



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“AUTOMATIZACIÓN DE COMPRESORES DE AMONIACO
EN LA PLANTA LINDE ECUADOR S.A. PARA OPTIMIZAR
EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CO₂”**

Autor:

Tipán Solá Diego Leonardo

Tutor:

MSc. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate

Latacunga – Ecuador

Julio, 2017



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el postulante: **Diego Leonardo Tipán Solá** con el título de Proyecto de Investigación: “**AUTOMATIZACIÓN DE COMPRESORES DE AMONIACO EN LA PLANTA LINDE ECUADOR S.A. PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CO₂**” ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, julio de 2017

Para constancia firman:

.....

MSc. Xavier Espín

C. I. 050226936 – 8

LECTOR 1

.....

MSc. Cristian Eugenio

C.I. 172372747-3

LECTOR 2

.....

MSc. Marcelo Tello

C. I. 050151855 – 9

LECTOR 3



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Industrial

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Director del Trabajo de Investigación sobre el tema:

“AUTOMATIZACIÓN DE COMPRESORES DE AMONIACO EN LA PLANTA LINDE ECUADOR S.A. PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CO₂”, de DIEGO LEONARDO TIPÁN SOLÁ, de la carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, julio, 2017

MSc. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate

C. I. 0503257404



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **DIEGO LEONARDO TIPÁN SOLÁ** declaro ser autor del presente proyecto de investigación: “AUTOMATIZACIÓN DE COMPRESORES DE AMONIACO EN LA PLANTA LINDE ECUADOR S.A. PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CO₂”, siendo Ángel Guillermo Hidalgo Oñate director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Diego Leonardo Tipán Solá

C.I. 171397786 - 4

Machachi, 16 de junio de 2017

CERTIFICADO

De mi consideración.

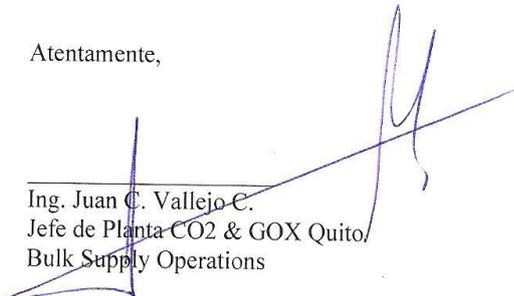
Por la presente informo que el proyecto de investigación tecnológica que tiene por tema:

“AUTOMATIZACIÓN DE COMPRESORES DE AMONIACO EN LA PLANTA DE LINDE ECUADOR S.A. PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CO₂.”

Ejecutado por DIEGO LEONARDO TIPÁN SOLÁ con C.I.: 1713977864, que cursa 10mo nivel de la carrera de Ingeniería Industrial, se encuentra **CONCLUIDO**, lo hemos recibido a conformidad con los parámetros técnicos y de producción planteados en la planificación.

Es cuanto podemos certificar para su registro y trámite pertinente.

Atentamente,


Ing. Juan C. Vallejo C.
Jefe de Planta CO₂ & GOX Quito,
Bulk Supply Operations

Linde Ecuador S.A
Sillunchi - Machachi - Ecuador.
Tel: (+593)23672269 Ext. 8400,
Cel (+593)997548624 / (+593)984139086
juan.carlos.vallejo@linde.com | www.linde.com

THE LINDE GROUP
Linde
LINDE PLANTA CO₂

AGRADECIMIENTO

A la empresa Linde Ecuador S.A. a sus gerencias y jefaturas por la confianza brindada a mi persona, para la realización de mis metas profesionales y crecimiento dentro de estos años de labor mancomunada, en especial mención al Ing. Diego Carpio y al Ing. Juan Carlos Vallejo.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, por los conocimientos brindados y por el apoyo en mención especial al MSc. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate.

Diego

DEDICATORIA

Andrea, por creer en mí y ser mi fortaleza, recuerda:

“Detrás del éxito de un hombre siempre está una gran mujer”

Diego

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	iv
CERTIFICADO DE IMPLEMENTACIÓN	v
AGRADECIMIENTO	vi
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	vii
DEDICATORIA.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xv
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. RESUMEN DEL PROYECTO	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	4
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:.....	5
6. OBJETIVOS.....	6
Objetivo general	6
Objetivos específicos	6
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	7
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	8
Refrigeración por adsorción	8
Amoniaco (NH ₃) y sus aplicaciones	9
Refrigeración con amoniaco	10
Producción de CO ₂ en la Planta Linde Ecuador S.A.	12
Compresores de amoniaco.....	13
Tipos de compresores	14
Compresor Reciprocante	14
Compresores Vilter.....	15
Compresor Vilter 450 XL.....	15

Definiciones.....	16
Presión	16
Presión de un gas	16
Presión manométrica	17
Presión de alta.....	18
Presión de succión	18
Temperatura.....	18
Energía.....	19
Punto de ebullición	19
Tonelada de refrigeración.....	20
Refrigerante manejado.....	20
Trabajo de compresión	20
Automatización.....	20
Objetivos de automatizar	21
Instrumentación	21
9. PREGUNTA CIENTÍFICA O HIPÓTESIS	22
10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	23
Situación actual compresores Vilter	23
Levantamiento técnico de compresores Vilter de Planta CO ₂ de Linde Ecuador S.A.	24
Propuesta de optimización de compresores Vilter	29
Estudio preliminar de la situación actual y análisis de parámetros críticos de los compresores.	30
Presión de succión	32
Presión de descarga	32
Temperatura de descarga	32
Presión del cárter	32
Temperatura del cárter.....	33
Temperatura de succión.....	33
Listado de instrumentación necesaria para monitoreo de las variables analizadas y seleccionadas para la automatización.	34
Elementos necesarios para que la instrumentación tenga una correcta ubicación y montaje...	35
Revisión y actualización de los circuitos de fuerza y control en los sistemas eléctricos, levantamiento de plano.....	38
Provisión de un tablero para la ubicación de una pantalla local que permita la supervisión de los sistemas de compresores, alojamiento del PLC y módulos necesarios para el sistema.....	39

Cambio de elementos actuales y montaje de instrumentos nuevos como transmisores de presión y temperatura, para completo monitoreo y control.....	39
Equipos de control.....	40
Transmisores de presión - Safe gauge	40
RTD (PT100 – Watlow)	41
Fuente de poder	42
Módulo de entradas analógicas SM 1231.....	43
Módulo de entradas analógicas para RTD's.....	44
PLC.....	45
HMI local (interfaz hombre máquina).....	46
Arquitectura del nuevo sistema	47
Diseño de software	48
Entradas análogas y digitales usadas del PLC en automatización propuesto para compresores Vilter.....	48
Lógica de control de compresores Vilter de NH3	53
Arranque de compresores de NH3	53
Botón de emergencia	53
Control de capacidad de NH3.....	54
Trips de seguridad (Alarmas programadas).....	54
Trips de seguridad de compresores Vilter	56
11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	58
12. IMPACTOS	65
Técnicos.....	65
Social	65
Ambiental	65
Económicos	65
13. PRESUPUESTO.....	66
14. CONCLUSIONES.....	67
15. RECOMENDACIONES	67
16. BIBLIOGRAFIA	69
Bibliografía citada y consultada.	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de involucrados	4
Tabla 2. Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados	7
Tabla 3. Principales propiedades del amoniaco.....	10
Tabla 4. Equivalencias de unidades de presión	18
Tabla 5. Variables que se puede medir.....	22
Tabla 6. Ficha técnica compresor Vilter 1A.....	25
Tabla 7. Ficha técnica compresor Vilter 1B	26
Tabla 8. Ficha técnica compresor Vilter 2A.....	27
Tabla 9. Ficha técnica compresor Vilter 2B	28
Tabla 10. Instrumentación para monitoreo de variables.....	34
Tabla 11. Elementos a utilizarse en automatización y su funcionalidad.....	36
Tabla 12. Características de Transmisores de presión - Safe gauge.....	40
Tabla 13. RTD (PT100- Watlow).....	41
Tabla 14. Fuente de poder	42
Tabla 15. Módulo de entradas analógicas SM 1231.....	43
Tabla 16. Módulo de entradas analógicas para RTD's.....	44
Tabla 17. PLC S7-1200, CPU1214C.....	45
Tabla 18. Características de HMI LOCAL KTP 1000 PN	46
Tabla 19. Entradas análogas para presión	49
Tabla 20. Entradas análogas para temperatura	50
Tabla 21. Entradas digitales del PLC	51
Tabla 22. Salidas digitales del PLC.....	52
Tabla 23. Trips de seguridad en compresores Vilter	57
Tabla 24. Presupuesto.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Adsorción en intercambiadores CO ₂ – NH ₃	9
Figura 2. Flujograma de Producción de CO ₂	13
Figura 3. Compresor Vilter 450XL	16
Figura 4. Tipos de Presiones.....	17
Figura 5. Escala de temperaturas	19
Figura 6. Compresores Vilter Existentes	24
Figura 7. Compresor Vilter 1A.....	25
Figura 8. Compresor Vilter 1B	26
Figura 9. Compresor Vilter 2A.....	27
Figura 10. Compresor Vilter 2B	28
Figura 11. Reporte diario de lecturas en refrigeración.	31
Figura 12. Presión – temperatura en refrigerantes.....	33
Figura 13. Ubicación de manómetros en compresor Vilter.....	36
Figura 14. Transmisores de presión - Safe gauge.....	40
Figura 15. RTD (PT100- Watlow)	41
Figura 16. Fuente de poder	42
Figura 17. Módulo de entradas analógicas SM 1231	43
Figura 18. Módulo de entradas analógicas para RTD´s	44
Figura 19. PLC S7-1200, CPU1214C	45
Figura 20. HMI LOCAL KTP 1000 PN	47
Figura 21. Arquitectura del nuevo sistema.....	48
Figura 22. Programación de pulsador de emergencia.....	53
Figura 23. Programación de trips o alarmas	54
Figura 24. Lógica de programación variables	55
Figura 25. Lógica de programación check list de condicionales.....	56
Figura 26. Producción de planta en 2015	58
Figura 27. Producción de planta en 2016	59
Figura 28. Producción de planta en 2017	59
Figura 29. Producción junio 2017:	60
Figura 30. Gráfico de producción junio 2017.....	61
Figura 31. Listado de facturas de gasto en sistema de amoniaco en 2015	61
Figura 32. Listado de facturas de gasto en sistema de amoniaco en 2016	62
Figura 33. Horas de parada en el año 2015	63
Figura 34. Horas de parada en el año 2016	64

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “AUTOMATIZACIÓN DE COMPRESORES DE AMONIACO EN LA PLANTA LINDE ECUADOR S.A. PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CO₂”

Autor: Diego Leonardo Tipán Solá

RESUMEN

El dióxido de carbono como producto final se aplica en la elaboración de bebidas carbonatadas siendo esta la aplicación con mayor demanda, sin dejar de mencionar el campo medicinal, agrícola, alimenticio, cadenas de frío entre otras aplicaciones industriales.

Se realizó la automatización para monitoreo y operación de los compresores reciprocantes de amoniaco de marca VILTER, los que comprimen el amoniaco que es utilizado en la refrigeración y licuefacción del dióxido de carbono que se produce en estado sólido y líquido en la planta de producción de propiedad de la multinacional Linde.

Se seleccionó e instaló instrumentación industrial como sensores, transductores e indicadores con la comunicación adecuada para trasladar datos a un HMI local o integrado para lograr el control operacional de esta manera modernizar y actualizar los elementos controladores de las máquinas.

Se automatizó para monitorear estos compresores en valores de presión, temperatura y otros parámetros que trabajan dentro de rangos preestablecidos, de esta manera, se controla su correcto funcionamiento y así se evita posibles fallas o daños en los equipos, asegurando la protección de las personas y sin afectar al medio ambiente.

El amoniaco es parte del proceso de refrigeración en la producción de CO₂, este logra la licuefacción del CO₂ que en estado gaseoso está a temperatura ambiente 20°C, y el amoniaco en el rango de -16 a -32°C, ese choque térmico entre los dos compuestos dentro de intercambiadores de calor produce el CO₂ en estado líquido para posteriormente almacenarlo.

Palabras clave: Dióxido de carbono, compresores reciprocantes, amoniaco, automatización, instrumentación.

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

SCIENCE AND ENGINEERING APPLIED ACADEMIC UNIT

TOPIC: "AUTOMATION OF AMONIACO COMPRESSORS IN THE LINDE ECUADOR S.A. PLANT TO OPTIMIZE THE CO₂ PRODUCTION PROCESS"

Author: Tipán Solá Diego Leonardo

ABSTRACT

Carbon dioxide as the final product is applied in the preparation of carbonated drinks being the most demanded application, not to mention the medical field, agricultural, food, cold chains and other industrial applications.

Automation was performed for the monitoring and operation of VILTER reciprocants ammonia compressors, which compress the ammonia used in cooling and liquefying of carbon dioxide produced in solid and liquid state in the production plant owned by the multinational Linde.

Industrial instrumentation was selected and installed as sensors, transducers and indicators with appropriate communication to transfer data to a local HMI or integrated to achieve operational control in this way to modernize and update the control elements of the machines.

It was automated to monitor these compressors in pressure, temperature and other parameters that work within preset ranges, in this way, its correct operation is controlled and thus it avoids possible failures or damages in the equipment, ensuring the protection of the people and without affecting the environment.

Ammonia is part of the refrigeration process in the production of CO₂, this achieves the liquefaction of CO₂ which in the gaseous state is at room temperature 20 ° C, and ammonia in the range of -16 to -32 ° C, that thermal shock between the two compounds inside heat exchangers produces the CO₂ in the liquid state for later storage.

Key words: Carbon dioxide, reciprocants compressors, ammonia, automation, instrumentation.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la Carrera de Ingeniería Industrial: TIPÁN SOLÁ DIEGO LEONARDO, cuyo título versa: **“AUTOMATIZACIÓN DE COMPRESORES DE AMONIACO EN LA PLANTA DE LINDE ECUADOR S.A. PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CO₂”** lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente.

Latacunga, julio 2017

Atentamente,

Lic. Jose Ignacio Andrade
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.I. 0503101040

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“Automatización de compresores de amoniaco en la planta Linde Ecuador S.A. para optimizar el proceso de producción de CO₂.”

Fecha de inicio:

Julio de 2016

Fecha de finalización:

Julio 2017

Lugar de ejecución:

Planta de CO₂, Linde Ecuador S.A.

Unidad Académica que auspicia:

Unidad académica de ciencias de la ingeniería y aplicadas (CIYA)

Carrera que auspicia:

Ingeniería Industrial

Equipo de Trabajo:**DATOS PERSONALES:**

Nombre:	Ángel Guillermo Hidalgo Oñate
Documento de identidad:	0503257404
Fecha de nacimiento:	04/06/1988
Estado Civil:	Soltero
Dirección:	Saquisilí, Barrio Mariscal Sucre Occidental s/n.
E-mail:	angel.hidalgo@utc.edu.ec
Teléfonos:	0998536700 – 032721576 - 032721934

DATOS PERSONALES:

Nombre: Diego Leonardo Tipán Solá
Fecha de nacimiento: 05 de junio de 1982
Estado Civil: Casado
Dirección: Quitumbe, Quito
E-mail: diego_leoth@hotmail.com
Teléfonos: 0987024065// 0994502048

Área de Conocimiento:

El área de conocimiento en que se sustentará este trabajo de titulación obedece a las ramas del saber sobre Automatización y Control de Procesos Productivos, rama de la profesión que hará los aportes fundamentales para el desarrollo de este proyecto.

Línea de investigación:

El proyecto se enmarca en la línea de investigación de Automatización Industrial y Gestión Empresarial, específicamente para dar solución a problemas de Automatización de Procesos.

2. RESUMEN DEL PROYECTO

La planta de producción de CO₂ Linde Ecuador S.A., utiliza procesos de refrigeración con R717 (Amoniaco), en donde las operaciones de los compresores de amoniaco cumplen la función de abastecer amoniaco comprimido a intercambiadores de calor para que por adsorción se produzca la licuefacción, es decir, convertir en líquido al CO₂ y así almacenarlo. El monitoreo, operación y control de este proceso se lo realiza de forma manual, por este motivo, los reportes no son confiables; no existe un registro de fallas de equipos y lo que es peor, si existe alguna desviación en algún parámetro, no se lo conoce a tiempo, pudiendo ocasionar una falla catastrófica en los compresores y generando grandes gastos de reparación no previstos. Otro potencial problema es la elevación de la presión en el sistema, cuando algún parámetro opera fuera del rango establecido. Si esto no se corrige pronto, la producción disminuye hasta que se restablezcan las condiciones normales. Por lo tanto, el propósito de este proyecto es mejorar el proceso productivo actual, mediante la automatización en la operación de los compresores de amoniaco que permitan obtener resultados medibles con indicadores de mantenimiento, eficiencia y productividad.

Este proceso se inicia con el levantamiento de información necesaria sobre las áreas productivas, los equipos de refrigeración de la planta, información teórica de la producción de dióxido de carbono y sus procesos de refrigeración por amoníaco.

Es importante tomar en cuenta los estándares que norman a este tipo de proyectos, para evaluar la información necesaria que respalde la implementación de instrumentación en los compresores de amoníaco.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La planta de CO₂ Linde Ecuador S.A. tiene como parte esencial de su producción el sistema de refrigeración con amoníaco, donde la función de los compresores reciprocantes Vilter, es elevar el volumen y la presión del NH₃ para enviarlo a baja temperatura a los intercambiadores de calor que luego licúan el CO₂. Estos compresores requieren del seguimiento de procedimientos, protocolos, tiempos y supervisión por parte de operadores para su funcionamiento eficaz. El actual monitoreo de los compresores no es la mejor forma supervisar este tipo de máquinas, porque suelen fallar cuando algún elemento interno está dañado, o se observa elevación de temperaturas y presiones en todo el sistema de producción. Esto ocasiona paradas inesperadas en las que se tiene que revisar prácticamente todo el sistema hasta detectar la falla que originó las desviaciones. Además, ocasiona fugas o pérdidas de amoníaco que contaminarían el ambiente y adicionalmente causa daño a los operadores ya que el amoníaco es un gas muy peligroso, tóxico y corrosivo que debe estar completamente controlado. Con estos problemas también se ocasiona que la producción disminuya en un rango de 1000 a 2000 kg dependiendo del problema, lo cual significa una pérdida de producto.

La presión de succión, presión de descarga, temperatura de succión y descarga, temperatura del cárter son variables físicas que se miden actualmente con instrumentos análogos locales, estos registros manuales son poco confiables ya que el operador es propenso a cometer errores. Este proyecto optimizará los procesos de producción y el registro de las variables para el monitoreo y predicción de problemas en funcionamiento, con el fin de cuidar los activos de la empresa, cuidar el medio ambiente y a las personas, mediante la automatización del control de los compresores. Se permitirá obtener datos confiables que se analicen, se traten técnicamente y que mejoren el proceso productivo actual, para hacer con ello un seguimiento de indicadores con resultados medibles, por ejemplo, indicadores de mantenimiento, eficiencia y productividad.

Matriz de involucrados:

Tabla 1. Matriz de involucrados

Involucrados directos	Impacto	Responsabilidades
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	Desarrollo y asesoría de tema de investigación tecnológico y de establecimiento de relaciones con empresa privada.	Revisión, asesoría, seguimiento durante el proceso de ejecución acorde a normativa técnica interna.
LINDE ECUADOR S.A.	Mejora de proceso productivo actual, resultados medibles en indicadores de mantenimiento, eficiencia y productividad.	Auspicio para la inversión en desarrollo de proyecto, implementación, evaluación, resultados visibles.
DIEGO TIPÁN SOLÁ	Desarrollo y ejecución de proyecto de eficiencia tecnológica para crecimiento personal y profesional, previo a la obtención de titulación.	Ejecución de proyecto acorde a lineamientos y estándares estudiantiles y productivos propios de la empresa privada.

Elaborado por: (Tipán, 2017)

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Los beneficiarios directos son la Planta de CO₂ de Linde Ecuador S.A. en la optimización de su proceso productivo y el estudiante para su obtención de titulación.

Una vez concluido el proyecto se medirá la rentabilidad, en cuanto a beneficios productivos y por lo tanto económicos con lo que se podrá cuantificar los incrementos en temas de cantidades de producción y disminución de mantenimientos correctivos, así como beneficio principal de un sistema de seguimiento y control con tendencias que permitan tomar decisiones anticipadas y total administración tanto en funcionamiento como en mantenimiento.

Indirectamente también se beneficiará a los clientes de Linde Ecuador S.A. ya que tendrán un producto con mayor disponibilidad dentro de los parámetros de calidad que exige el mercado actual.

5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:

Actualmente la planta de CO₂ de Linde Ecuador S.A., tiene compresores reciprocantes para la producción de gas, que se encargan de la compresión del amoníaco, que por adsorción luego transforma en líquido al CO₂. Los compresores no disponen de instrumentación adecuada para su monitoreo y control. El seguimiento de los parámetros de funcionamiento como presión, temperatura de succión y descarga es netamente manual, y por ende es una debilidad porque ha generado fallas, daños, gastos de mantenimiento, pérdida de producción. Existe una oportunidad de mejora, ya que se pretende automatizar para tener un proceso completamente controlado y con trazabilidad.

Adicionalmente, existen diversas máquinas en la planta como compresores de CO₂ o prensadoras de hielo seco que ya se han automatizado y con instrumentos de diferentes variables medibles, se ha logrado establecer sistemas confiables y con registros que han permitido la optimización en los procesos productivos.

Se evidencia en adquisiciones que se ha hecho de compresores nuevos de CO₂, que sirven para comprimir el gas y luego enviarlo al proceso de adsorción en conjunto con el amoníaco, que estos nuevos equipos ya incluyen la instrumentación necesaria, por lo que se tiene una mejor experiencia en funcionamiento, operación y mantenimiento.

Como referencia se ha considerado, el estudio realizado de análisis de las causas y efectos de la avería de compresor de amoníaco en frigorífico de la ciudad de Cienfuegos (R. Goytisoló Espinosa, 2002), ya que este estudio determinó las causas de la avería de la cámara de agua del enfriamiento del compresor, este tema se considerará para sustentar a este proyecto como un antecedente sobre los problemas que causaría si el amoníaco se mezcla con otros componentes y dará ciertos lineamientos en los parámetros a tomar en cuenta para la automatización y evitar que en determinados procesos se puedan mezclar ciertos componentes.

Se toma además como referencia el proyecto de análisis del comportamiento de la capacidad frigorífica en compresores herméticos realizado en Cuba (K. Arencibia Avila, 2004), en el cual se estudió el funcionamiento de tres tipos de compresores en diferentes condiciones ambientales debido a que se tiene un alto índice de roturas de los compresores y se estableció las características y procesos técnicos de instrumentación que deben seguir para evitar estas rupturas.

6. OBJETIVOS

Objetivo general

Automatizar la operación de los compresores de amoníaco en la planta de CO₂ de Linde Ecuador S.A., para la optimización del proceso productivo de dióxido de carbono, implementando instrumentación, control y visualización con sistemas de interfaz hombre-máquina que permitan un control eficiente en la prevención y predicción de problemas de mantenimiento y operación de estas máquinas.

Objetivos específicos

- Investigar y recopilar información sobre automatización, amoníaco, compresores, mediante el análisis en fuentes bibliográficas y proyectos afines que permitan tener una base conceptual y práctica de cómo realizar una automatización efectiva.
- Analizar y luego evaluar el proceso de refrigeración por amoníaco que se utiliza en la producción de dióxido de carbono para definir cuáles son las variables más importantes en funcionamiento y así definir los puntos y los instrumentos a instalar para tener un control automático.
- Implementar los instrumentos y los controles adecuados, como alarmas de parada de equipos, que eviten daños de cualquier tipo a los compresores del proceso, para poder tener un monitoreo y seguimiento que permita tener un mantenimiento predictivo y así aumentar la confiabilidad de los equipos, proteger a los operadores y al medio ambiente.
- Evaluar los resultados obtenidos con la implementación de la instrumentación y control en la operación de los compresores de amoníaco.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 2. Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados

	Actividad (tareas)	Resultado de la actividad	Medios de Verificación
Objetivo 1	Investigar y recopilar información sobre automatización, amoniaco, compresores, mediante el análisis en fuentes bibliográficas	Se recopiló valiosa información para las partes interesadas, acerca de los compresores y los procesos investigados.	Proyecto de investigación y memorias técnicas entregadas, planos, diagramas.
Objetivo 2	Analizar y luego evaluar el proceso de refrigeración por amoniaco que se utiliza en la producción de dióxido de carbono para definir cuáles son las variables más importantes en funcionamiento	Se definió las variables a las cuales se les va a controlar con la automatización.	Arquitectura del proyecto. Reportes de producción y refrigeración diarios de Planta CO ₂ .
Objetivo 3	Instalar los instrumentos y los controles adecuados, como alarmas de parada de equipos, que eviten daños de cualquier tipo a los compresores del proceso.	Se instaló los instrumentos definidos en arquitectura del sistema, se programó las alarmas de control del proceso automatizado.	Implementado en máquinas, reportes de mantenimiento, planos, cotizaciones con proveedores y adquisiciones.

Objetivo 4	Evaluar los resultados obtenidos con la implementación de la instrumentación y control de la operación de los compresores de amoníaco Vilter.	Se desarrolló un EMOC (cambios de ingeniería) con resultados medibles como disminución de paradas de planta por mantenimiento y se obtiene aumento en la producción diaria, lo cual se refleja en rentabilidad económica.	Base de datos electrónica EMOC de Linde Group, reportes de mantenimiento y de producción de Planta, presentación de resultados a comité gerencial local.
-------------------	---	---	--

Elaborado por: (Tipán, 2017)

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

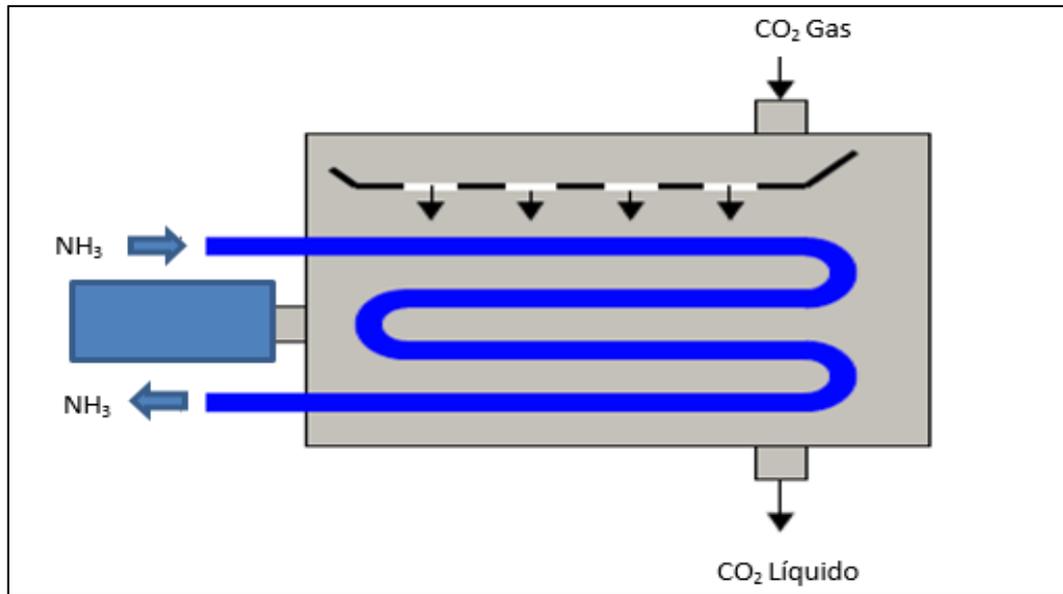
Refrigeración por adsorción

La adsorción está identificada como el efecto contrario a la absorción que cuando entra en contacto un elemento con otro estos se fusionan y se mezclan entre sí, en la adsorción en cambio no se fusiona es decir se contactan, pero no se mezclan. (Ignacio Tuñón, 2010)

Si sobre una superficie sólida golpean moléculas de gas, estas pueden quedarse fijadas o rebotar, este efecto es la adsorción. En el caso en que se queden fijadas las moléculas sobre la superficie puede ocurrir que las moléculas se muevan (difundirse), queden quietas, pero también pueden reaccionar químicamente o mezclarse en disolución dentro de la superficie sólida, esto último sería la absorción (fenómeno contrario a la adsorción del cual existen sin número de ejemplos como el simple hecho de preparar una bebida carbonatada o una taza de café caliente). (Ignacio Tuñón, 2010)

En la industria de la refrigeración muchos de sus condensadores o intercambiadores de calor de amoníaco presentan este efecto de adsorción ya que en el recipiente o carcasa se inunda un fluido o gas por ejemplo CO_2 y por los tubos internos se hace circular otro fluido, en sentido contrario por ejemplo NH_3 de manera que los dos no tengan contacto, pero se produzca un choque térmico que cambie las propiedades del gas o fluido y lo lleve a otro estado, sobre las superficies sólidas en este caso los tubos se da el efecto de la adsorción.

Figura 1. Adsorción en intercambiadores $\text{CO}_2 - \text{NH}_3$



Elaborado por: (Tipán, 2017)

Amoniaco (NH_3) y sus aplicaciones

El amoníaco no es un veneno concentrado, pero sí es una sustancia tóxica relativamente, en el agua, es altamente soluble y al mezclarse con ella se produce el hidróxido de amonio (NH_4OH) conocido como agua amoniacal que se utiliza como agente limpiador doméstico. (REFRISA, 2009, Cevallos Salvador, Nov 2009)

Uno de los procesos más conocidos de producción de NH_3 es el proceso de Haber Bosch (Bencic, 2001) aplicando presión y temperatura al combinar gases libres de nitrógeno e hidrógeno con la presencia de un catalizador.

A presión y temperatura normales, es decir, a unos $20\text{ }^\circ\text{C}$ en temperatura y aproximadamente de 10 a 15 psi de presión, el amoníaco es un gas incoloro, que está compuesto por 1 parte de nitrógeno y 3 partes de hidrógeno. Tiene olor penetrante y pungente que es fácilmente detectable, sirviendo de alarma cuando existe fugas, es menos denso que el aire.

Si está libre de agua es decir con una concentración de humedad igual a 0 ppm (partículas por millón) es su forma pura y se conoce como amoníaco anhidro, y se lo utiliza desde el siglo XIX como refrigerante industrial. (Contardo Jimenez, 2016)

Tabla 3. Principales propiedades del amoníaco

Símbolo molecular	NH ₃
Peso molecular	17.03 kg/mol
Punto de ebullición a una atmósfera	-28°F
Punto de congelación a una atmósfera	-107,9°F
Calor latente de vaporización (a 70°F)	508,6 BTH/L
Densidad del vapor a 32°F y una atmósfera	0,597 Lb/gl
Densidad de líquido a 70°F	5,08 Lb/gl

Fuente: (REFRISA, 2009, Cevallos Salvador)

El Departamento de Transportación de USA (DOT), ha clasificado al amoníaco como gas no inflamable por lo que no necesitan equipo adicional de control de presión, y sus recipientes son de capacidad menor o igual a 165 libras. La inflamabilidad de amoníaco anhidro está limitada ya que su componente nitrógeno es un gas inerte por lo tanto no reacciona ante una combustión.

Según la guía del Ing. Rodrigo Cevallos se necesita entre el 16% al 25% de amoníaco contenido en el aire para que exista inflamación a presión atmosférica. El riesgo de explosión e incendio se ve reducido por el bajo calor de combustión y la baja capacidad de inflamación del amoníaco.

La NFPA (Asociación Nacional de Protección de Fuego de USA) únicamente ha registrado 36 incidentes durante 40 años en los que tengan que ver con amoníaco y solo 28 de ellos resultaron en una combinación para combustión y explosión con otras sustancias. (REFRISA, 2009, Cevallos Salvador)

Refrigeración con amoníaco

Junto con el agua, el aire, el CO₂ y los hidrocarburos como el propano, el amoníaco pertenece a los llamados refrigerantes naturales, estos son eficientes y tienen un costo de mantenimiento bastante bajo, están disponibles en grandes cantidades y su costo comercial tampoco es alto.

Actualmente, el amoníaco es uno de los refrigerantes industriales más utilizados, es muy frecuente encontrar instalaciones con este refrigerante, por sus propiedades y capacidad de enfriar, pero también el CO₂ como refrigerante, va teniendo también una demanda que está creciendo exponencialmente, sin embargo, el amoníaco es más utilizado que otros ya que su costo es moderado, existe en grandes cantidades y es ideal para grandes instalaciones frigoríficas como industrias de hielo, camaroneras, fábricas de helados, entre otras.

Es importante acotar que el amoníaco es amigable con el ambiente ya que no contamina la capa de ozono ni contribuye al calentamiento global. (Contardo Jimenez, 2016). Las propiedades físicas y químicas del amoníaco son ventajas en su manejo y ocupación, sea industrialmente a pequeña o gran escala, por ejemplo, sus cambios de propiedades a presión determinada nos dan los parámetros para saber cómo realizar una carga o descarga cuando se necesite hacer un cambio del refrigerante, esto porque los sistemas de amoníaco manejan presión alta y baja y es importante saber por qué etapa de un sistema de refrigeración, se debe realizar las diferentes tareas de operación.

También es importante saber que materiales son compatibles y no compatibles, con el amoníaco, ya que en tareas de corrección o mantenimiento se puede evitar accidentes y fallas que pueden comprometer la seguridad física de las máquinas o de las personas. Por eso, se indica que el cobre o el latón son corrosivos en presencia de amoníaco, es decir, no son compatibles, a diferencia del acero negro que es compatible con el refrigerante en mención.

El amoníaco no se mezcla con el aceite, pero en los sistemas de compresión están juntos y el arrastre de aceite junto con amoníaco se contrarresta con separadores de aceite instalados antes del ingreso a condensadores.

Una instalación de amoníaco debe incluir las seguridades necesarias sin escatimar en recursos ya que se trata de la seguridad personal y de los activos, así como la preservación del medio ambiente. Por lo general, las instalaciones son circuitos cerrados, pero cuentan con desfuegos de contenido de contaminantes del amoníaco, conocidos como incondensables a estos desfuegos también los llaman purgadores que ya tienen sistemas más avanzados y también deben tener válvulas de seguridad de sobre presión y direccionadas a lugares donde no afecten al entorno ni a las personas.

Con las medidas de seguridad, la ingeniería de diseño, una correcta instalación y dimensionamiento se tendrá un sistema industrial eficiente ya que como se recalca el amoníaco es uno de los mejores refrigerantes y además es ecológico. (COFRICO, 2010)

Producción de CO₂ en la Planta Linde Ecuador S.A.

Históricamente en Linde Ecuador S.A. la planta de dióxido de carbono está ubicada en la ciudad de Machachi en un sector rural de haciendas llamado Sillunchi, por la cercanía al volcán Cotopaxi y Rumiñahui existen corriente de agua subterránea y yacimientos de carbonato de calcio que dan origen a las fuentes de dióxido de carbono, que se utilizan en la producción del hielo seco (CO₂ sólido), así como para otras aplicaciones.

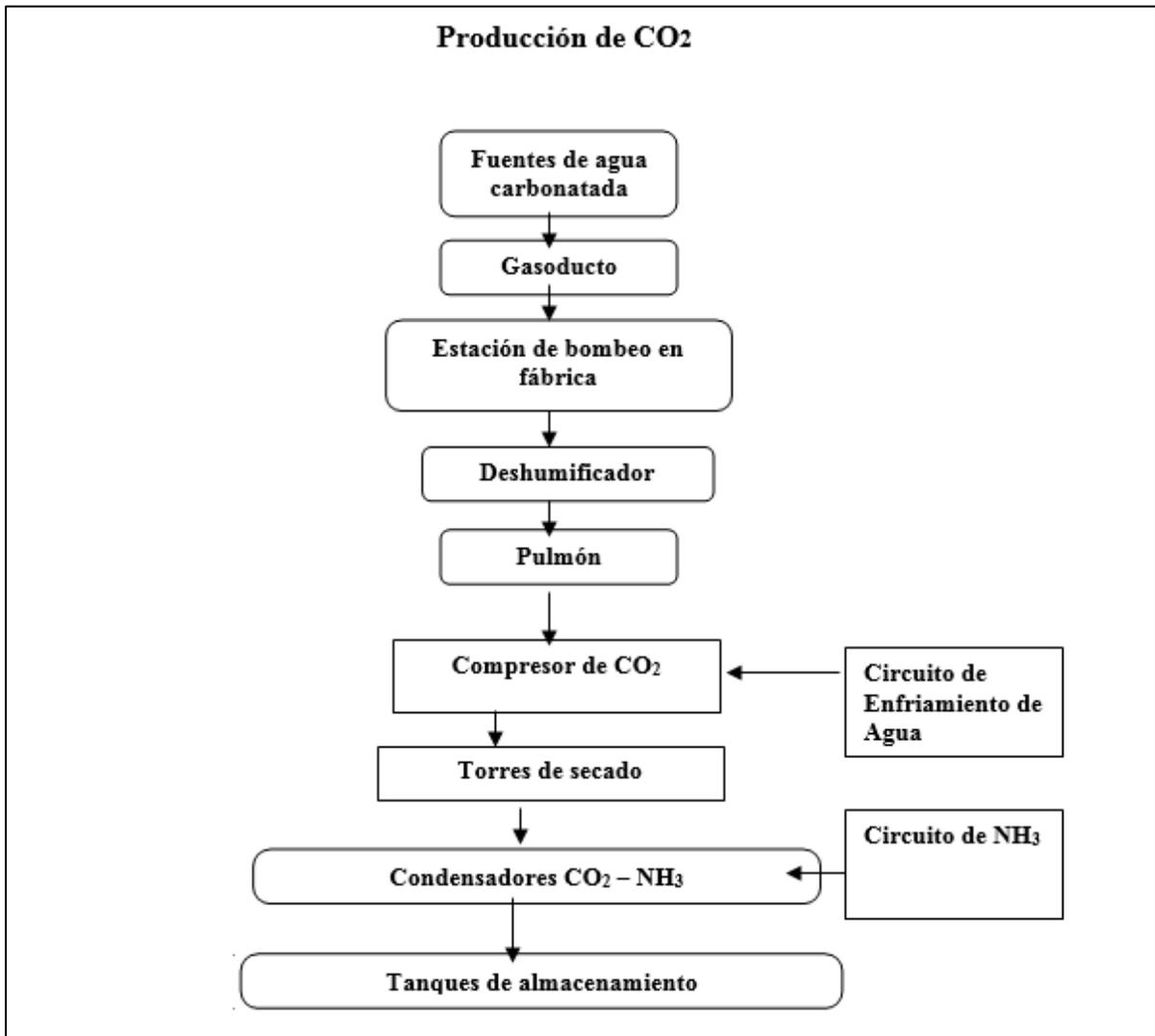
Esta planta produce hielo seco hace más de 60 años y sigue siendo la mayor y principal productora de este producto en el país hasta la actualidad, en sus inicios como Agua y Gas de Sillunchi (1942), después AGA S.A. (1997) y ahora como Linde Ecuador S.A. (2012).

La capacidad de producción actual de hielo seco se encuentra en 20 bloques por hora, siendo cada bloque de 25 kg de peso. El producto se distribuye a los principales sindicatos de heladeros del país y también a fábricas que lo requieren como materia prima en otros procesos productivos.

El hielo seco también es utilizado para procesos de limpieza de maquinarias, para líneas aéreas, desmolde de neumáticos, criogenia, medicina, cadenas de frío y demás aplicaciones siendo las principales las de refrigeración y conservación.

Para el proceso productivo, inicialmente se extrae agua carbonatada de fuentes naturales (pozos de captación) subterráneas para posteriormente aprovechar el dióxido de carbono de esta agua. Se recolecta el CO₂ natural de los pozos de captación, se bombea, se separa la humedad, se comprime, enfría, seca y licua poniendo el gas en estado líquido en tanques aislados de almacenamiento, como se puede ver en el flujograma de la figura siguiente:

Figura 2. Flujograma de Producción de CO₂



Elaborado por: (Tipán, 2017)

Dentro de este proceso juega un papel fundamental el uso del amoníaco en el sistema de refrigeración, ya que gracias a sus propiedades refrigerantes se hace una adsorción, en intercambiadores de calor y por este proceso el CO₂ gaseoso se vuelve líquido y se almacena en los tanques de producción.

Compresores de amoníaco

La definición de compresor según S.R. Majumdar, dice que es una máquina de fluido que está constituida para aumentar la presión de un volumen definido de aire al reducir ese volumen en una cámara encerrada. (Majumdar, 1998)

Los compresores de amoníaco, toman el amoníaco en forma gaseosa y elevan la presión de este gas al descargarlo, iniciando así el cambio de sus propiedades físicas para ir a recipientes con tubos internos o con serpentines metálicos que evaporan o condensan según el requerimiento y el tipo de proceso al que van a aplicar el refrigerante.

Se utilizan ampliamente en refrigeración, para diferentes aplicaciones como la conservación o congelamiento, en el caso de CO₂ es para la licuefacción del gas. Entre algunos de los compresores de amoníaco, que se utilizan industrialmente, están marcas como Vilter, Mycom, Mayekawa, Bitzer, que son fabricantes de experiencia en el medio. A los compresores de este tipo se les conoce como compresores de frío.

Tipos de compresores

Existen algunos tipos de compresores de amoníaco, usados industrialmente o comercialmente, con más frecuencia se utilizan los de pistón o conocidos como reciprocantes, pero también existen los de tornillo que son más eficientes. A continuación, se enlistan los más comunes:

- De tornillo
- Sistema pendular Taurozzi
- Rotativo helicoidal (tornillo- screw)
- Roto dinámicos o turbo máquinas
- Reciprocantes

Compresor Reciprocante

Un compresor alternativo, también denominado de pistón, reciprocante (traducción del inglés reciprocating), recíproco o de desplazamiento positivo, es un compresor de gases que funciona por el desplazamiento de un émbolo dentro de un cilindro (o de varios) movido por un cigüeñal para obtener gases a alta presión.

El gas a comprimir entra a presión ambiental, por la válvula de admisión en el cilindro, aspirado por el movimiento descendente del pistón, que tiene un movimiento alternativo mediante un cigüeñal y una biela, se comprime cuando el pistón asciende y se descarga, comprimido, por la válvula de descarga.

En estos compresores, la capacidad se ve afectada por la presión de trabajo. Esto significa que una presión de succión baja implica un caudal menor; para una presión de descarga mayor, también se tiene un caudal menor.

Se utiliza en refinerías de petróleo, transporte de gases (gasoductos), plantas químicas, plantas de refrigeración. Uno de sus usos es la fabricación, por soplado, de envases de vidrio o plástico (Tereftalato de polietileno o PET), para líquidos. (Bloch, 1996)

Compresores Vilter

En Linde Ecuador S.A., se utiliza 4 compresores de marca Vilter, los cuales aunque tienen más de 20 años de funcionamiento, han sido muy bien mantenidos y funcionan las 24 horas. Estos compresores sirven para aumentar el volumen y la presión del amoníaco, de forma que esta misma presión sea la que proporcione circulación al refrigerante en todas sus etapas del proceso de producción de CO₂.

Vilter es una marca que existe aproximadamente desde 1867, que nació como requerimiento de instalaciones de aire acondicionado de la ciudad de Milwaukee de Estados Unidos. Hoy por hoy Vilter es una empresa líder en el campo de la refrigeración industrial proveyendo de equipos de excelente calidad. (Emerson, 2016)

Compresor Vilter 450 XL

El compresor Vilter 450XL (Figura 3) es el modelo que se utiliza en la planta de CO₂, el cual está dentro de la gama de los modelos de la línea 450 y tiene sus variantes de acuerdo a la capacidad y el tamaño, puede trabajar con amoníaco, halo carbonos e incluso con algunos refrigerantes de hidrocarburo. Funciona en aplicaciones extremas con una presión diferencial superior a 18 bares.

Figura 3. Compresor Vilter 450XL



Fuente: (EMERSON, 2010)

Puede ser accionado por un sistema transmisión de motor y poleas - correa hasta 300 CV o ser accionado directamente con acople hasta llegar a 375 CV, también puede funcionar en una relación alta de compresión hasta 12:1 con determinados refrigerantes halo carbonados. (EMERSON, 2010)

Definiciones

Presión

Es una medida física que nos indica la fuerza que es ejercida sobre un área, su símbolo es (P). En el sistema internacional de unidades, la presión se mide en pascuales (Pa), lo cual es la equivalencia de un newton ejerciendo fuerza sobre un metro cuadrado de superficie. En el sistema inglés se mide en libras fuerza por pulgada cuadrada (PSI) que se define como la fuerza total que ejerce una libra sobre una pulgada cuadrada.

Presión de un gas

En el marco de la teoría cinética la presión de un gas es explicada como el resultado macroscópico de las fuerzas implicadas por las colisiones de las moléculas del gas con las

paredes del contenedor. La presión puede definirse por lo tanto haciendo referencia a las propiedades microscópicas del gas.

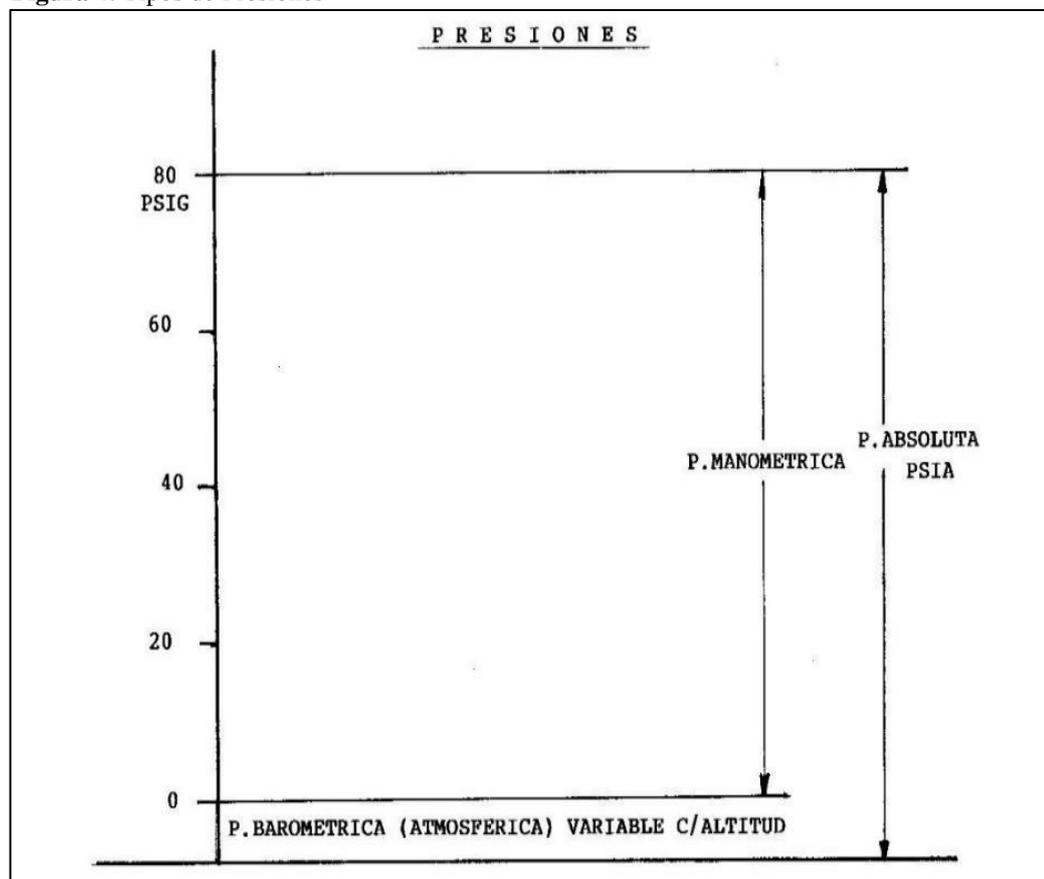
Para un gas ideal con N moléculas, cada una de masa m y moviéndose con una velocidad rms contenido en un volumen cúbico V , las partículas del gas impactan con las paredes del recipiente de una manera que puede calcularse de manera estadística intercambiando momento lineal con las paredes en cada choque y efectuando una fuerza neta por unidad de área que es la presión ejercida por el gas sobre la superficie sólida. (Giancoli, 2004)

Presión manométrica

La presión manométrica (psig) que se utiliza y controla en máquinas de gases es la presión en Lbs/plg² sobre la presión atmosférica normal 14.696 psi.

Con esta presión manométrica se dimensiona los transmisores de presión que se utilizan en automatización.

Figura 4. Tipos de Presiones



Fuente: (Contardo Jimenez, 2016)

Tabla 4. Equivalencias de unidades de presión

PSI	Atmósferas	Pulgadas mercurio
1	0.06804	2.036
14.696	1	29.92
0.4912	0.03342	1

Fuente: (Contardo Jimenez, 2016)

Presión de alta

Es la presión de descarga en el compresor o condensador se conoce también como presión del lado de alta.

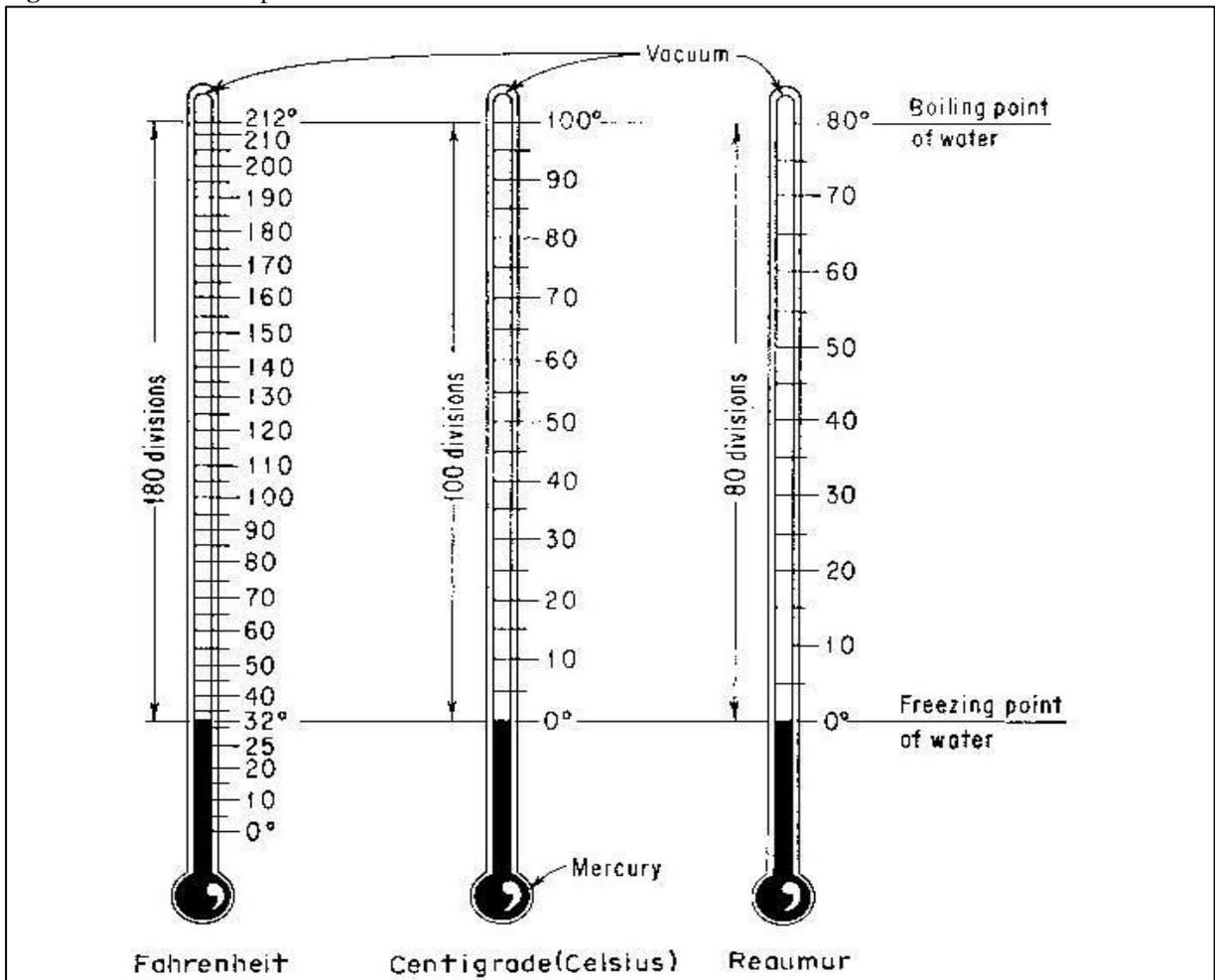
Presión de succión

Es la presión de succión del compresor o a la salida del evaporador se conoce como presión del lado de baja o como contrapresión.

Temperatura

Es la medida de nivel o intensidad de calor que tiene un cuerpo, elemento o hablando industrialmente un dispositivo, máquina o sistema. La unidad más común utilizada es el grado Fahrenheit (°F) y en el sistema internacional de unidades utilizamos el grado Kelvin (°K), también se puede usar la escala Celsius o centígrada (°C).

Figura 5. Escala de temperaturas



Fuente: (Contardo Jimenez, 2016)

Energía

Es la capacidad de realizar trabajo, puede existir en varias, formas, como energía calórica, energía mecánica, química, eléctrica, y otras más. Puede ser cambiada de una forma a otra. Ejemplo: La energía química almacenada en una batería llega a ser energía eléctrica fluyendo a través de un circuito que ilumina una lámpara (energía luminosa y calórica) o haciendo girar a un motor (energía mecánica).

Punto de ebullición

Todos los líquidos tienen un punto dado de ebullición para condiciones dadas de presión. Ejemplo: El agua a nivel del mar (donde la presión es de 14.7 psi) debe ser calentada hasta 212 °F, para hervir o para que el calor latente de vaporización pueda ocurrir. Si la presión es

aumentada, el punto de ebullición aumentará, si la presión disminuye, el punto de ebullición disminuirá.

Tonelada de refrigeración

Una tonelada de refrigeración es el equivalente que toma fundir 1 tonelada de hielo en 24 horas, como el calor latente del hielo es igual a 144 BTU por Lb. esto requiere 288.000 BTU en 24 horas, es decir 12000 BTU por hora o 200 BTU por minuto.

Refrigerante manejado

Es la cantidad de refrigerante en circulación. Dividiendo 200 BTU por minuto para el efecto refrigerante en BTU por Lb. de refrigerante nos da como resultado las libras de refrigerante que circulan - por minuto.

Trabajo de compresión

Es la cantidad de calor añadido al refrigerante en el compresor. Se mide restando el contenido de calor de 1 Lb. de refrigerante en la succión del compresor del contenido de la misma libra en la descarga del compresor. Multiplicando el trabajo de compresión, en BTU por Lb. por las libras de refrigerante manejado en 1 hora y dividiendo para 2545 BTU por HP-hr. Se tiene lo que se necesita de potencia teórica.

Automatización

Según la página web de la SC.ehu. la automatización es un conjunto de elementos de tecnología de ingeniería que junto con los técnicos operativos o personas se transfieren, miden, analizan controlan y en general supervisan tareas de diferente índole, sean éstas productivas, organizacionales, educativas, entre otras, con la finalidad de optimizar sus procesos.

En un sistema automático se diferencian dos partes principales:

- Parte operativa
- Parte de mando

Parte operativa son los dispositivos que hacen que la máquina o equipo opere o funcione haciendo las tareas que se desea. Estos dispositivos pueden ser motores, actuadores, cilindros neumáticos, compresores, fines de carrera, es decir, son las partes que actúan directamente sobre la máquina o equipo.

La parte de mando es la parte capaz de comunicarse con todos los elementos que constituyen el conjunto automatizado sea máquina o equipo, es la tecnología programable, autómata, como por ejemplo un PLC, sin olvidar que hasta hace poco tiempo se utilizaba, mandos eléctricos como relés, elementos neumáticos, tarjetas de control, módulos lógicos.

Objetivos de automatizar

- Reducir costos y mejorar la calidad de la producción en las industrias, con esto aumentar la productividad.
- Incrementar la seguridad de las personas con condiciones más exactas eliminando errores y tareas tediosas o repetitivas que tienden al error humano.
- Lograr ejecutar tareas que para el humano son difíciles o imposibles de realizar por limitación manual o intelectual.
- Disponer de cantidades necesarias y exactas de productos en tiempos definidos y sin demoras, eliminando los cuellos de botella en los procesos.
- Mejorar el mantenimiento de equipos sin requerir de conocimientos enormes para así simplificar tareas para los operarios.
- Llegar a la compatibilidad de la gestión y de la producción de esta manera tener la ansiada integración de procesos industriales.

(SC.ehu.es, 2001)

Instrumentación

Industrialmente la instrumentación es un conjunto de dispositivos que sirven para medir, comparar, contar, regular, transmitir, recolectar o archivar variables que son parte de un proceso, para tener optimo uso de los recursos ocupados, logrando la seguridad de las personas, eficiencia y eficacia en procesos productivos que aportan a la utilidad de las industrias.

Un conjunto de instrumentación puede ser tan complejo como sencillo partiendo de elementos simples como luces o mandos o hasta complejos sistemas de transmisores, módulos, convertidores, etc., con procesadores que aportan al sistema, con interfaces como que sean posible y todo conectado entre sí con simples o complejos sistemas eléctricos y/o electrónicos, adicional de partes mecánicas, neumáticas o diferentes a fin de conseguir el producto deseado.

Un dispositivo clave para transformar la señal medida es un sensor que es el que percibe la variable física y la convierte en una señal de salida de manera eléctrica, electrónica, mecánica,

óptica. El sensor es un elemento que por lo general toma el fenómeno físico o químico que ocurre en el punto de medición toma esta señal y la convierte en una señal detectable. La finalidad es convertir la señal sensada en otra forma que pueda ser fácilmente cuantificable, es decir, medible.

Tabla 5. Variables que se puede medir

Variables físicas:
Caudal
Caudal másico
Caudal volumétrico
Presión
Temperatura
Nivel
Nivel de líquidos
Nivel de sólidos
Velocidad
Peso
Humedad
Punto de rocío
Variables químicas:
pH
Conductividad eléctrica
Redox

Fuente: (SC.ehu.es, 2001)

9. PREGUNTA CIENTÍFICA O HIPÓTESIS

¿Cómo impactará la automatización de compresores de amoníaco en la Planta de Producción de CO₂ Linde Ecuador?

Sin duda el automatizar la operación de estos compresores va a ser una mejora de proceso que dará principalmente mayor producción, ya que al estar más controladas, protegidas las diferentes etapas y variables, se evitará tener paras no programadas o fallas catastróficas, es decir el principal incremento se verá reflejado en toneladas de producto, en este caso, CO₂, a comparación de años anteriores donde existía paras por daño de compresores o fallas de los

mismos, disminuirá esos tiempos de mantenimientos correctivos o no programados donde se merma la cantidad producida al no tener a su máxima capacidad el sistema de refrigeración.

Se proyecta al menos recuperar 0,5 toneladas de CO₂ con esta automatización, se plantea aumentar en 1 % la confiabilidad de la planta y también disminuir 1 reporte de datos manual al integrar las señales a un controlador lógico programable.

10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Se aplica las principales técnicas de estudios experimentales observatorios, recopilación de datos, análisis y de investigación en general para obtener resultados que permitan plantear las soluciones de automatización propuestas.

Para el desarrollo del proyecto se necesitó indagar en algunos procesos para ir conformando los modelos ya establecidos. Además, se realizó un análisis del riesgo y del funcionamiento de compresores que tiene el amoniaco, para así poder establecer la problemática y cuáles serían las acciones para la optimización.

Para esto, además del análisis bibliográfico se utilizó la observación, que tiene como finalidad describir y registrar las manifestaciones de la conducta en este caso del operario y las máquinas de producción, es decir, también se hizo estudios de campo.

Situación actual compresores Vilter

Actualmente en Planta CO₂ Linde Ecuador S.A. se dispone de un conjunto de 4 compresores Vilter:

- Vilter 1A: VCM456 B
- Vilter 2A: VCM454XL B
- Vilter 1B: VCM454XL B
- Vilter 2B: VCM452 XL B

Figura 6. Compresores Vilter Existentes



Elaborado por: (Tipán, 2017)

Los 4 compresores que se muestran en la Figura 6 son parte del sistema de refrigeración de la producción de CO₂, están configurados en dos etapas (succión y descarga) de dos en dos, estos son máquinas muy bien mantenidas a pesar tener más de 20 años en funcionamiento, el seguimiento y control de estas máquinas es netamente manual. Es decir, un operador toma y registra los datos de los 4 compresores cada dos horas de operación de los mismos, utiliza una plantilla manual de registro donde coloca los principales parámetros que estos tienen, como son, presión, temperatura, niveles. Precisamente la automatización busca tener un correcto monitoreo, a fin de evitar un daño en elementos internos como pistones, cigüeñal, cojinetes, o diferentes partes de las máquinas.

Levantamiento técnico de compresores Vilter de Planta CO₂ de Linde Ecuador S.A.

A continuación, se presenta la información técnica de los compresores de amoníaco Vilter en sus respectivas fichas técnicas:

Compresor Vilter 1A

Figura 7. Compresor Vilter 1A



Elaborado por: (Tipán, 2017)

Tabla 6. Ficha técnica compresor Vilter 1A

Vilter 1A	
Modelo:	456 B
Presión de succión:	10 PSI
Presión de descarga:	55 PSI
Temperatura de aceite:	60°C
Diferencial del filtro de aceite:	75-70 (5 PSI)
Motor eléctrico:	
Marca:	Lincoln
Potencia:	100HP
Revoluciones por minuto:	1770
Voltaje:	230/460
Frame:	404T
Amperaje medido:	
L1:	72.2 A
L2:	76.1 A
L3:	76.1 A

Elaborado por: (Tipán, 2017)

Compresor Vilter 1B

Figura 8. Compresor Vilter 1B



Elaborado por: (Tipán, 2017)

Tabla 7. Ficha técnica compresor Vilter 1B

Vilter 1B	
Modelo:	454XL
Presión de succión:	5 PSI
Presión de descarga:	25 PSI
Temperatura de aceite:	126°F
Diferencial del filtro de aceite:	65-60 (5 PSI)
Motor eléctrico:	
Marca:	Marathon electric
Potencia:	40HP
Voltaje:	230/460
Amperaje medido:	
L1:	39.5 A
L2:	37.4 A
L3:	39.6 A

Elaborado por: (Tipán, 2017)

Compresor Vilter 2A

Figura 9. Compresor Vilter 2A



Elaborado por: (Tipán, 2017)

Tabla 8. Ficha técnica compresor Vilter 2A

Vilter 2A	
Modelo:	454XL
Presión de succión:	46 PSI
Presión de descarga:	160 PSI
Temperatura de aceite:	54°C
Diferencial del filtro de aceite:	100 PSI
Motor eléctrico:	
Marca:	Lincoln
Potencia:	60HP
Revoluciones por minuto:	1775
Voltaje:	230/460
Frame:	364T
Amperaje medido:	
L1:	63.6 A
L2:	67.1 A
L3:	68.3 A

Elaborado por: (Tipán, 2017)

Compresor Vilter 2B

Figura 10. Compresor Vilter 2B



Elaborado por: (Tipán, 2017)

Tabla 9. Ficha técnica compresor Vilter 2B

Vilter 2B	
Modelo:	452XL
Presión de succión:	35 PSI
Presión de descarga:	145 PSI
Temperatura de aceite:	120°F
Diferencial del filtro de aceite:	105-100 (5 PSI)
Motor eléctrico:	
Marca:	Marathon electric
Potencia:	40HP
Voltaje:	230/460
Amperaje medido:	
L1:	42.2 A
L2:	44.7 A
L3:	42.2 A

Elaborado por: (Tipán, 2017)

Propuesta de optimización de compresores Vilter

Con la descripción anterior se puede verificar la situación actual de este sistema de compresión, por lo cual se propone la automatización de la operación de estos compresores, con la cual se asegure un mejor control, seguimiento, protección de las máquinas, ayudando a la seguridad de los operadores, la calidad de los procesos y tener sistemas amigables con el medio ambiente.

Se describe las actividades a realizarse para la automatización:

- Realizar un estudio preliminar de la situación actual y el análisis de los parámetros críticos que se monitorean en los compresores, para definir qué se debe registrar y que no.
- Hacer un listado de instrumentación necesaria para monitoreo de las variables analizadas y seleccionadas para la automatización.
- Instalar los elementos necesarios para que la instrumentación tenga una correcta ubicación y montaje.
- Revisar y actualizar la parte de fuerza y control en los sistemas eléctricos, levantamiento de planos.
- Proveer de un tablero para la ubicación de un HMI local que permita la supervisión de los sistemas de compresores, adicional será el alojamiento de un PLC y módulos necesarios para el sistema.
- Cambiar los elementos actuales y realizar el montaje de los instrumentos nuevos como son transmisores de presión, temperatura, para que se tenga el completo monitoreo y control.
- Implementar alarmas en función de los parámetros monitoreados, de manera que permita paras de máquina automáticas y avisos sonoros y lumínicos que resguarden el proceso y las máquinas.

Iniciando con la propuesta de automatización se van a desarrollar los siguientes puntos descritos:

Estudio preliminar de la situación actual y análisis de parámetros críticos de los compresores.

Partiendo de que el monitoreo y registro de los compresores de amoníaco se lo realiza manualmente, es decir, se verifica visualmente cada dos horas las mediciones instantáneas de los manómetros y termómetros analógicos instalados, se registra los valores en una hoja y se lo traspasa a una hoja electrónica al cierre de cada día para reportarlo a los responsables de informes, revisión de tendencias y valores de funcionamiento.

La hoja de registro es una hoja común (Figura 11), que se imprime y se llena a mano, la cual es vulnerable a que se deteriore, moje, rompa, pierda. Por lo que se quiere optimizar este registro logrando que un PLC gobierne, registre y haga un histórico de los datos recolectados para tener un archivo electrónico, de esta manera tener respaldos, medios de consulta y análisis de mayor confiabilidad.

Se puede observar que son lecturas de todo el sistema de refrigeración, que incluye datos del depósito, los separadores, condensadores, y principalmente de los cuatro compresores de amoníaco Vilter, de los cuales se tienen cuatro parámetros principales, los cuales se describen a continuación:

Presión de succión

Es la presión a la que el amoníaco está ingresando al compresor, proveniente del vaporiter que es un equipo que realimenta el amoníaco que ya cumplió su función y lo vaporiza, es decir, asegura que sea amoníaco en gas para que se pueda comprimir.

Presión de descarga

Es la presión a la que el compresor expulsa el amoníaco que ingresó al equipo, para después ir a los condensadores evaporativos que se encargan de enfriar este gas comprimido, caliente y licuarlo en cierta proporción para que pueda volver al depósito de amoníaco que es el punto de partida del refrigerante.

Temperatura de descarga

Es la medida de temperatura a la que el compresor expulsa el refrigerante, en este caso se confirma que cuando se comprime un gas existe fricción y por ende calentamiento.

Análogamente a la temperatura anterior como se explica este valor varía en función de las características aplicadas.

Presión del cárter

Es la medida de presión a la que se encuentra el cárter del equipo, presión provocada por el aceite contenido que se mezcla con el refrigerante y por ello es importante el seguimiento de este parámetro.

Temperatura del cárter

Es la medida de la temperatura a la que se encuentra el aceite junto con el refrigerante en el cárter del equipo por lo que se establece un rango de valores a monitorear, recomendados por el fabricante.

Temperatura de succión

Es la medida de temperatura a la que el gas está ingresando al compresor, misma que puede estar en valores bajo cero por tratarse del refrigerante en mención, que al adquirir ciertas presiones cambia sus propiedades de temperatura- presión o viceversa como se puede observar en la figura siguiente:

Figura 12. Presión – temperatura en refrigerantes

ENGINEERING DATA					
Table No. 41 pressure temperature (PRESSURE PSIG)					
Deg. F.	Ammonia	R-12	R-22	R-502	Deg. F.
-75	23.2	23.0	18.5	15.0	-75
-70	21.9	21.8	16.6	12.6	-70
-65	20.4	20.5	14.4	9.9	-65
-60	18.6	19.0	11.9	6.9	-60
-55	16.6	17.3	9.1	3.6	-55
-50	14.3	15.4	6.0	0.0	-50
-45	11.7	13.3	2.6	2.0	-45
-40	8.7	10.9	0.6	4.3	-40
-35	5.4	8.3	2.7	6.7	-35
-30	1.6	5.5	5.0	9.4	-30
-25	1.3	2.3	7.6	12.3	-25
-20	3.6	0.6	10.3	15.5	-20
-15	6.2	2.5	13.3	19.0	-15
-10	9.0	4.5	16.6	22.8	-10
-5	12.2	6.7	20.2	26.9	-5
0	15.7	9.2	24.1	31.2	0
+ 5	19.6	11.8	28.3	36.0	+ 5
10	23.8	14.7	33.0	41.1	10
15	28.2	17.7	37.9	46.6	15
20	33.5	21.1	43.3	52.4	20
25	39.0	24.6	49.1	58.7	25
30	45.0	28.5	55.2	65.4	30
35	52.6	32.6	61.9	72.6	35
40	58.6	37.0	69.0	80.2	40
45	66.3	41.7	76.6	88.3	45
50	74.5	46.7	84.7	96.9	50
55	83.4	52.0	93.3	106.0	55
60	92.9	57.7	102.5	115.6	60
65	103.1	63.7	112.2	125.8	65
70	114.1	70.1	122.5	136.6	70
75	125.8	76.9	133.5	148.0	75
80	138.3	84.1	145.0	159.9	80
85	151.7	91.6	157.3	172.5	85
90	165.9	99.6	170.1	185.8	90
95	181.1	108.1	183.7	199.7	95
100	197.2	116.9	197.9	214.4	100
105	214.2	126.2	213.0	229.7	105
110	232.3	136.0	228.7	245.8	110
115	251.5	146.3	245.3	262.6	115
120	271.7	157.0	262.6	280.3	120
130		180.2	299.3	318.0	130
140		205.6	341.3	359.1	140

Inches Vacuum figures above dividing reference line
PSI Gage Pressure figures below line.

Fuente: (Contardo Jimenez, 2016)

Con esta descripción de parámetros de funcionamiento de los compresores de amoniaco se establece, mediante análisis que los parámetros a registrar y monitorear con implementación de instrumentación en la nueva automatización son los siguientes:

- Presión de succión de los cuatro compresores
- Presión de descarga de los cuatro compresores
- Presión de aceite de los cuatro compresores
- Temperaturas de succión, descarga y de carter en los cuatro compresores
- Presión de ingreso de agua de los cuatro compresores

Listado de instrumentación necesaria para monitoreo de las variables analizadas y seleccionadas para la automatización.

Tabla 10. Instrumentación para monitoreo de variables.

Variable	Instrumentación necesaria	Criterio de selección
Presión de succión de los cuatro compresores	4 transmisores de presión de NH ₃ , 1/4" NPT, salida 4 a 20 mA, voltaje alimentación 24 VDC, rango -30 a 200 psi.	El rango elegido es porque la presión de succión de los 4 compresores está en -5 hasta 40 psi y el elemento seleccionado es el que más se ajusta al rango.
Presión de descarga de los cuatro compresores	4 transmisores de presión de NH ₃ , 1/4" NPT, salida 4 a 20 mA, voltaje alimentación 24 VDC, 0 a 300 psi.	El rango elegido es porque la presión de descarga de los 4 compresores está en 25 hasta 160 psi y el elemento seleccionado es el que más se ajusta al rango.
Presión de aceite de los cuatro compresores	4 transmisores de presión de NH ₃ , 1/4" NPT, salida 4 a 20 mA, voltaje alimentación 24 VDC, rango 0 a 100 psi.	El rango elegido es porque la presión de aceite de los 4 compresores está en 40 hasta 90 psi y el elemento seleccionado es el que más se ajusta al rango.

Temperaturas de succión, descarga y de carter en los cuatro compresores	12 transmisores de temperatura RTD para NH ₃ , conexión 3 hilos, PT100, -50 a 260 °C.	El rango elegido es porque las temperaturas de los 4 compresores están en -25 hasta 250 °C y el elemento seleccionado es el que más se ajusta al rango.
Control de capacidad de compresión del amoniaco en los 4 compresores	2 electroválvulas de 220 VAC, 3/8" NPT para NH ₃ , 150 psi normalmente cerrada. 2 electroválvulas de 120 VAC, 3/8" NPT para NH ₃ , 150 psi normalmente cerrada.	Acorde a manual de funcionamiento las 4 son NC y las tomas son de 3/8", las primeras 2 con 220 VAC y las otras 2 con 120 VAC, los tableros poseen transformadores de corriente.
Presión de agua de los cuatro compresores	4 transmisores de presión de agua, 1/4" NPT, salida 4 a 20 mA, voltaje alimentación 24 VDC, rango 0 a 100 psi.	La presión de agua de todo el sistema de refrigeración de planta está en el rango de 16 a 40 psi en funcionamiento. Todas las tomas y derivaciones de instrumentos son de 1/4" NPT.

Elaborado por: (Tipán, 2017)

Elementos necesarios para que la instrumentación tenga una correcta ubicación y montaje.

Actualmente los elementos análogos (manómetros por ejemplo), están ubicados de manera que cumplan su función de medición y nada más, como se pueden ver en la Figura 13, ya que cuando se los instaló seguramente no se consideró la opción de automatizarlos, por lo cual, en esta oportunidad del proyecto de automatización, en los mismos sitios donde están instalados instrumentos análogos se realizará derivaciones que permitan instalar los instrumentos nuevos

como son sensores de presión y temperatura, conservando los análogos para de esta manera tener una comparación y la medición en sitio, así como la nueva medición gobernada por el PLC que se instalará como elemento central de control.

Figura 13. Ubicación de manómetros en compresor Vilter



Elaborado por: (Tipán, 2017)

Tabla 11. Elementos a utilizarse en automatización y su funcionalidad

ELEMENTOS	FUNCIONALIDAD
Disyuntor termo magnético	Es un elemento electromecánico que se coloca en instalaciones eléctricas para proteger a las personas de las descargas de corrientes que pudieran existir por falta de aislamiento, en esencia es un interruptor.
PLC y módulos de expansión	El PLC es un controlador lógico programable y los módulos de expansión son dispositivos que permiten ampliar el número de entradas y salidas que tiene el PLC cuando este no tiene el número

	suficiente para una aplicación de automatización, juntos forman una unidad principal que controla el correcto funcionamiento del proceso.
Pantalla táctil	Conocidas como HMI son la interfaz hombre – máquina, es decir, la forma en que se comunica el hombre e interactúa con la máquina, lo más común son paneles o pantallas táctiles que van desde 4" a 22" y monitorean al proceso.
Relés	Son elementos electromagnéticos que actúan como un interruptor, es decir abren o cierran un circuito de mando mediante una señal eléctrica enviada por un PLC.
Manómetros	Instrumentos análogos para la medición de presión de algún fluido, en recipientes cerrados, principalmente gases.
Electroválvulas	Son elementos electromecánicos que controlan el paso de flujo, activados por un electroimán que da la señal de paso, en el caso de los compresores de amoniaco, éstas desfogan e introducen carga al compresor.
Fuente de poder	Dispositivo eléctrico que abastece de corriente de tipo continua o alterna a un circuito eléctrico o electrónico en el caso de la automatización se alimenta a los equipos con 24 VDC
Tubería inoxidable	Son conductos que sirven para transportar fluidos o gases y así tomar las muestras de presión del compresor hacia el instrumento que enviara la señal al controlador.

Transmisores de presión	Son sensores de presión que toman la señal del fluido o gas y envían la señal eléctrica para que se pueda registrar y visualizar un dato y así también para realizar un control y monitoreo.
RTD	Es un sensor de temperatura con conexión a tres hilos, a medida que varía la temperatura del sensor varía el valor de resistencia.
Luces pilotos	Elementos de visualización que permiten indicar el estado operativo de los equipos, cuando esta está encendida nos indica una condición que se quiera identificar, registrar o monitorear.

Elaborado por: (Tipán, 2017)

Revisión y actualización de los circuitos de fuerza y control en los sistemas eléctricos, levantamiento de plano.

Es importante la revisión de los elementos y controles de alimentación eléctrica, es decir la parte de fuerza, recordando que, si la calidad de energía es deficiente, puede traer otros problemas que deterioran las máquinas y equipos que dependan de ella para su funcionamiento.

Mediante órdenes de trabajo del sistema de mantenimiento se realiza la revisión y la actualización de la alimentación eléctrica que abastece a los compresores que se automatizan, en el Anexo #2 se puede observar la disposición actual mediante un plano unifilar.

Analizando los sistemas de control eléctrico que actualmente se interconectan a los compresores que se están automatizando con termografías, se determina que es recomendable cambiar algunos de ellos, debido a su tiempo de uso o porque se ha cumplido el tiempo de vida útil. Tal es el caso de breakers, fusibles, relés, disyuntores, conectores, switches, los que se podrían migrar a nuevos breakers y arrancadores suaves para el respectivo motor de cada compresor.

Para una adecuada percepción del estado en el que se encuentran dichos elementos se recomienda también una termografía, la cual proporcione análisis e informe técnico de los

puntos de calor existentes para tener un mejor indicio de conexiones defectuosas o en sí, de elementos que ya no se debería tener conectados, adicionalmente se ve una necesidad de actualizar a elementos modernos y de mayor eficiencia industrial, que no permitan fugas de energía o para precautelar la seguridad industrial.

Provisión de un tablero para la ubicación de una pantalla local que permita la supervisión de los sistemas de compresores, alojamiento del PLC y módulos necesarios para el sistema.

Es necesario la elaboración de un tablero donde se integre los elementos y dispositivos que recibirán las señales que emitan los sensores, acá será donde lleguen las conexiones y de donde partan también hacia los instrumentos requeridos. Por experiencia se ha instalado tableros eléctricos metálicos con doble fondo y compuertas, cubiertos con pintura electrostática con cerraduras de tipo industrial y que permitan la instalación, anclaje y manipulación de los sistemas como es el caso de la interfaz o conocida como pantalla táctil donde se debe considerar una correcta ubicación que no interfiera a los demás dispositivos y que tenga los espacios accesibles para los futuros mantenimientos. Es importante la correcta identificación de los elementos inclusive los cables de las conexiones para poder ubicar rápidamente en caso de un defecto que se quiera corregir o cuando se va a modificar alguna conexión, esto depende mucho de que se instala marcas o señales técnicas como etiquetas o marquillas que sean duraderas y soporten temas de calor o humedad, que no pierdan su legibilidad y que sean recambiables.

Cambio de elementos actuales y montaje de instrumentos nuevos como transmisores de presión y temperatura, para completo monitoreo y control.

A continuación, se detalla y describe técnicamente con un levantamiento de información los equipos de control y elementos a utilizarse en la automatización requerida.

Las marcas o nombres son referenciales de equipos ya utilizados o aprobados para ser utilizados en instalaciones de la empresa en la que se aplica el cambio de ingeniería en este caso la automatización.

Equipos de control

Transmisores de presión - Safe gauge

Estos sensores son de 2 hilos con salida de corriente de 4 a 20 mA, su rango de medida es amplio y mide valores positivos de presión.

Tabla 12. Características de Transmisores de presión - Safe gauge

Marca:	SAFE GAUGE
Modelo:	SA-0100-G-A-D-P
Rango:	0-10 BAR, 0-25 BAR, 0-6 BAR
Conexión:	1+, 2-
Alimentación:	13-30 VDC
Salida:	4-20 mA

Elaborado por: (Tipán, 2017)

Figura 14. Transmisores de presión - Safe gauge



Fuente: (Safe-gauge, 2015)

RTD (PT100 – Watlow)

Es un sensor de temperatura con conexión a tres hilos, a medida que varía la temperatura del sensor varía el valor de resistencia.

Tabla 13. RTD (PT100- Watlow)

Material:	PT100.
Fabricante:	WATLOW.
Modelo:	RRJEF0K030BB000
Diámetro:	0.25 pulgada.
Longitud:	3 pulgadas.
Rango:	-50 a 260 °C.
Clase:	B.
α :	0.00385.
Conexión:	3 hilos.

Elaborado por: (Tipán, 2017)

Figura 15. RTD (PT100- Watlow)



Fuente: (Watlow, 2013)

Fuente de poder

Es un dispositivo indispensable puesto que alimenta a todos los módulos de expansión acoplados al PLC y a las entradas del controlador. El voltaje entregado por la fuente es de 24 VDC.

Tabla 14. Fuente de poder

Marca:	SIEMENS.
Modelo:	6EP1 333-3BA00.
Frecuencia:	50/60 Hz.
Voltaje de entrada:	120/230VAC-2.2A 230/500VAC-1.2A.
Voltaje de salida:	24 VDC-5A.
Temperatura.	60°C.

Elaborado por: (Tipán, 2017)

Figura 16. Fuente de poder



Fuente: (Siemens CD, 2015)

Módulo de entradas analógicas SM 1231

El número de entradas analógicas requeridas para la medición de presión son 7 las mismas que sirve para conexión de transmisores de presión instalados en las diferentes etapas y puntos del compresor. Por este motivo se escoge el módulo análogo SM 1213 el cual acondiciona señales de voltaje o corriente y tiene 8 entradas analógicas cumpliendo con el requerimiento del sistema.

Tabla 15. Módulo de entradas analógicas SM 1231

Marca:	SIEMENS.
Modelo:	6ES7 231-4HF32-0XB0
Alimentación:	24 VDC, 45mA
Entradas análogas:	8 x 13 bit
Rango de voltaje de entrada:	+/- 10 VDC
Rango de corriente de entrada:	0-20mA o 4-20 mA

Elaborado por: (Tipán, 2017)

Figura 17. Módulo de entradas analógicas SM 1231



Fuente: (Siemens CD, 2015)

Módulo de entradas analógicas para RTD's

Se determina el número de entradas analógicas necesarias para la medición de temperatura que son 6 las mismas que sirven para la conexión de los transmisores de temperatura instalados en los diferentes puntos del compresor. Se escoge usar el módulo SM 1231 RTD el cual acondiciona las señales exclusivamente provenientes de las RTD's y cuenta con 8 entradas analógicas para RTD's con lo cual satisface la necesidad del sistema.

Tabla 16. Módulo de entradas analógicas para RTD's

Marca:	SIEMENS
Modelo:	6ES7 231-5PF30-0XB0
Alimentación:	24 VDC, 40Ma
Entradas análogas:	8 x 13 RTD 16 bit

Elaborado por: (Tipán, 2017)

Figura 18. Módulo de entradas analógicas para RTD's



Fuente: (Siemens CD, 2015)

PLC

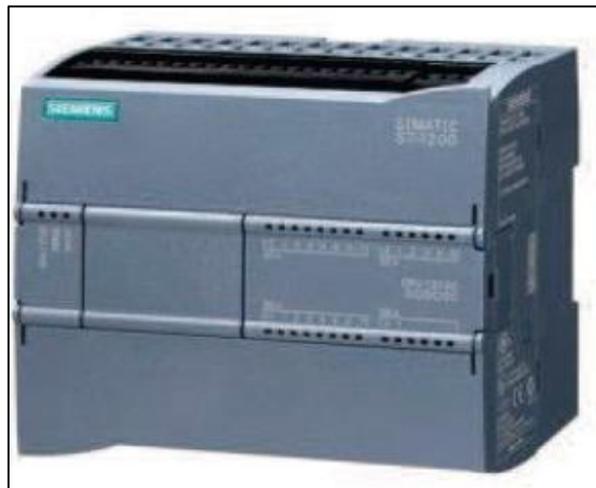
Se determina el controlador lógico programable que esté acorde al requerimiento que se quiere implementar en este caso se selecciona un SIEMENS S7 - 1200

Tabla 17. PLC S7-1200, CPU1214C

Marca:	SIEMENS
Modelo:	6ES7 214-1BG31-0XB0
CPU:	1214C AC/DC/Relé
Alimentación:	110/220 VAC
Entradas digitales:	14 a 24 VDC
Salidas digitales:	10 salidas a relé.
Entradas análogas:	2 de 0-10 VDC
Módulos de señales:	8
Módulos de comunicación:	3
Comunicación:	Profinet /Industrial Ethernet RJ45 10/100Mbps
Signal board	1
Memoria:	75 Kb
Software:	TIA PORTAL versión 11

Elaborado por: (Tipán, 2017)

Figura 19. PLC S7-1200, CPU1214C



Fuente: (Siemens CD, 2015)

HMI local (interfaz hombre máquina)

Con el fin de monitorear el correcto funcionamiento del compresor dentro de la producción de CO₂ surge la necesidad de implementar un HMI local. Se procede a escoger una pantalla táctil básica de 10.4 pulgadas, a color y con 8 botones físicos, marca Siemens. Este equipo al tener un puerto de comunicación Ethernet, permite que la comunicación entre el PLC y HMI local de manera posible y compatible. La programación del PLC y el HMI local se lo realiza con el programa TIA PORTAL V13, mismo que tiene la plataforma para programar y diseñar la pantalla táctil al mismo tiempo.

Tabla 18. Características de HMI LOCAL KTP 1000 PN

Marca:	SIEMENS.
Modelo:	6AV6647-0AF11-3AX0.
Tipo:	KTP 1000 PN, táctil.
Alimentación:	24 VDC.
Tamaño:	10.4 pulgadas.
Teclas de función:	8.
Color:	256.
Comunicación:	Interfaz PROFINET / Industrial Ethernet.
Software:	TIA PORTAL WinCC V13 Basic.

Elaborado por: (Tipán, 2017)

Figura 20. HMI LOCAL KTP 1000 PN

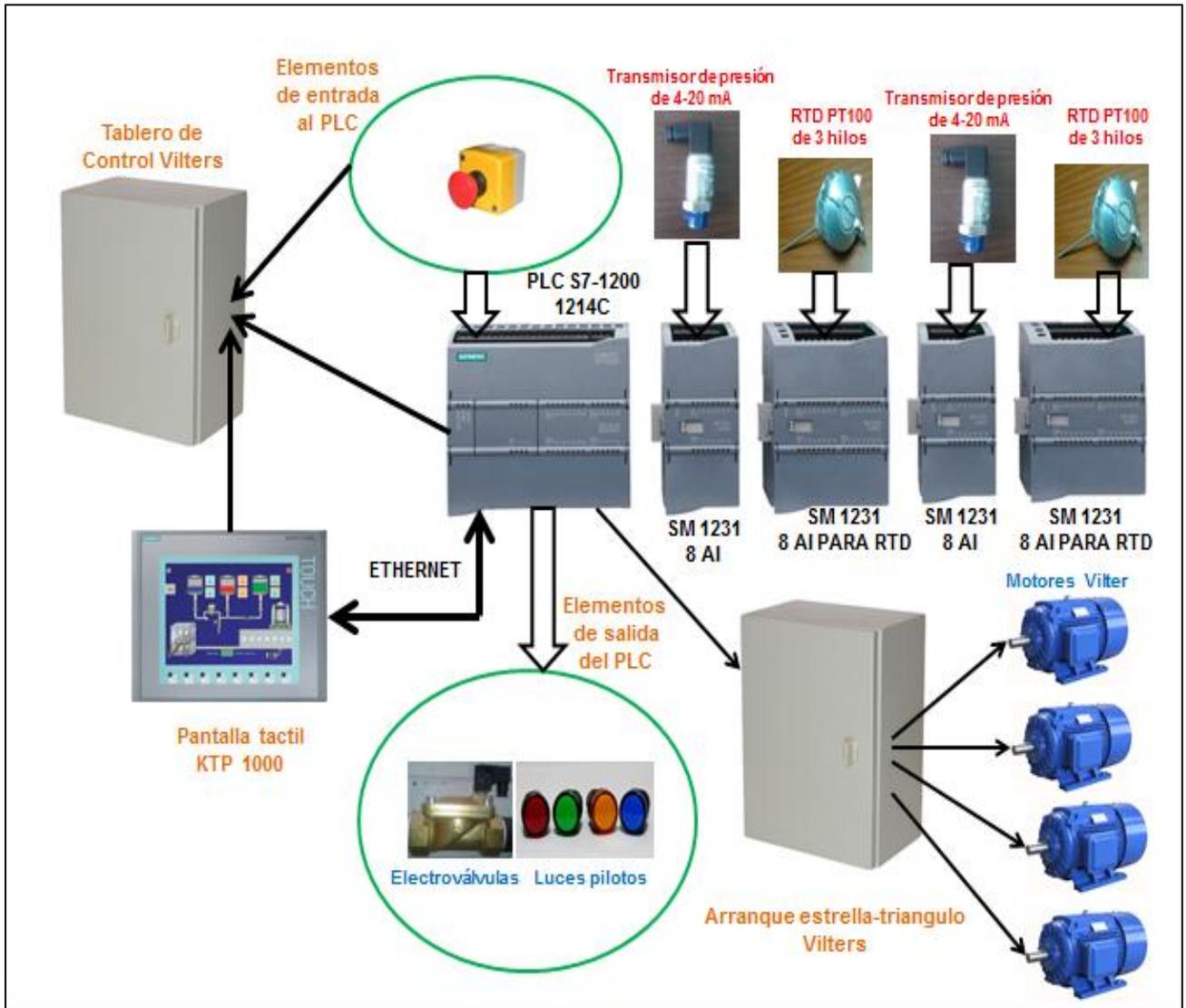


Fuente: (Siemens CD, 2015)

Arquitectura del nuevo sistema

Se denomina arquitectura a la diagramación gráfica general de cómo se estructura el sistema para que automatice las máquinas que se plantea. En la Figura 21 se muestra de forma resumida, el gráfico general de los elementos principales para realizar la automatización de los compresores Vilter de NH₃ en la Planta de CO₂ de Linde Ecuador S.A. Se proporciona mayor detalle en la sección correspondiente al diseño de software y lógica de control.

Figura 21. Arquitectura del nuevo sistema



Elaborado por: (Tipán, 2017)

Diseño de software

Entradas análogas y digitales usadas del PLC en automatización propuesto para compresores Vilter

En las siguientes tablas se detalla las entradas, salidas tanto análogas como digitales usadas en el PLC.

Tabla 19. Entradas análogas para presión

Canal del PLC	Dirección del PLC	Parámetro	Uso
0	IW96	Transmisor de presión (0-200 psi)	Medición de la presión de succión de NH ₃ . Vilter 1A
1	IW98	Transmisor de presión (0-200 psi)	Medición de la presión de aceite. Vilter 1A
2	IW100	Transmisor de presión (0-415 psi)	Medición de presión de descarga de NH ₃ . Vilter 1A
3	IW102	Transmisor de presión (0-200 psi)	Medición de la presión de succión de NH ₃ . Vilter 2A
4	IW104	Transmisor de presión (0-200 psi)	Medición de presión de aceite. Vilter 2A
5	IW106	Transmisor de presión (0-415 psi)	Medición de presión de descarga de NH ₃ . Vilter 2A
6	IW108	Transmisor de presión (0-200 psi)	Medición de la presión de succión de NH ₃ . Vilter 1B
7	IW110	Transmisor de presión (0-200 psi)	Medición de presión de aceite. Vilter 1B
8	IW112	Transmisor de presión (0-415 psi)	Medición de presión de descarga de NH ₃ . Vilter 1B
9	IW114	Transmisor de presión (0-200 psi)	Medición de la presión de succión de NH ₃ . Vilter 2B
10	IW116	Transmisor de presión (0-200 psi)	Medición de presión de aceite. Vilter 2B
11	IW118	Transmisor de presión (0-415 psi)	Medición de presión de descarga de NH ₃ . Vilter 2B
12	IW120	Transmisor de presión (0-100 psi)	Medición de presión de agua. Vilter 1A

13	IW122	Transmisor de presión (0-100 psi)	Medición de presión de agua. Vilter 2A
14	IW124	Transmisor de presión (0-100 psi)	Medición de presión de agua. Vilter 1B
15	IW126	Transmisor de presión (0-100 psi)	Medición de presión de agua. Vilter 2B
16	IW128	Libre	Libre
17	IW130	Libre	Libre

Elaborado por: (Tipán, 2017)

Tabla 20. Entradas análogas para temperatura

Canal del PLC	Dirección del PLC	Instrumento	Medición de parámetro.
0	IW132	Sensor de temperatura(RTD) (-50 a 150°C)	Temperatura de succión. Vilter 1A
1	IW134	Sensor de temperatura(RTD) (-50 a 150°C)	Temperatura de aceite Vilter 1A
2	IW136	Sensor de temperatura(RTD) (-50 a 150°C)	Temperatura de descarga. Vilter 1A
3	IW138	Sensor de temperatura(RTD) (-50 a 150°C)	Temperatura de succión Vilter 2A
4	IW140	Sensor de temperatura(RTD) (-50 a 150°C)	Temperatura de aceite. Vilter 2A
5	IW142	Sensor de temperatura(RTD) (-50 a 150°C)	Temperatura de descarga. Vilter 2A

6	IW144	Sensor de temperatura(RTD) (-50 a 150°C)	Temperatura de succión. Vilter 1B
7	IW146	Sensor de temperatura(RTD) (-50 a 150°C)	Temperatura de aceite. Vilter 1B
8	IW148	Sensor de temperatura(RTD) (-50 a 150°C)	Temperatura de descarga. Vilter 1B
9	IW150	Sensor de temperatura(RTD) (-50 a 150°C)	Temperatura de succión. Vilter 2B
10	IW150	Sensor de temperatura(RTD) (-50 a 150°C)	Temperatura de aceite. Vilter 2B
11	IW152	Sensor de temperatura(RTD) (-50 a 150°C)	Temperatura de descarga. Vilter 2B
12	IW154	Libre	Libre
13	IW156	Libre	Libre
14	IW158	Libre	Libre
15	IW160	Libre	Libre

Elaborado por: (Tipán, 2017)

Tabla 21. Entradas digitales del PLC

Dirección del PLC	Denominación	Uso
ID0.0	P0	Pulsador de emergencia.
ID0.1	T1	Térmico de Vilter 1A
ID0.2	T2	Térmico de Vilter 2A
ID0.3	T3	Térmico de Vilter 1B

ID0.4	T4	Térmico de Vilter 2B
ID0.5	Libre	Libre
ID0.6	Libre	Libre
ID0.7	Libre	Libre
ID1.0	Libre	Libre
ID1.1	Libre	Libre
ID1.2	Libre	Libre
ID1.3	Libre	Libre
ID1.4	Libre	Libre
ID1.5	Libre	Libre

Elaborado por: (Tipán, 2017)

Se asigna una sola entrada para cada térmico de cada motor, porque solo se toma en cuenta que una conexión estrella - triángulo tiene su propia protección en caso de sobrecarga y esta envía la señal de falla al PLC.

A futuro se recomienda cambiar esta conexión por un arrancador suave y se ocupará la misma entrada al igual que la misma salida programada.

Tabla 22. Salidas digitales del PLC

Dirección del PLC	Denominación	Uso
OD0.0	M1	Motor Vilter 1A
OD0.1	M2	Motor Vilter 2A
OD0.2	M3	Motor Vilter 1B
OD0.3	M4	Motor Vilter 2B
OD0.4	EV1	Electroválvula de control de capacidad de NH ₃ Vilter 1A
OD0.5	EV2	Electroválvula de control de capacidad de NH ₃ Vilter 1A
OD0.6	EV3	Electroválvula de control de capacidad de NH ₃ Vilter 2A
OD0.7	EV4	Electroválvula de control de capacidad de NH ₃ Vilter 1B
OD1.1	Libre	Libre
OD1.2	Libre	Libre

Elaborado por: (Tipán, 2017)

En las salidas digitales del PLC se asigna una salida a cada motor para que accione su arranque estrella – triángulo, porque el PLC envía una sola señal al contactor para enclavamiento del arranque del motor de cada compresor.

Las electroválvulas asignadas son para el compresor de succión Vilter 1A tanto para capacidad del 50 y 100 %, para el Vilter 2A que hace el paso a la etapa de descarga y para el compresor 1B que hace la descarga final del amoniac.

Lógica de control de compresores Vilter de NH3

Arranque de compresores de NH3

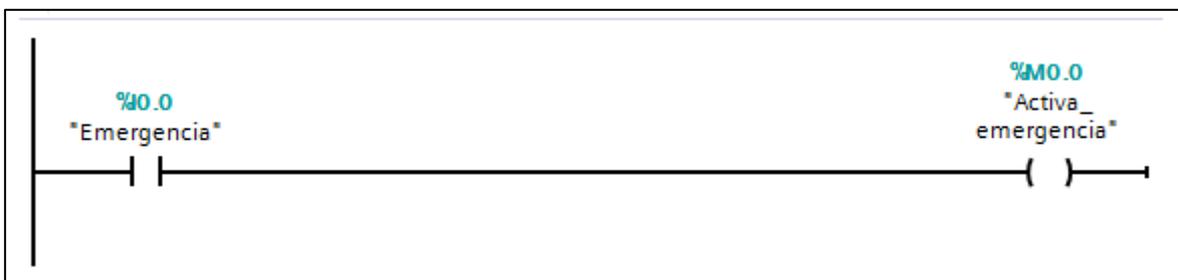
Se realiza un primer bloque de programación que indica la lógica de encendido y apagado del arranque estrella-triángulo de los motores de los compresores Vilter.

Los pulsantes de marcha y paro son táctiles programados en la HMI local, además para encender el equipo debe cumplir la condición de presión de agua sea mayor o igual 20 PSI.

Botón de emergencia

Este elemento es instalado por seguridad en caso de existir algún evento fuera de lo normal permite apagar todo el sistema con solo pulsar, a continuación, se muestra la programación del pulsador de emergencia.

Figura 22. Programación de pulsador de emergencia



Elaborado por: (Tipán, 2017)

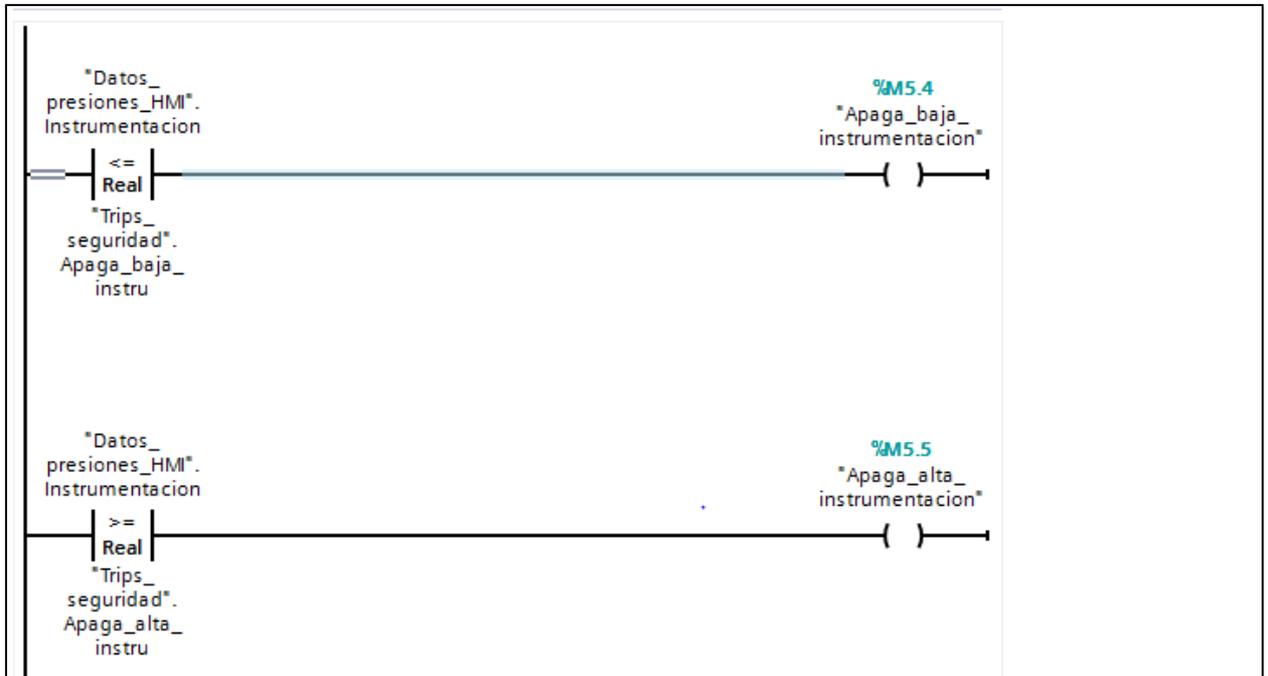
Control de capacidad de NH3

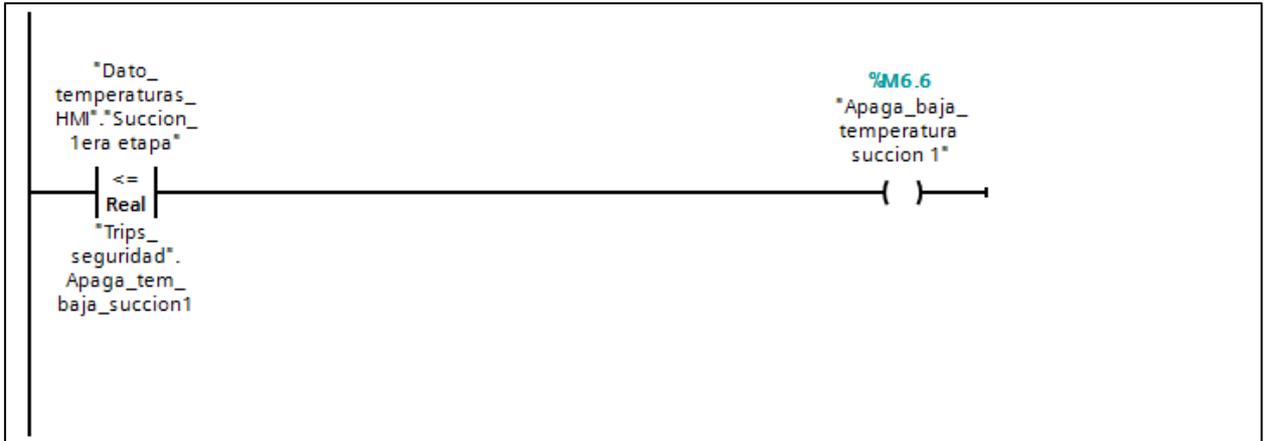
En esta parte se programa el encendido y apagado de las dos electroválvulas EV1 y EV2 de NH3 denominadas de 50 y 100%. La electroválvula de 50% permite trabajar al compresor a media carga, mientras que la electroválvula de 100% permite trabajar al compresor a plena carga. Cuando el compresor y las 2 electroválvulas están encendidos el sistema está trabajando con carga, si éstas se encuentran apagadas y el compresor encendido el sistema está en vacío (sin carga). El encendido y apagado de los elementos finales de control (electroválvulas) es manual o automático.

Trips de seguridad (Alarmas programadas)

En esta parte de la programación del PLC se activa las alarmas para el apagado automático de los compresores de NH3 en caso de existir valores fuera de rango ya sea por presión o temperatura.

Figura 23. Programación de trips o alarmas





Elaborado por: (Tipán, 2017)

Se debe tomar en cuenta que los datos adquiridos de los sensores de presión y temperatura han sido almacenados en una base de datos general en el programa para el correcto funcionamiento del equipo y con la lógica de programación adecuada y requerida, como se puede ver en la figura siguiente:

Figura 24. Lógica de programación variables

Datos_presiones_HMI								
	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Visible en ..	Valor de a..	Comer
1	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Aceite	Real	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	Agua	Real	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	Descarga_3era_etapa	Real	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	Instrumentacion	Real	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	Succion_1era_etapa	Real	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	Succion_2da_etapa	Real	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	Succion_3era_etapa	Real	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Elaborado por: (Tipán, 2017)

En la Figura 25 se puede observar variables de la programación designadas con el nombre específico del control que realizan y un check list o conocidos como condicionales, que indican los diferentes parámetros que se van a almacenar en una base de datos.

Figura 25. Lógica de programación check list de condicionales

	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Visible en ..	Valor de a..	Comen
1	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Entrada_agua	Real	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	Salida_agua	Real	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	Succion_1era etapa	Real	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	Descarga_1era etapa	Real	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	Succion_3era etapa	Real	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	Descarga_3era etapa	Real	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Elaborado por: (Tipán, 2017)

Trips de seguridad de compresores Vilter

Se implementa listas de alarmas o trips en función de los parámetros monitoreados, para permitir paros de máquina automáticamente con avisos sonoros y lumínicos que resguarden el proceso y las máquinas.

Los trips o alarmas son valores de seguridad que se dan en un rango, desde valor mínimo de funcionamiento permitido, hasta el valor máximo de funcionamiento permitido, según el criterio de manual de funcionamiento o recomendaciones del fabricante de los equipos.

Estos trips activan señales de alerta o de para de equipos para que estos no sigan funcionando en condiciones anormales y así de esta manera se protege a los equipos a las personas y al medio ambiente.

Baja- baja. Es el valor de alerta que envía la señal de detención del equipo por baja presión o temperatura.

Baja. Es el valor de pre alerta antes de enviar la señal de detención por baja presión o temperatura.

Alta. Es el valor de pre alerta antes de dar la señal de detención por alta presión o temperatura.

Alta-alta. Es el valor de alerta que envía la señal de detención del equipo por alta presión o temperatura.

Tabla 23. Trips de seguridad en compresores Vilter

Variable	Valor de trip o alarma			
	Baja-baja	Baja	Alta	Alta-alta
Temperatura Vilter 1A				
Succión de NH ₃	-32°C	-28°C	-25°C	0°C
Aceite	20°C	48°C	55°C	60 °C
Descarga de NH ₃	70°C	90°C	100°C	110°C
Presión Vilter 1A				
Presión de succión de NH ₃ .	-1 psi	2 psi	5 psi	10 psi
Presión de aceite	30 psi	50 psi	60 psi	75 psi
Presión de descarga de NH ₃	10 psi	25 psi	35 psi	60 psi
Temperatura Vilter 2A				
Succión de NH ₃	-15 °C	-6°C	-10°C	0 °C
Aceite	20 °C	48°C	55 °C	60 °C
Descarga de NH ₃	70°C	90 °C	100 °C	110°C
Presión Vilter 2A				
Presión de succión de NH ₃ .	15 psi	25 psi	35 psi	55 psi
Presión de aceite	30 psi	50 psi	60 psi	75 psi
Presión de descarga de NH ₃	120 psi	150 psi	170 psi	178 psi
Temperatura Vilter 1B				
Succión de NH ₃	-32°C	-28 °C	-25°C	0°C
Aceite	20°C	48 °C	55°C	60 °C
Descarga de NH ₃	70°C	90°C	100°C	110 °C
Presión Vilter 1B				
Presión de succión de NH ₃ .	-1 psi	2 psi	5 psi	10 psi
Presión de aceite	30 psi	50 psi	60 psi	75 psi
Presión de descarga de NH ₃	10 psi	25 psi	35 psi	60 psi
Temperatura Vilter 2B				
Succión de NH ₃	-15°C	-6°C	-10°C	0 °C
Aceite	20°C	48°C	55°C	60°C
Descarga de NH ₃	70°C	90 °C	100°C	110°C
Presión Vilter 2B				

Presión de succión de NH ₃ .	15 psi	25 psi	35 psi	55 psi
Presión de aceite	30 psi	50 psi	60 psi	75 psi
Presión de descarga de NH ₃	120 psi	150 psi	170 psi	178 psi

Elaborado por: (Tipán, 2017)

11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Se plantea aportar con la automatización a la estabilización de la producción, es decir, que al menos se produzca de 25500 a 26000 kg diarios de producción, ya que cuando existen problemas en los compresores se generan paras de planta que afectan a la producción, aproximadamente 1000 kg de CO₂ se pierden por cada hora de parada de las máquinas.

Para tener un valor estimado de cuanto aporta la automatización, primero se va a observar en los siguientes gráficos, cuál es la producción mensual y promedio diario de los 2 últimos años:

- El promedio de producción diario de la Planta de CO₂, para el año 2015 fue de 22577.5 kg para 365 días del año:

Figura 26. Producción de planta en 2015

CO2 PLANT 2015							
FECHA	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	
	31	28	31	30	31	30	
Total Production Net (kg)	612,833.0	659,383.0	783,841.8	787,720.0	661,130.0	770,029.0	
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
	31	31	30	31	30	31	365
	556,090.0	733,395.0	560,550.0	762,175.0	590,080.0	763,580.0	8,240,806.8

Fuente: (Linde Ecuador S.A., 2015)

- El promedio de producción de la Planta de CO₂, para el año 2016 fue de 24992.8 kg para 366 días del año:

Figura 27. Producción de planta en 2016

CO2 PLANT QUITO 2016						
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
	31	29	31	30	31	30
Total Production Net (kg)	835,520.0	789,710.0	734,905.0	612,815.0	792,610.0	772,585.0

Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
31	31	30	31	30	31	366
858,300.0	614,905.0	808,350.0	860,920.0	819,960.0	646,805.0	9,147,385.0

Fuente: (Linde Ecuador S.A., 2016)

- En lo que va del año 2017 se tiene una producción promedio de 25745.6 kg de producción diaria en 151 días contabilizados:

Figura 28. Producción de planta en 2017

CO2 PLANT QUITO 2017						
FECHA	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	
	31	28	31	30	31	
Total Production Net (kg)	847,055.0	733,160.0	714,175.0	791,410.0	801,800.0	

Fuente: (Linde Ecuador S.A., 2017)

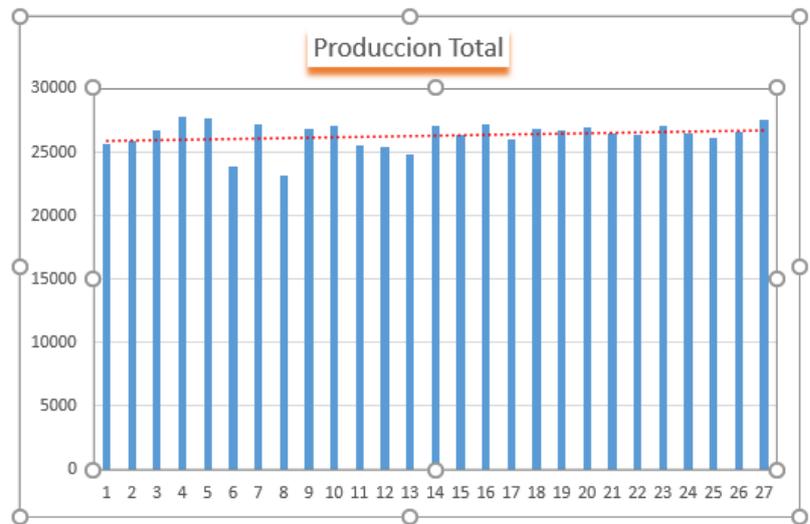
- Ahora para el mes de junio y en especial desde el día 15 de junio, fecha en la que los compresores empezaron a operar automáticamente, se tiene una mayor estabilidad de producción y un promedio de 26716 kg diarios de producción de CO2

Figura 29. Producción junio 2017:

	A	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	
1									INV. TANQUES				TRASVASES			
2	DIA	Producción Witt # 1	FLUJOMETRO Witt # 2	Producción Witt # 2		Produccion Total	T14	T100	T270	T50	AL TQ # 50	AL SEMITRAILER	DE CARBOGAS		PRODUCCIÓN LIC # 1	
3	31	20019	2054738			25680	8035	70670	31260	10520	9600	34960			25680	
4	1	20080	2054738			25950	2665	52880	27760	20700	19020	33590			25950	
5	2	20207	2054738			26705	5290	13110	53220	15880		38390			26705	
6	3	20287	2054738			27810	5770	33180	60480	11820					27810	
7	4	20090	2054738			27680	2470	53950	60100	14980	10590				27680	
8	5	19503	2054738			23900	7330	58460	35620	11560		39010			23900	
9	6	20015	2054738			27170	2310	39620	59240	15880	10510	16900			27170	
10	7	16615	2054738			23120	7700	57250	41080	12860	1000	17260			23120	
11	8	19923	2054738			26840	4100	36000	55280	19140	15950	21540			26840	
12	9	20310	2054738			27030	2590	29200	52740	15150		37880			27030	
13	10	18859	2054738			25520	840	49300	34880	18940	8550	16480			25520	
14	11	20153	2054738			25380	1970	40700	29380	12380		38350			25380	
15	12	17928	2054738			24820	8670	45130	13400	9710		29670			24820	
16	13	19374	2054738			27065	1355	26500	45100	3880		21310			27065	
17	14	19995	2054738			26365	9750	33650	27040	11250	12000	16880			26365	
18	15	20009	2054738			27235	4985	26750	40560	7160	5390	19990			27235	
19	16	20046	2054738			26020	1995	12140	36820	16920	9980	37380			26020	
20	17	20125	2054738			26805	1670	13860	33640	16280	7080	21510			26805	
21	18	19981	2054738			26730	8330	8290	42280	9960		17000			26730	
22	19	20384	2054738			26920	4390	20510	31520	14920	8040	21360			26920	
23	20	19822	2054738			26520	1380	11480	48840	11830		21240			26520	
24	21	20116	2054738			26365	4445	25780	25640	15490	10480	21720			26365	
25	22	20130	2054738			27125	1840	37200	22260	6400		21690			27125	
26	23	20113	2054738			26550	9230	44740	17200	2620		16680			26550	
27	24	20008	2054738			26100	3560	27500	14740	15520	17180	34290			26100	
28	25	20139	2054738			26625	7935	22880	20280	9150		21330			26625	
29	26	20059	2054738			27595	5670	28680	44340	6300					27595	
30	27	-6376682	2054738												-78690	
31	28		2054738													
32	29		2054738													
33	30		2054738													
34	31		2054738													
35	FINAL MES	-20019.0				685945					135,770	581,450			51630	
36																

Fuente: (Linde Ecuador S.A., 2017)

- Gráficamente también se puede ver que los valores de producción están más cercanos a la línea de tendencia en el mes de junio de 2017 y tienen menor variación (referirse a la Figura 30).

Figura 30. Gráfico de producción junio 2017

Fuente: (Linde Ecuador S.A., 2017)

- Económicamente el mantenimiento de los compresores Vilter en los últimos 2 años generaron \$48381.20 dólares de gasto por estos mantenimientos acorde a las tablas siguientes:

Figura 31. Listado de facturas de gasto en sistema de amoniaco en 2015

INGRESO DE FACTURAS 2015 - PLANTA CO2 QUITO					
No. Factura	Empresa	Fecha de emisión	Mes	Sub total	Concepto
001-001-000013596	INGREFRI	9	Enero	\$393.30	OCE Valvulas de globo soldables 1/2"
011-901-000001944	CONAUTO	9	Febrero	\$2,730.14	Aceites para equipos Planta CO2
001-001-000001685	PROVEATYMI	17	Marzo	\$1,976.39	Aislamiento de lineas de NH3
001-001-000014329	EMI	1	Abril	\$90.00	OCE Acoples Bushin de bronce
001-001-000001701	PROVEATYMI	14	Abril	\$1,198.23	OCE Aislamiento de tuberias 3 " NH3
001-001-000000707	CONTARDO CRISTIAN	22	Mayo	\$900.00	OCE Asistencia tecnica planta CO2
001-001-000000710	CONTARDO CRISTIAN	25	Mayo	\$1,700.00	Asistencia tecnica asesoria Planta
001-001-000002147	ELECTROVALLE	5	Junio	\$8,000.00	Mantenimiento de copresores VILTER
011-901-000008105	CONAUTO	11	Junio	\$1,440.66	Aceites Capella 68 y regal 150
001-001-000002151	ELECTROVALLE	10	Junio	\$1,950.00	Sello Mecánico KT 509
001-001-000014066	INGREFRI	10	Junio	\$1,119.10	OCE Valvulas de NH3 Hansen
001-001-000014957	INGREFRI	19	Octubre	\$2,972.55	Valvulas NH3 para instalacion Evapco
001-001-000001871	PROVEATYMI	9	Noviembre	\$1,156.52	Aislamiento térmico
			Total 2015:	\$25,626.89	

Fuente: (Linde Ecuador S.A., 2015)

Figura 32. Listado de facturas de gasto en sistema de amoniaco en 2016

INGRESO DE FACTURAS 2016 - PLANTA CO2 QUITO					
No. Factura	Empresa	Fecha de emisión	Mes	Sub total	Concepto
011-901-000018729	CONAUTO	1	Febrero	\$1,364.42	Aceite Capella 68 55 GLN
001-001-000002402	Electrovalle	15	FEBRERO	\$1,080.00	Transmisores de presión para condensadores evaporativos
001-001-000000305	Altamirano	2	MARZO	\$975.00	Trabajos en NH3
001-001-000000754	ING. CONTARDO	2	Marzo	\$1,100.00	OCE Asistencia técnica planta
001-001-000000119	JORGE COLA	14	Marzo	\$900.00	OCE Instalacione eléctricas mant
001-001-000015423	INGREFRI	21	Marzo	\$1,845.85	Valvulas para amoniaco
001-001-000001455	Fernando Silva	4	Abril	\$1,100.00	OCE Piola de polipropilenos, presostatos
001-001-000002496	ELECTROVALLE	18	Mayo	\$754.00	OCE Bobinas kit oring NH3
011-901-000024925	CONAUTO	6	junio	\$2,870.74	Aceites hidráulicos para planta CO2
001-001-000014942	MULTIFRIO	19	julio	\$767.65	OCE refrigerante y electrovalvula
001-001-000000130	Cola	4	AGOSTO	\$1,670.00	Trabajos electricos en la planta de CO2
001-001-000000761	ING. CONTARDO	19	Agosto	\$1,130.00	OCE Asistencia técnica planta
001-001-000016098	INGREFRI	6	Septiembre	\$1,906.65	Valvulas 58F Parker 220 /110 y reflief
001-001-000002652	ELECTROVALLE	4	Octubre	\$1,400.00	Mantenimiento de equipos de NH3
001-001-000015444	Talleres EMI	7	Noviembre	\$3,890.00	Fabricacion modificacion tapas partes
			Total 2016:	\$22,754.31	

Fuente: (Linde Ecuador S.A., 2016)

- Tomando en cuenta que en el proyecto se invirtió \$ 24483.39 dólares, y haciendo relación al gasto anual revisado, de los dos años anteriores registrados (\$48381.20 dólares), que son por mantenimientos correctivos, si se logra disminuir todos estos gastos anuales en sistemas de amoniaco estaríamos ahorrando \$24000 dólares en promedio, entonces se puede decir que el proyecto se paga en un año aproximadamente.
- Otra forma de analizar resultados es comparando la cantidad de horas de parada que se generan mensualmente y el gasto que generan estas paradas cuando son mantenimientos correctivos.

- Las horas de para por cada mes para el año 2015 fueron:

Figura 33. Horas de parada en el año 2015

CO2 PLANT 2015						
FECHA	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
	31	28	31	30	31	30
Total Production Net (kg)	612,833.0	659,383.0	783,841.8	787,720.0	661,130.0	770,029.0
Horas de Parada	98.0	21.0	29.0	27.0	153.0	59.0
Fresh Water	112.0	90.0	157.0	141.0	206.0	297.0
Promedio Día	3.6	3.2	5.1	4.7	6.6	9.9

Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
31	31	30	31	30	31	365
556,090.0	733,395.0	560,550.0	762,175.0	590,080.0	763,580.0	8,240,806.8
223.0	87.0	200.0	35.0	188.0	3.0	1,123.0
220.0	386.0	363.0	200.0	145.0	90.0	2,407.0
7.1	12.5	12.1	6.5	4.8	2.9	6.6

Fuente: (Linde Ecuador S.A., 2015)

1123 horas de parada x 16 USD por cada hora de parada = 17968 USD

Mes de junio de 2015 = 59 horas de parada

- Las horas de para por cada mes para el año 2016 fueron:

Figura 34. Horas de parada en el año 2016

CO2 PLANT QUITO 2016						
FECHA	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
	31	29	31	30	31	30
Total Production Net (kg)	835,520.0	789,710.0	734,905.0	612,815.0	792,610.0	772,585.0
Horas de Parada	108.0		145.0	14.0	27.5	
<i>Fresh Water</i>	45.0	15.0	19.0	770.8	785.9	513.9
<i>Promedio Día</i>	1.5	0.5	0.6	25.7	25.4	17.1

Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
31	31	30	31	30	31	366
858,300.0	614,905.0	808,350.0	860,920.0	819,960.0	646,805.0	9,147,385.0
1.0	195.0	25.0	2.0	173.0		690.5
674.0	518.4	776.6	521.6	565.9	580.9	5,787.0
21.7	16.7	25.9	16.8	18.9	18.7	15.8

Fuente: (Linde Ecuador S.A., 2016)

690,5 horas de parada x 16 USD por hora de parada = 11048 USD

Mes de junio de 2016 = 27.5 horas de parada

- En el mes de junio de 2017 y desde que se realizó la automatización no se registran horas de parada.

Con todo lo descrito se busca mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los compresores de amoniaco, porque en registros de años pasados se generaban procesos de mantenimiento que implican paras de producción con la pérdida de producto final lo cual genera gastos no previstos.

La disponibilidad de planta depende en gran medida del buen funcionamiento y confiabilidad de los equipos, al tener un sistema de monitoreo y control se permitirá proteger a los equipos se asegura de mejor manera la vida útil de los mismos, se evita daños catastróficos, esto es posible con alarmas sonoras, visuales, y protecciones que detengan los equipos para resguardarlos.

12. IMPACTOS

Técnicos

La automatización de los compresores de NH₃ impacta técnicamente en la disminución del mantenimiento correctivo al tener controlados los parámetros de funcionamiento todo el tiempo y, por ende, impacta en el aumento de productividad, al no detener la discontinuidad operativa ya que esta planta produce 24 horas al día y cada hora se produce una tonelada de producto.

Social

Socialmente el impacto se puede ver en la necesidad de la producción de CO₂, con el aporte para las diferentes industrias que ocupan el gas o el hielo seco y por este motivo impacta al crecimiento económico del país y de las familias como núcleo de la sociedad.

Activamente Linde Ecuador S.A., promueve planes de acción social con la comunidad con programas de sustentabilidad en sectores aledaños, como por ejemplo con la Escuela Alfredo Escudero situada en el sector quien se beneficia en fechas especiales como navidad, también se contribuye con el sector en el mantenimiento de carreteras rurales y con señalética.

Ambiental

Dentro de la industria local y externa se manejan estándares de calidad, salud y medio ambiente, el optimizar y controlar maquinaria como la descrita en el presente documento aporta ostensiblemente al cuidado ambiental ya que al tener mayor control se evita y/o controla los derrames de hidrocarburos, las emisiones atmosféricas y los distintos contaminantes que le hacen daño a nuestro planeta, el impacto ambiental en el caso de la Planta de CO₂ es un tema que engloba muchas variantes en las que se viene trabajando algunos años con el fin de certificarse como una empresa eco-eficiente y conseguir el sello verde que aporta en muchos aspectos a los diferentes campos visibles que tienen acción con la industria y la sociedad.

Económicos

El fin de toda industria sea pequeña o grande siempre será tener una utilidad y los mejores réditos en todo aspecto, en este caso el impacto económico que se verá generado será el que se plasme en la utilidad percibida, con la fundamentación de que, al tener mejor control, menos

paradas, la producción aumenta y entonces se dispone de más producto con mejor calidad que genera una ganancia palpable.

13. PRESUPUESTO

Tabla 24. Presupuesto

Resultados/Actividades	Primer año			
	1er Trimestre	2do Trimestre	3er Trimestre	4to Trimestre
Planeación del proyecto presentación y presupuestos	\$1000			
Aprobaciones y Adquisición materiales e insumos	\$9800	\$2000	\$763	\$7220.39
Implementación medición de resultados, mano de obra contratistas		\$1000		\$2700
Total	\$10800	\$3000,00	\$763	\$9920.39

Elaborado por: (Tipán, 2017)

Inversión total para proyecto de automatización = \$ 24483.39 USD

14. CONCLUSIONES

- Luego del análisis de los resultados obtenidos se puede concluir que las máquinas industriales requieren de un análisis previo de los sistemas mecánicos y eléctricos, con lo que se obtiene un estado claro, de cómo funcionan los equipos y cuáles son sus variables principales, así se genera controles más efectivos que dan como resultado una automatización confiable.
- Se concluye que los compresores de amoníaco son máquinas rotativas que se pueden proteger de manera técnica, con sensores e instrumentos análogos o digitales, para mayor confiabilidad y evitar averiar significativamente sus elementos o su integridad general.
- Con la instalación de transmisores de presión y temperatura en los compresores de amoníaco se tiene un control y monitoreo constante, con datos reales, comparables, medibles, que generan un registro histórico que se puede utilizar como referencia para análisis de resultados, tendencias de funcionamiento y así tomar decisiones en operación y mantenimiento.
- La automatización de compresores de amoníaco disminuyó las pérdidas de producción de CO₂, porque hasta el momento no se han tenido paradas inesperadas que ocasionen pérdida de tiempo en mantenimientos correctivos y que generen gastos no programados, siendo justamente eso el resultado que se esperaba.

15. RECOMENDACIONES

- Implementada la automatización desarrollar reportes electrónicos, en hojas de cálculo, descargando los datos almacenados en el PLC, de manera mensual como sugerencia, para llevar un histórico y un control más preciso de la operación y el funcionamiento.
- Se aconseja la instalación de arrancadores suaves (soft started) para los motores de los compresores, esto ayuda a ahorrar energía y mejora el control de los picos de arranque y su funcionamiento.
- Es importante conocer los procesos que van a intervenir en una automatización, porque pueden ser muy variados en la industria. En el caso de la industria de gases industriales, seleccionar los materiales adecuados, los cuales deben ser compatibles con los gases tratados, porque una selección incorrecta resulta en el daño de los elementos de la

máquina o lo que es peor en mantenimientos no programados con pérdidas de producción.

- Instalar sistemas de monitoreo y control de vibración en los compresores de amoníaco y de CO₂ porque son instrumentos que complementan la protección en especial en las máquinas rotativas.

16. BIBLIOGRAFIA

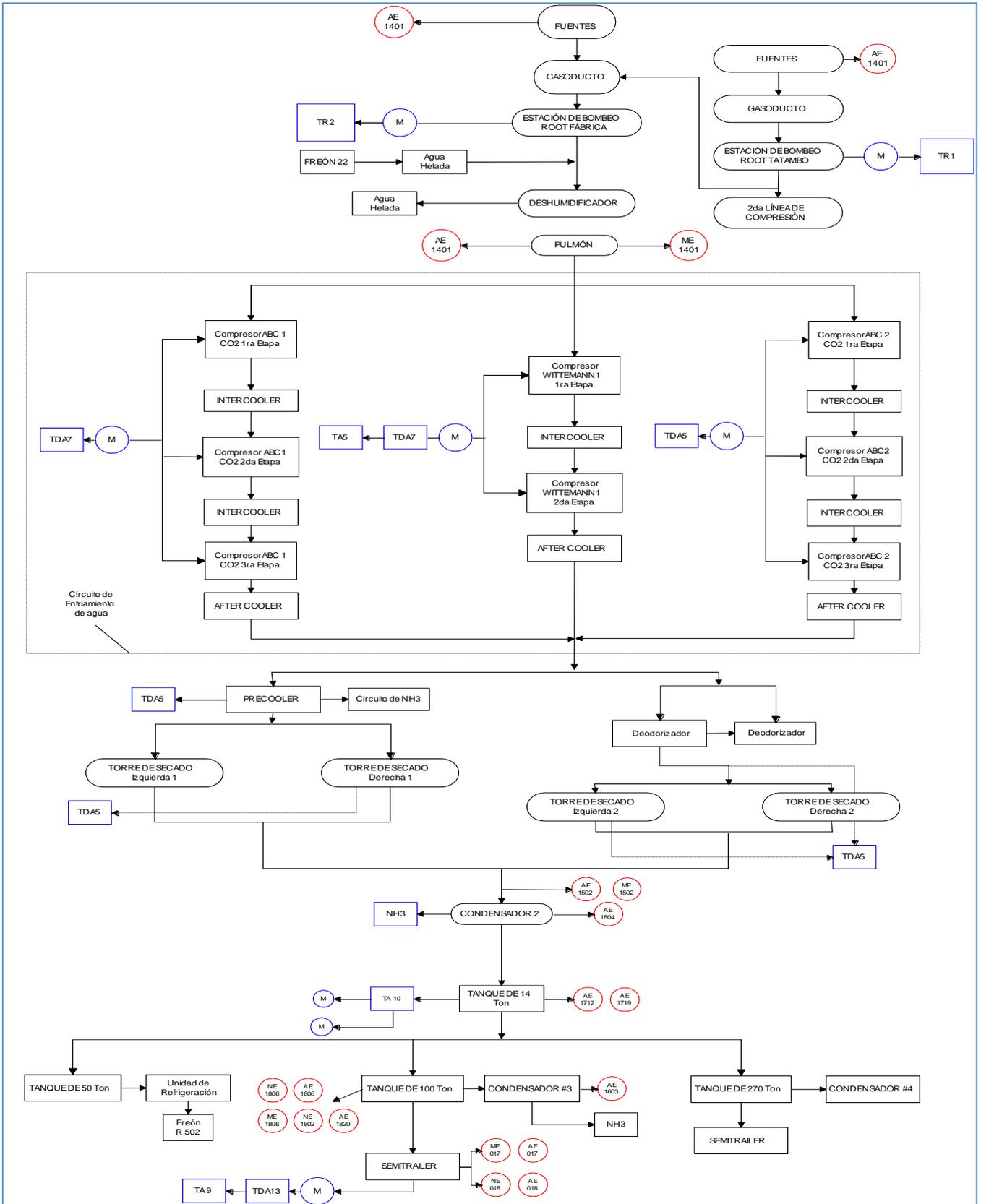
Bibliografía citada y consultada.

- Bencic, S. (2001). Síntesis de amoníaco promovida por catalizadores de hierro, por Sandra Bencic, del Departamento de Química de la Universidad del Estado de Michigan, año 2001. Obtenido de Síntesis de amoníaco promovida por catalizadores de hierro, por Sandra Bencic, del Departamento de Química de la Universidad del Estado de Michigan, año 2001: Síntesis de amoníaco promovida por catalizadores de hierro
- Bloch, H. a.-8.-5.-0. (1996).
- COFRICO. (octubre de 2010). <http://www.cofrico.com/newswp/blog/refrigeracion-con-amoniaco/>. Obtenido de <http://www.cofrico.com/newswp/blog/refrigeracion-con-amoniaco/>: <http://www.cofrico.com/newswp/blog/refrigeracion-con-amoniaco/>
- Contardo Jimenez, C. (2016). Curso de refrigeración industrial. Quito.
- EMERSON. (2010). Vilter compresor 450 XL.
- Emerson. (2016). Vilter History. Obtenido de <http://www.emersonclimate.com/en-us/Brands/Vilter/Pages/VilterHistory.aspx>
- Giancoli, D. G. (2004). Obtenido de Giancoli, Douglas G. (2004). Physics: principles with applications. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Education
- Ignacio Tuñón, E. O.-A. (2010). Química Física avanzada. Obtenido de Departamento de Química Física.
- K. Arencibia Avila, U. d. (2004). Análisis del comportamiento de la capacidad frigorífica en compresores herméticos en Cuba. Revista de Ingeniería Mecánica, 6.
- Linde. (2016). Biblioteca de Planta CO2 Quito, Manuales de Compresores Vilter. Machachi, Pichincha, Ecuador.
- Linde Ecuador S.A. (2015). Reportes de producción .
- Linde Ecuador S.A. (2016). Manual de Calidad, Manuales de Procesos Planta CO2 Quito. Machachi, Pichincha, Ecuador.
- Linde Ecuador S.A. (2017). Reportes de producción .
- Majumdar, S. (1998). Sistemas neumáticos. McGraw-Hill.
- R. Goytisol Espinosa, N. A. (2002). Análisis de las causas y efectos de la avería de compresor de amoníaco en Frigorífico de la ciudad de Cienfuegos. Revista de Ingeniería Mecánica, 2.
- REFRISA, 2009, Cevallos Salvador. (Nov 2009). GUIA PARA USO SEGURO DEL AMONIACO. GUIA PARA USO SEGURO DEL AMONIACO (págs. 1-18). Guayaquil: Ing. Rodrigo Cevallos Salvador.
- Safe-gauge. (2015). Hoja técnica de transmisores de presión.

- SC.ehu.es. (2001). Obtenido de
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm>
- Siemens CD, P. (2015). Obtenido de
<https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simati>
- Tipán, S. D. (2017). Investigación de campo. Machachi- Quito- Latacunga.
- Watlow. (2013). Hoja técnica de transmisor de temperatura, RTD.

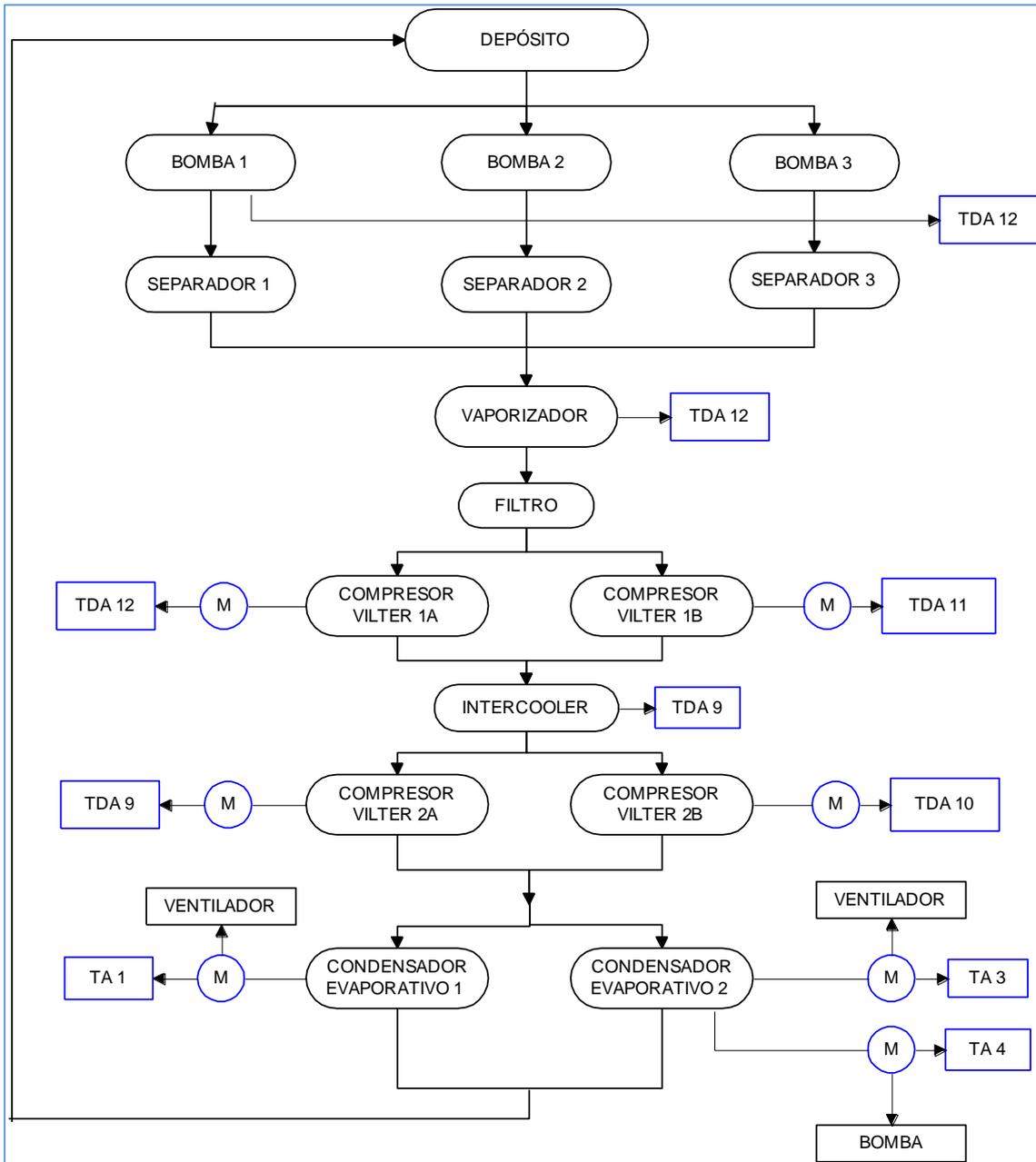
ANEXOS

Flujograma de producción de CO₂



Fuente: (Linde, 2016)

Flujograma de uso de amoniaco



Fuente: (Linde, 2016)

Tabla de fotografías antes y después de automatización de compresores Vilter de amoniaco



Antes	Después
Vilter 1A	
Vilter 1B	

Vilter 2A



Vilter 2B



Tableros de control



Elaborado por: (Tipán, 2017)