	Indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	Cuando la condición desaparece
Underrange Transmisor PT119	La presión en el tanque D50 medida por el transmisor es menor a 0 psi	Indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	Cuando la condición desaparece

<b>ALARMA</b>	<b>DISPARO</b>	<b>ACCIÓN DE CONTROL</b>	<b>RESET</b>
Overrange Transmisor PT119	La presión en el tanque D50 medida por el transmisor es mayor a 60 psi	Indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	Cuando la condición desaparece
Baja Presión en los Tanques D30's	La presión en los tanques D30's es menor a 1.5"H2O	Indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	La presión en los tanques D30's es mayor a 1.53"H2O
Alta Presión en los Tanques D30's	La presión en los tanques D30's es mayor a 4.5"H2O	Indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	La presión en los tanques D30's es menor a 4.41"H2O
Baja Presión en el Tanque D50	La presión en el tanque D50 es menor a 20 psi	Indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	La presión en el tanque D50 es mayor a 20.4 psi
Alta Presión en el Tanque D50	La presión en el tanque D50 es mayor a 55 psi	Indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	La presión en el tanque D50 es menor a 53.9 psi
Bajo Nivel del Tanque D30A	El nivel del tanque D30A es menor a 15%	Indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	El nivel del tanque D30A es mayor a 15.3%
Alto Nivel del Tanque D30A	El nivel del tanque D30A es mayor a 85%	Indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	El nivel del tanque D30A es menor a 83.3%
Bajo Nivel del Tanque D30B	El nivel del tanque D30B es menor a 15%	Indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	El nivel del tanque D30B es mayor a 15.3%
Alto Nivel del Tanque D30B	El nivel del tanque D30B es mayor a 85%	Indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	El nivel del tanque D30B es menor a 83.3%
Bajo Nivel del Tanque D50	El nivel del tanque D50 es menor a 10%	Indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	El nivel del tanque D50 es mayor a 10.2%

ALARMA	DISPARO	ACCIÓN DE CONTROL	RESET
Alto Nivel del Tanque D50	El nivel del tanque D50 es mayor a 60%	Indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	El nivel del tanque D50 es menor a 58.8%
Bajo Nivel del Tanque D46	El nivel del tanque D46 es menor a 10%	Indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	El nivel del tanque D46 es mayor a 10.2%
Alto Nivel del Tanque D46	El nivel del tanque D46 es mayor a 60%	Indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	El nivel del tanque D46 es menor a 58.8%
Alta Presión de Amoniaco en la Línea al Buque Tanque	La presión en la línea al buque tanque es mayor a 150 psi	Indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	La presión en la línea al buque tanque es menor a 147 psi

**Tabla 1. Fallas Variables Medidas**

### 3.1.4 Fallas Relacionadas con activación de Switchs

La tabla 2 muestra las fallas relacionadas con los switchs del sistema de los compresores C3's.

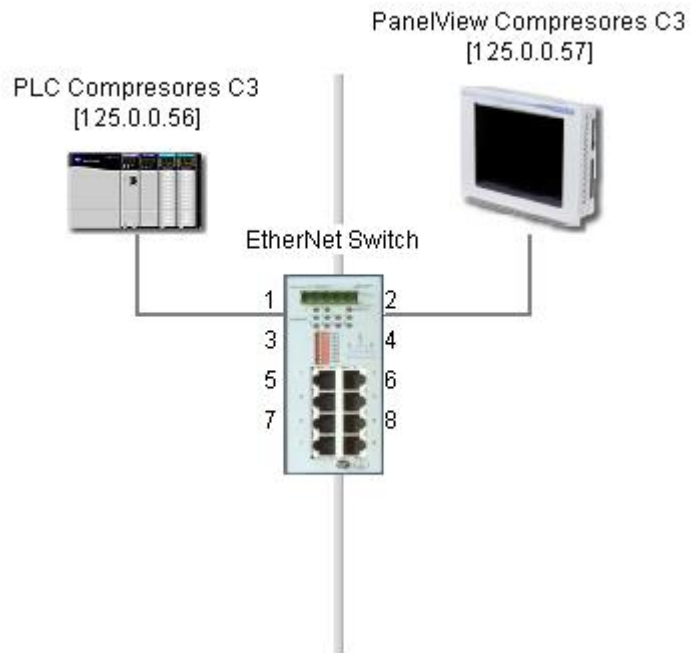
ALARMA	DISPARO	ACCIÓN DE CONTROL	RESET
Switch de Baja Presión Bomba P28A PS120A	Switch activo, contacto abierto, por más de 1 seg.	Paro de la bomba P28A, indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	Switch desactivado, contacto cerrado, por más de 1 seg.
Switch de Baja Presión Bomba P28B PS120B	Switch activo, contacto abierto, por más de 1 seg.	Paro de la bomba P28B, indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	Switch desactivado, contacto cerrado, por más de 1 seg.
Switch de Alta Presión Bombas P28A y P28B PS121	Switch activo, contacto abierto, por más de 1 seg.	Paro de las bombas P28A y P28B, indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	Switch desactivado, contacto cerrado, por más de 1 seg.

ALARMA	DISPARO	ACCION DE CONTROL	RESET
Switch de Baja Presión Bomba P31A PS146A	Switch activo, contacto abierto, por más de 1 seg.	Paro de la bomba P31A, indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	Switch desactivado, contacto cerrado, por más de 1 seg.
Switch de Baja Presión Bomba P31B PS146B	Switch activo, contacto abierto, por más de 1 seg.	Paro de la bomba P31B, indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	Switch desactivado, contacto cerrado, por más de 1 seg.
Switch de Alta Presión Bombas P31A y P31B PS147	Switch activo, contacto abierto, por más de 1 seg.	Paro de las bombas P31A y P31B, indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	Switch desactivado, contacto cerrado, por más de 1 seg.
Switch de Baja Presión Tanques D30's PS115E	Presión en los Tanques D30's menor a 1"H2O	Paro de la bomba P28B, indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	Presión en los Tanques D30's mayor o igual al Setpoint del PID PIC115
Switch para el Comando de la Válvula de Trasiego a Buque Tanque PV1612_CO	Presión en los tanques D30's mayor a 4.75"H2O	Cierre de la válvula de trasiego a buque tanque PV1612, indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	Presión en los Tanques D30's menor o igual al Setpoint del PID PIC115
Switch para el Comando de la Válvula de Descarga a la Atmósfera de los Tanques D30's PV115D_CO	Presión en los tanques D30's mayor a 5"H2O	Apertura de la válvula de descarga a la atmósfera de los tanques D30's PV115D, indicación en la PanelView y en la luz estroboscópica	Presión en los Tanques D30's menor o igual al Setpoint del PID PIC115

**Tabla 2. Fallas Relacionadas con Activación de Switchs**



### 3.2 Arquitectura de control



**Imagen 6. Arquitectura de Control Compresores C3's**

En la imagen [¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.7](#) se muestra la arquitectura de control del sistema de los compresores C3's, la cual cuenta con PLC ControlLogix y una PanelView 1500 Plus conectador por una red Ethernet. Para la implementación de esta arquitectura se cuenta con el siguiente hardware:

- 1 PLC Allen Bradley ControlLogix, procesador ControlLogix5561.
- 1 PanelView 1500 Plus.
- 1 Switch para red Ethernet de 8 puertos.

A continuación se describirá cada uno de los componentes de control del nuevo PLC ControlLogix.

### 3.2.1 Descripción del sistema de PLC de los compresores C3'S

El sistema de PLC de los compresores C3s se compuso por los siguientes componentes:

- CPU: CPU 1756-L61 ControlLogix5561 de 2MBytes de memoria.
- Modulo de Comunicación: Para la conexión del PLC ControlLogix a la red Ethernet se utiliza un modulo 1756-ENBT.
- Tarjeta de Entradas para Termocuplas: Las tarjetas de entrada para termocupla son de referencia 1756-IT6I y cuenta con 6 entradas aisladas para termocuplas. Para este sistema se cuenta con 4 de estas tarjetas.

La cantidad de señales manejadas será la siguiente:

<b>LISTADO DE SEÑALES TARJETA DE ENTRADA TERMOCUPLAS</b>	
Numero de señales	24
Reserva	0
Total	24

**Tabla 3. Listado de Señales de temperatura**

- Tarjetas de Entradas Análogas: La tarjeta de entradas análogas es de referencia 1756-IF16 y cuenta con 16 entradas de un solo terminal, 8 diferenciales o 4 diferenciales de alta velocidad. Puede recibir entradas en voltaje (-10V a 10V, de 0 a 10V o de 0 a 5V) o de corriente (0 a 20 mA) con configuración independiente

para cada entrada. Tienen formato para los datos en entero, con complemento a 2s, o en punto flotante de 32 bit IEEE. Para este sistema se va a utilizar 1 de estas tarjetas con configuración de entradas de un solo terminal, en corriente y con formato de punto flotante.

La cantidad de señales de entrada análogas a manejar será la siguiente:

<b>LISTADO DE SEÑALES AI</b>	
Numero de señales	13
Reserva	03
Total	16

**Tabla 4. Listado de señales análogas de entrada**

- Tarjetas de Salidas Análogas: Las tarjetas de salidas análogas son de referencia 1756-OF8 y cuentan con 8 salidas en voltaje (-10V a 10V) o corriente (0 a 20 mA) con configuración independiente para cada salida. Tienen formato para los datos en entero, con complemento a 2s, o en punto flotante de 32 bit IEEE. Para este nuevo sistema se van a utilizar 1 de estas tarjetas con configuración de salida en corriente y con formato de punto flotante.

La cantidad de señales de salida análogas a manejar será la siguiente:

<b>LISTADO DE SEÑALES AO</b>	
Numero de señales	04
Reserva	04
Total	08

**Tabla 5. Listado de señales análogas de salida**

- Tarjetas de Entradas Digitales: Las tarjetas de entradas digitales son de referencia 1756-IB16D. Módulo de 16 entradas con diagnóstico de 10 a 30 Vdc. Para este sistema se van a utilizar 3 tarjetas de esta referencia.

La cantidad de señales de entradas digitales será la siguiente:

<b>LISTADO DE SEÑALES DI</b>	
Numero de señales	35
Reserva	13
Total	48

**Tabla 6. Listado de señales digitales de entrada**

- Tarjetas de Salidas Digitales: Las tarjetas de salidas digitales son de referencia 1756-OB16D y 1756-OW16I. La primera referencia es un módulo de 16 salidas con diagnóstico de 10 a 30 Vdc y la segunda es un módulo de 16 salidas por relé. Para este sistema se van a utilizar 1 tarjetas de cada referencia.

La cantidad de señales de salidas digitales será la siguiente:

<b>LISTADO DE SEÑALES DO</b>	
Numero de señales	28
Reserva	04
Total	32

**Tabla 7. Listado de señales digitales de salida.**

### 3.2.2 Descripción del Software

A continuación se presenta todo el software utilizado para el desarrollo y marcha del proyecto:

- RSLogix 5000, versión 15.01.00: Se utiliza para la programación del PLC, familia ControlLogix de Allen Bradley.
- RSLinx Lite, versión 2.50: Drive de comunicación entre los PLC's y el software RSLogix5000.
- RSView Studio Machine Edition (ME) 4.00.00 (CPR7): Se utiliza para la programación de las PanelView, familia Plus de Allen Bradley.

### 3.2.3 Red de Comunicación

El sistema cuenta con una red de comunicación EtherNet, la arquitectura se puede observar en la Imagen 6, que cuenta con los dispositivos que se muestran en la tabla 8.

DISPOSITIVO	DIRECCION IP
PLC Compresores C3's	125.0.0.56
PanelView Compresores C3's	125.0.0.57

**Tabla 8. Dispositivos de red Ethernet**

## 4 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

La realización de este proyecto se justifica teniendo en cuenta aspectos ambientales, sociales y económicos. Para efectos de este trabajo nos centraremos en el aspecto económico determinando las pérdidas por concepto de una baja producción de la planta de amoniaco a causa de una falla en el sistema de control neumático.

Desde 1963 la producción y almacenamiento de Amoniaco ha sido una constante utilizando los tanques D-30 y su sistema de control neumático, desde entonces se ha presentado algunos inconvenientes en el sistema de control los cuales se reflejaron en bajada de carga no programadas y venteos de amoniaco a la atmosfera en momentos donde no fue posible controlar el sistema. Uno de los

inconvenientes del sistema de control actual hace referencia a la falta de información al momento de presentarse una falla, el sistema actual no cuenta con facilidades que permita visualizar y determinar fácilmente donde ocurrió la falla, guardar históricos de los eventos ocurridos entre otros.

Se realizó un análisis de las fallas del sistema de control en los últimos cuatro años teniendo cuenta los costos asociados a una baja producción en la planta de amoniaco, estos oscilan alrededor de \$ 37.000.000 día, \$ 1.541.667 hora, a continuación se relacionan algunos antecedentes de fallas en el sistema neumático.

#### 4.1 Antecedentes de fallas en el sistema neumático de los compresores c3's

AÑO	HORAS	VALOR HORA	TOTAL
2011	4	\$ 1.500.000	\$ 6.000.000
	6	\$ 1.500.000	\$ 9.000.000
	16	\$ 1.500.000	\$ 24.000.000
	3	\$ 1.500.000	\$ 4.500.000
	4	\$ 1.500.000	\$ 6.000.000
	8	\$ 1.500.000	\$ 12.000.000
	5	\$ 1.500.000	\$ 7.500.000
	3	\$ 1.500.000	\$ 4.500.000
TOTAL			<b>73.500.000</b>

**Tabla 9. Relación de costos por falla del año 2011**

AÑO	HORAS	VALOR HORA	TOTAL
2012	3	\$ 1.500.000	\$ 4.500.000
	3	\$ 1.500.000	\$ 4.500.000
	8	\$ 1.500.000	\$ 12.000.000
	2	\$ 1.500.000	\$ 3.000.000
	6	\$ 1.500.000	\$ 9.000.000
	2	\$ 1.500.000	\$ 3.000.000
TOTAL			<b>36.000.000</b>

**Tabla 10. Relación de costos por falla del año 2012**

AÑO	HORAS	VALOR HORA	TOTAL
-----	-------	------------	-------

2013	12	\$ 1.500.000	\$ 18.000.000
	8	\$ 1.500.000	\$ 12.000.000
	8	\$ 1.500.000	\$ 12.000.000
	4	\$ 1.500.000	\$ 6.000.000
TOTAL			<b>48.000.000</b>

**Tabla 11. Relación de costos por falla del 2013.**

AÑO	HORAS	VALOR HORA	TOTAL
2014	4	\$ 1.500.000	\$ 6.000.000
	3	\$ 1.500.000	\$ 4.500.000
	8	\$ 1.500.000	\$ 12.000.000
	6	\$ 1.500.000	\$ 9.000.000
TOTAL			<b>31.500.000</b>

**Tabla 12. Relación de costos por falla del año 2014.**

DESCRIPCIÓN	N° FALLAS PRESENTADAS					TOTAL
	2010	2011	2012	2013	2014	
Falla en el sistema de control neumático de los compresores c3 S		8	6	4	3	
COSTOS	56.700.000	73.500.000	36.000.000	48.000.000	31.500.000	<b>245.700.000</b>

**Tabla 13. Resumen de costos por falla total en los últimos 4 años.**

#### 4.2 Presupuesto para la implementación de un sistema de control electrónico

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR	TOTAL
<i>MATERIALES</i>				
Transmisores de presión, ABB rango de 10 a - 10in H2O	U	2	\$ 2.800.000	\$ 5.600.000
Transmisores de presión, ABB rango máximo 400 PSI	U	1	\$ 6.000.000	\$ 6.000.000
Gabinete galvanizado 90cmX70cmX20	U	1	\$ 800.000	\$ 800.000
Cable 2x16 Apantallado(Instrumentación)	m	800	\$ 2.000	\$ 1.600.000
CPU 1756-Control Logix5561	U	1	\$ 5.596.000	\$ 5.596.000
PLC Allen Bradley modelo control logix 1756-I61 (Procesador)	U	1	\$ 6.000.000	\$ 16.000.000

Tarjeta de Comunicación 1756-ENBT	U	1	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000
Módulo de entrada de Termocuplas 24 entradas ref 1756-IT6I	U	4	\$ 2.100.000	\$ 8.400.000
Módulo de entrada Análoga ref 1756-IF16	U	1	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000
Módulo de salida Análoga ref 1756-OF8	U	1	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000
Módulo de entrada Digitales ref 1756-IB16D	U	3	\$ 1.800.000	\$ 5.400.000
Módulo de salidas Digitales ref 1756-OB16D 16 con diagnostico 10 a 30 Vdc	U	1	\$ .800.000	\$ 1.800.000
Módulo de salidas Digitales ref 1756-OW16I 16 con salida por relé	U	1	\$ 1.800.001	\$ 1.800.001
Fuente de alimentación para señales análogas 5A Marca Phoenixcontac	U	1	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000
Panel View Allen Bradley	U	1	\$ 6.632.000	\$ 16.632.000
Electrovalvulas 3/a"	U	18	\$ 150.000	\$ 2.700.000
Sirena con luz estroboscópica	U	1	\$ 700000	\$ 700.000
Coraza liquid Tight 3/4"	m	10	\$ 4.000	\$ 40.000
Prensaestopas 3/4	U	10	\$ 9.000	\$ 90.000
Conector Liquid Tight 3/4	U	6	\$ 3.000	\$ 18.000
Conector Recto 3/4"	U	6	\$ 3.000	\$ 18.000
Conector Curvo 3/4"	U	6	\$ 6.000	\$ 36.000
Tubería Galvanizada 3/4"	U	70	\$ 26.000	\$ 1.820.000
Tubin 1/4"	m	50	\$ 18.000	\$ 900.000
Tubo Galvanizado 1-1/2"	U	6	\$ 60.000	\$ 360.000
Tubo Galvanizado 1"	U	11	\$ 42.000	\$ 462.000
Tubo Galvanizado 1/2"	U	17	\$ 22.800	\$ 387.600
Conduleta LB 3/4"	U	10	\$ 26.000	\$ 260.000
Uniones Universales 3/4"	U	30	\$ 22.000	\$ 660.000
Hub 3/4"	U	6	\$ 18.000	\$ 108.000
<i>MANO DE OBRA</i>				
Mano de obra general	GLB	1	\$ 2.000.000	\$ 22.000.000



Programación de PLC	U	1	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000
Ingeniería de Detalle	GLB	1	\$ 2.800.000	\$ 12.800.000
TOTAL COSTO DIRECTO				\$ 23.887.601
IMPREVISTOS				2% \$ 2.477.752
I.V.A				16% \$ 19.822.016
VALOR TOTAL DE LA COTIZACIÓN				<b>\$ 146.187.369</b>

**Tabla 14. Presupuesto de la implementación del proyecto**

#### 4.3 Calculo del tir (tasa interna de retorno)

PERIODO	FLUJO DE FONDOS
<b>0</b>	\$ -146.187.369
<b>1</b>	\$ 73.500.000
<b>2</b>	\$ 36.000.000
<b>3</b>	\$ 48.000.000
<b>4</b>	\$ 31.500.000
<b>5</b>	\$ 73.500.000
TIR	<b>24%</b>

**Tabla 15. Calculo del TIR**

## CONCLUSIONES

- ✓ La implementación de un sistema de control electrónico para el control de las presiones en los tanques D-30's es sumamente rentable ya que la inversión realizada se recupera en 3 años.
- ✓ La implementación del control electrónico aumenta la confiabilidad del sistema ya que se podrá implementar sistemas redundantes de medición y control más fácilmente.
- ✓ Con la implementación del sistema de control electrónico se podrá monitorear con un mayor detalle las tendencias del proceso y se detectaran las fallas rápidamente.

## **BIBLIOGRAFIA**

- MANUAL DE USUARIO SISTEMA DE CONTROL DE PRESION D-30'S Y D-50, COMPRESORES C3'S – DERECHOS ABOCOL S.A.
- SISTEMA DE CONTROL COMPRESORES C3 PLANTA DE AMONIACO – DERECHOS OMNICON/ABOCOL S.A.
- DIAGRAMAS Y P&ID SUMINISTRADOS POR ABOCOL S.A. CON FINES ACADEMICOS.