

**DISEÑO DE UN ACCIONAMIENTO ELÉCTRICO PARA EL SISTEMA DE BOMBEO DE
TANQUEROS DE DISTRIBUCIÓN DE LÍQUIDOS CRIOGÉNICOS DE LA EMPRESA
CRYOGAS GRUPO AIR PRODUCTS.**

LEIDER ANDRES PERALTA ESTUPIÑAN

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
DUITAMA
2022**

**DISEÑO DE UN ACCIONAMIENTO ELÉCTRICO PARA EL SISTEMA DE BOMBEO DE
TANQUEROS DE DISTRIBUCIÓN DE LÍQUIDOS CRIOGÉNICOS DE LA EMPRESA
CRYOGAS GRUPO AIR PRODUCTS.**

LEIDER ANDRES PERALTA ESTUPIÑAN

**Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**Director del proyecto
ING.MSc. JUAN DAVID RIVERA NIQUEPA**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
DUITAMA
2022**

Nota de aceptación:

Firma del director de escuela

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

Este trabajo de grado va dedicado primero a Dios por darme la sabiduría paciencia y oportunidad de vivir esta gran experiencia en mi vida, quien ha sido mi guía y fortaleza en los momentos difíciles.

A mis padres Luisa Estupiñán y Mauricio Peralta quienes, con su apoyo incondicional, paciencia y sacrificio me permitieron cumplir hoy una de mis metas, siendo siempre el ejemplo de esfuerzo y valentía que tanto necesite.

A mi Hermana Xiomara Peralta y mi sobrina María Blanco, por su cariño, compartir momentos significativos y siempre estar dispuestas a escucharme y ayudarme en cualquier momento.

A mis amigos y compañeros de la universidad con quienes compartí estos años de esfuerzo y dedicación, por extender su mano en los momentos difíciles y ser los acompañantes de esta gran travesía.

Finalmente, a mi novia Gissell Mesa la cual con su amor y paciencia me ha permitido culminar esta meta académica, motivándome en cada reto que me enfrente día a día en este camino laboral y académico.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien me permitió estar cumpliendo mis sueños día a día junto a las personas que quiero.

Mi profundo agradecimiento al ingeniero magister Juan David Rivera y al ingeniero Héctor Andrés Cotes mis directores de proyecto, por su paciencia y enseñanzas que me dejaron a lo largo de este camino en mi práctica profesional.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, a la escuela de ingeniería electromecánica, a sus profesores quienes con las enseñanzas de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación y apoyo incondicional.

Finalmente, a la empresa Cryogas Air Products, por darme la oportunidad de aprender día a día, capacitándome y enseñándome día a día a lo largo de este periodo de práctica profesional, a mis compañeros en la planta Barbosa por su acogida y gran disposición de enseñanza y trabajo en equipo.

CONTENIDO

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS	5
CONTENIDO	6
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABLAS	9
RESUMEN	10
INTRODUCCION	12
CAPITULO UNO	15
1.1. Fundamentos	16
1.1.1. Cryogas- reseña histórica	16
1.1.2. Definiciones generales	16
1.2. Unidad de separación del aire (ASU)	19
1.2.1. Filtración del aire	20
1.2.2. Compresión	20
1.2.3. Enfriamiento	21
1.2.4. Purificación e intercambio de calor	21
1.2.5. Expansión	21
1.2.6. Destilación	22
1.2.7. Almacenamiento de líquido	22
1.3. Suministro de productos	23
1.4. Distribución de líquidos	24
1.5. Entrega de producto a cliente	26
1.6. Análisis de daños	26
1.7. Elementos de accionamiento de descarga de liquido	27
1.7.1. Bomba GBS 155	27
1.7.2. Motor de 9 puntas	28
CAPITULO DOS	32
2.1. Exigencias de la empresa	33
2.1.1. Espacio	33
2.1.2. Fuente de alimentación	33
2.1.3. Funciones	33
2.1.4. Marca	33
2.1.5. Niveles de Tensión	33
2.1.6. Potencia	34
2.1.7. Protecciones	34

2.1.8.	Tecnológicas _____	34
2.1.9.	Tipo de arranque _____	34
2.2.	Memorias de cálculos _____	34
2.2.1.	Datos de placa motor Leroy somer _____	34
2.2.2.	Corriente Nominal (In) _____	35
2.2.3.	Selección del cable _____	35
2.2.4.	Regulación _____	37
2.3.	Selección de protecciones _____	38
2.3.1.	Protección termomagnética _____	38
2.3.2.	Relés Térmicos _____	38
2.3.3.	Sobre corriente adicional _____	39
2.3.4.	Nivel de tensiones _____	39
2.3.5.	Ausencia de fase _____	39
2.4.	Elementos de control adicionales _____	40
2.4.1.	Contactores _____	40
2.4.2.	Control de temperatura _____	41
2.4.3.	Selección de tensión _____	41
2.5.	Señalización y mediciones. _____	42
2.6.	Botones y luces piloto. _____	42
2.7.	Plano de potencia _____	43
2.8.	Plano de control _____	44
2.8.1.	Modo de operación automático _____	44
2.8.2.	Modo de operación manual _____	45
2.9.	Planos mecánicos y de espacios _____	46
2.10.	Propuesta económica _____	48
CAPITULO TRES	_____	49
3.1.	Aceptación de la propuesta _____	50
3.2.	Selección del Tanquero _____	50
3.3.	Construcción del tablero eléctrico. _____	52
3.4.	Prueba sin carga _____	54
3.5.	Prueba en vacío _____	55
3.6.	Prueba a plena carga (Instalado en el tanquero) _____	56
CONCLUSIONES	_____	58
ANEXOS	_____	59
BIBLIOGRAFÍA	_____	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Componentes del aire	19
Figura 2.	Etapas de proceso ASU.....	20
Figura 3.	Cold box	22
Figura 4.	Almacenamiento de liquido	23
Figura 5.	Suministro de producto a clientes.....	23
Figura 6.	Red de abastecimiento de clientes con múltiples plantas ASU.....	25
Figura 7.	Distribución de producto a clientes con tanquero	25
Figura 8.	Bomba GBS 155 acoplada a motor	28
Figura 9.	Clasificación general de motores eléctricos	29
Figura 10.	Conexión del motor 9 hilos estrella interna.	30
Figura 11.	Borneras de conexión motor 9 hilos estrella interna.	30
Figura 12.	Dimensiones motor Leroy Somer y bomba Cryostar GBS 155	31
Figura 13.	Tabla 310-17 Norma técnica colombiana (NTC).....	36
Figura 14.	Constantes para el calculo de la caída de tensión.	37
Figura 15.	Tipo de conexión motor BT/AT.....	40
Figura 16.	Control de flujo masico.	41
Figura 17.	Selección nivel de tensión	42
Figura 18.	Diagrama unifilar.	43
Figura 19.	Plano de control	44
Figura 20.	Plano de espacios gabinete.....	46
Figura 21.	Tapa del gabinete eléctrico.....	47
Figura 22.	Guía de clasificaciones IP.....	47
Figura 23.	Tanquero 11006.	50
Figura 24.	Estado interior gabinete tanquero 11006.....	51
Figura 25.	Posicionamiento de materiales de potencia y control.....	52
Figura 26.	Cableado de potencia	53
Figura 27.	Resultado tablero eléctrico.	54

Figura 28.	<i>Prueba en vacío.....</i>	55
Figura 29.	<i>Prueba con carga.....</i>	57

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Composición del aire limpio y seco normal.</i>	21
Tabla 2.	<i>Ordenes de mantenimiento relacionadas a tanqueros FY21.....</i>	26
Tabla 3.	<i>Costos en ordenes de mantenimiento.....</i>	27
Tabla 4.	<i>Cantidad de fallas y costos asociado a la causa</i>	27
Tabla 5.	<i>Datos técnicos bomba GBS 155</i>	28
Tabla 6.	<i>Dimensiones motor Leroy Somer y bomba Cryostar GBS 155.....</i>	31
Tabla 7.	<i>Corrientes de diseño</i>	35
Tabla 8.	<i>Cálculo de regulación.....</i>	38
Tabla 9.	<i>Cotizaciones de instalación</i>	48
Tabla 10.	<i>Precio de instalación en flota por planta</i>	48
Tabla 11.	<i>Resultados prueba en vacío.</i>	56
Tabla 12.	<i>Resultados prueba con carga.....</i>	57

RESUMEN

En el presente trabajo se realizará un estudio técnico económico y posterior implementación de un accionamiento eléctrico para el sistema de bombeo de los tanqueros de distribución de líquidos criogénicos de la empresa Cryogas grupo Air Products, compuesta de 5 plantas generadoras de líquido, 12 plantas de llenado de cilindros y 33 tanqueros distribuidores de líquido criogénico de los cuales transportan oxígeno, nitrógeno, CO₂ (Dióxido de carbón) y argón a cada uno de sus clientes, los cuales son entre otros: laboratorios, hospitales, clínicas, universidades, fundaciones, corporaciones, centros de salud, siderúrgicas, petroleras y cooperativas.

El manejo de líquidos criogénicos exige un diseño muy especial de los recipientes destinados a contener estas sustancias y en sus sistemas de bombeo se manejan algunas condiciones críticas, tales como: baja temperatura (<-150° C), compatibilidad de materiales, alta presión y otras, deben poseer un sistema de aislamiento de alto vacío, teniendo un gran componente de calidad para garantizar la menor transferencia de calor desde el medio ambiente hasta el interior donde se almacenan los productos en fase líquida, coexistiendo con la fase gaseosa (equilibrio) y el uso de diferentes niveles tensiones de alimentación (220V-440V), como dato inicial para el diseño se tiene la bomba GBS 155/4.5-6.6-c/3 Cryostar y un motor trifásico de 9 hilos de 25 kW, se usa principalmente para la conexión de varios niveles de alimentación de tensión con una relación de 2 a 1, en este caso se usa la conexión estrella y doble estrella debido a que tiene una conexión de estrella interna.

Se evaluarán los requerimientos del equipo de mantenimiento y del equipo de distribución de líquidos, para consolidarlos y poder integrar el accionamiento tanto funcional como robusto, para lo cual se efectuaran los cálculos correspondientes y un estudio de protecciones, además se realizara un análisis de espacios mecánicos para la instalación y la realización de un estudio

de observación de mercado con los proveedores inscritos, y evaluación de los componentes de la industria, con base a esto se realiza una propuesta para la evaluación desde las gerencias del área de producción con el uso de cálculos, planos y simulaciones, además de un análisis del número de fallos y costo que tuvo en repuestos y servicios de instalación para el área de mantenimiento.

Por último, se implementará el montaje del accionamiento diseñado, y se demostrarán los distintos resultados de las pruebas hechas antes del montaje del accionamiento en el tanquero como prueba de vacío, prueba de fase caída y posterior al montaje, como prueba a plena carga y prueba de sobre corriente.

INTRODUCCION

Air Products es una empresa de gases industriales líder en el mundo que opera desde hace 80 años, centrada en el sector de la energía, el medio ambiente y los mercados emergentes; la empresa suministra gases industriales esenciales, equipos y aplicaciones a clientes de diversas industrias, como la del petróleo, la química, la metalúrgica, la electrónica, la industria manufacturera y la alimentaria.

Air Products es también el líder mundial en el suministro de tecnología y equipos de proceso de gas natural licuado, la Compañía desarrolla, diseña, construye, posee y opera algunos de los mayores proyectos de gas industrial del mundo, incluyendo proyectos de gasificación que convierten de forma sostenible los abundantes recursos naturales en syngas para la producción de energía, combustibles y productos químicos de alto valor; proyectos de captura de carbono; y proyectos de hidrógeno libre de carbono a escala mundial que apoyan el transporte global y la transición energética (Cryogas, 2022)

Esta compañía usa 3 métodos de entrega a los clientes para la unidad de separación del aire (ASU) que dependen del consumo de este, estos son: por tubería directa al cliente, por cilindros de gas comprimido, y para producto líquido entrega por tanqueros, siendo este último el referente en el cual nos centraremos para el desarrollo de este proyecto. Este medio de entrega cuenta con un sistema de descarga el cual tiene un motor de 9 puntas de 25kW, el cual es un motor trifásico de inducción que funciona en la industria para el uso de dos niveles de tensión diferentes normalmente con una relación de 2 a 1, y una bomba GBS155/4.5-6.6-c/3 de 100 GPM (Galones por minuto).

En el año fiscal FY22 (Corresponde al periodo de tiempo entre el 1 de octubre de 2021 a 30 de septiembre de 2022) Air Products Colombia tuvo un total de 280 Ordenes de mantenimiento Correctivo de los tanqueros del cual se contempla un gasto de \$ 248.554.345 COP; las fallas de funcionamiento del tablero eléctrico de los tanqueros de distribución de líquidos por un daño

eléctrico o mecánico genera costos grandes para la empresa, no solo en los repuestos necesarios para su puesta en marcha sino también en producto que se deja de vender a los clientes, tiempos adicionales de los conductores y del tanquero, y un viaje adicional para suministrar el producto que se dejó de vender por un fallo en la bomba o en el motor.

La distribución de líquidos es una tarea que día a día se debe mejorar en la ejecución como en los recursos tecnológicos para el crecimiento de la empresa, esta tarea es fundamental debido a que es la cara con el cliente final, aparte que al ser un recurso medicinal se tiene la obligación de realizar esta tarea con los estándares de calidad adecuados para mantener el grado de pureza del líquido criogénico de la forma más eficiente posible debido a la necesidad de este con la vida humana, ya que al ser un recurso usado en hospitales y clínicas se considera de alta responsabilidad el disponer del mismo con una calidad adecuada para preservar las vidas humanas que dependen de este.

Los daños se redujeron a cuatro factores globales: mala manipulación de parte de los conductores, red eléctrica del cliente defectuosa, detección de fallas tardías y personal cualificado para atención de fallas en lugares de difícil acceso; el accionamiento eléctrico que se diseñó pretende solucionar estas cuatro fallas generales realizando un accionamiento automático para evitar la errónea manipulación de los conductores, y a su vez implementar un sistema de detección de calidad de la red eléctrica con detección de fallas; el proyecto está delimitado por el uso de tecnología, al estar en movimiento en un tanquero e ir a diferentes destinos geográficos, con difícil acceso a un mantenimiento calificado, tales como el cerrejón es por esto que se decide usar la lógica cableada, debido a que no se quiere contar con equipos que demanden mucho conocimiento técnico a la hora de un mantenimiento correctivo en clientes donde la accesibilidad es complicada y costosa.

La elección de los diferentes elementos que conformaran el accionamiento estará guiada por los costos y la experiencia de la empresa en sus años de trabajo, ya que se tiene un

presupuesto limitado para este proyecto y será aportado en su totalidad por la empresa Cryogas grupo air products.

El alcance del proyecto está limitado a la elaboración de planos, memorias de cálculo, listado de equipos y diseño del accionamiento para una revisión posterior y una ejecución aprobada por Cryogas, el análisis de costos se realiza contemplando cotizaciones de proveedores de la empresa y revisando el costo global por tanquero, así mismo se revisará el beneficio de hacerlo con personal de la empresa.

Para la implementación se tendrá en cuenta cuatro pruebas determinantes: Funcionamiento de control, que se limitara a conectar el tablero y ver el funcionamiento sin el motor de 9 puntas conectado, en vacío, consiste en ver la maniobra del accionamiento de este motor conectado sin carga; a plena carga consiste en conectar el accionamiento a un tanquero y poner el producto en recirculación para ver el funcionamiento del motor a plena carga, y llevarlo a condiciones de sobrecarga asistida, para ver el trabajo y el tiempo de ejecución de las protecciones y por último, la fase caída, que cosiste en simular en la planta una fase faltante en el sistema y verificar que el accionamiento interactúe como se diseñó, estas pruebas se realizaran en la planta Barbosa con la coordinación de mantenimiento mecánico y eléctrico presentes para su visto bueno.

CAPITULO UNO

En este primer capítulo se presentan los fundamentos teóricos que ayudan a comprender el diseño de un accionamiento eléctrico para el sistema de bombeo de tanqueros de distribución de líquido, así como un recorrido empresarial, las etapas de generación del producto criogénico, y la teoría del motor de 9 puntas.

1.1. Fundamentos

1.1.1. Cryogas- reseña histórica

En 1946 inicia operaciones como Indugas, dando oxígeno a clínicas y hospitales, en 1979 inicio operaciones como Cryogas dando uso al oxígeno para medios industriales, en 1991 Apertura de Planta Sibaté, Cundinamarca. Se implementa el uso de alta tecnología, enfocada en los procesos productivos de los clientes a través de aplicaciones con oxígeno, nitrógeno y argón, en 1996 se da apertura a planta Barbosa, Antioquia ampliando la capacidad de producción, en 1997 se realiza la comercialización de soldadura y gases especiales; Cryogas en el año 2008 compra acciones de Indura Chile; el cual ocupa el primer lugar en el mercado de gases y soldaduras en ese país y cuenta con operaciones directas en Chile, Colombia, Argentina, Ecuador, Perú y México; además de una red que cubre a toda la región y a Norteamérica.

Desde el 2012 hace parte del grupo Air Products, el cual es el proveedor mundial de procesos atmosféricos y gases especiales, materiales de rendimiento, equipos y tecnología, es también el distribuidor de soluciones innovadoras para la energía, el medio ambiente y los mercados emergentes, permitiendo a sus clientes ser más productivos, eficientes y sostenibles; cuenta con un portafolio único de gases atmosféricos, gases de proceso y especiales, materiales de altas prestaciones, equipamientos y servicios asociados, tiene ventas de US10 billones y es la empresa No. 265 en las "Fortune 500".

1.1.2. Definiciones generales

- **BAC**

Booster Air Compressor, que quiere decir compresor de aire de refuerzo, es una máquina que succiona el aire y por medio de procesos mecánicos disminuye el volumen de la cantidad de aire succionado, permitiendo que el aire se comprima y pueda ser depositado en tanques de almacenamiento. (Ospitia Torres, 2009).

- **Criogenia**

La ciencia y la tecnología que se ocupa del comportamiento de los materiales a temperaturas muy bajas, normalmente $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-238\text{ }^{\circ}\text{F}$) o menos.

- **GAN**

Nitrógeno en estado gaseoso, es un gas incoloro, inodoro y sin sabor, no tóxico y casi totalmente inerte, es un gas no inflamable y sin propiedades comburentes. se combina sólo con algunos de los metales más activos, como litio y magnesio, formando nitruros; a temperaturas muy altas puede combinarse con hidrógeno, oxígeno y otros elementos.

Sus principales usos son: como atmosfera inerte protectora o aislante, a modo de gas inerte para remoción de gases disueltos en líquidos (desgasificación) y para agitación de líquidos, como agente de limpieza y secado, en química y petroquímica. (Cryogas Air Products, 2022)

- **GAR**

Argón en estado gaseoso, es el más abundante de los gases raros del aire (0,9% en vol.). es incoloro, inodoro y sin sabor. es un gas no tóxico, no inflamable, un 30% más pesado que el aire.

Es extremadamente inerte, caracterizado por una perfecta estabilidad física y química, a cualquier temperatura y presión. Excelente conductor de electricidad.

Entre sus principales usos están: soldadura en atmósfera de gas neutro (procesos MIG, TIG, plasma), en la industria metalurgia y siderurgia para tratamientos térmicos en atmósfera protectora, desgasificación y desulfuración, en electricidad y electrónica, para relleno de ampollitas, tubos fluorescentes, tubos de radio, entre otros, en los que previene la oxidación de los filamentos incandescentes. (Cryogas Air Products, 2022)

- **GOX**

Oxígeno en estado gaseoso, El oxígeno, gas que hace posible la vida y es indispensable para la combustión, constituye más de un quinto de la atmósfera (21% en volumen, 23% en peso).

Este gas es inodoro, incoloro y no tiene sabor, todos los elementos (salvo gases inertes) se combinan directamente con él, usualmente para formar óxidos, reacción que varía en intensidad con la temperatura.

Su uso esta dividió en dos categorías: medicinal, se usa en hospitales, clínicas para pacientes con enfermedades respiratorias o más frecuentemente en las unidades de cuidados intensivos, con pacientes en estado crítico que no pueden realizar el proceso de respiración por sí mismos, y en el uso industrial por sus propiedades comburentes, es corrientemente usado en procesos de combustión para obtener mayores temperaturas, en mezclas con acetileno u otros gases combustibles, es utilizado en soldadura y corte oxigas, por sus propiedades oxidantes, es utilizado en diversas aplicaciones en siderurgia, industria papelera, electrónica y química. (Cryogas Air Products, 2022)

- **HP/LP columb**

High Pressure/Low Pressure Distillation column, columna de destilación a alta presión/baja presión

- **LAR**

Argón en estado líquido, con una presión atmosférica y temperatura inferior a -186°C es un líquido incoloro, más pesado que el agua.

- **LIN**

Nitrógeno en estado líquido, con una presión atmosférica y temperatura inferior a -196°C , es un líquido incoloro, un poco más liviano que el agua, aparte de sus múltiples usos en estado gaseoso en estado líquido se usa para enfriamientos en la industria petrolera y congelamientos acelerados criogénicos.

- **LOX**

Oxígeno en estado líquido, con una presión atmosférica y temperaturas con un valor inferior a -183°C , es un líquido ligeramente azulado, un poco más pesado que el agua.

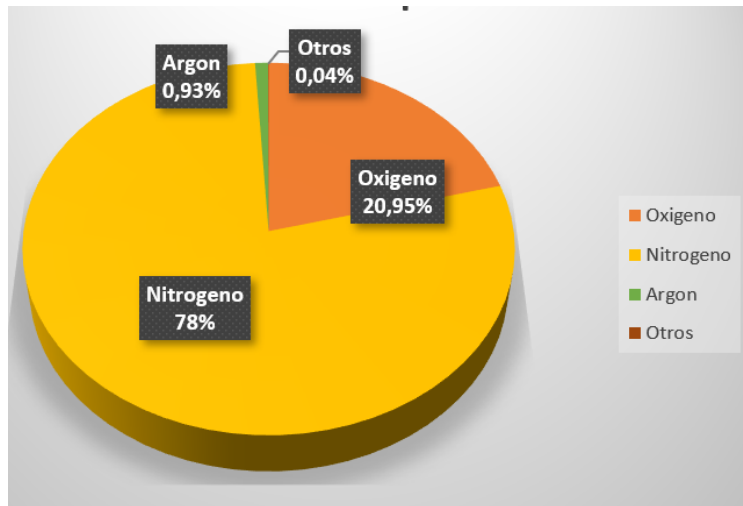
- **MAC**

Main Air Compressor, Compresor de aire principal este al igual que BAC es una máquina que succiona el aire y por medio de procesos mecánicos disminuye el volumen de la cantidad de aire succionado, la diferencia está en la potencia en el sistema de succión y compresión manejando rangos de presión más altos, su ubicación esta posterior al filtro de aire inicial debido a que con este se empieza el proceso de compresión luego de un filtrado inicial.

1.2. Unidad de separación del aire (ASU)

Como lo podemos ver en la figura 1, los principales componentes del aire son: nitrógeno, oxígeno y argón, la unidad de separación del aire consiste en separar los principales componentes mediante destilación a bajas temperaturas.

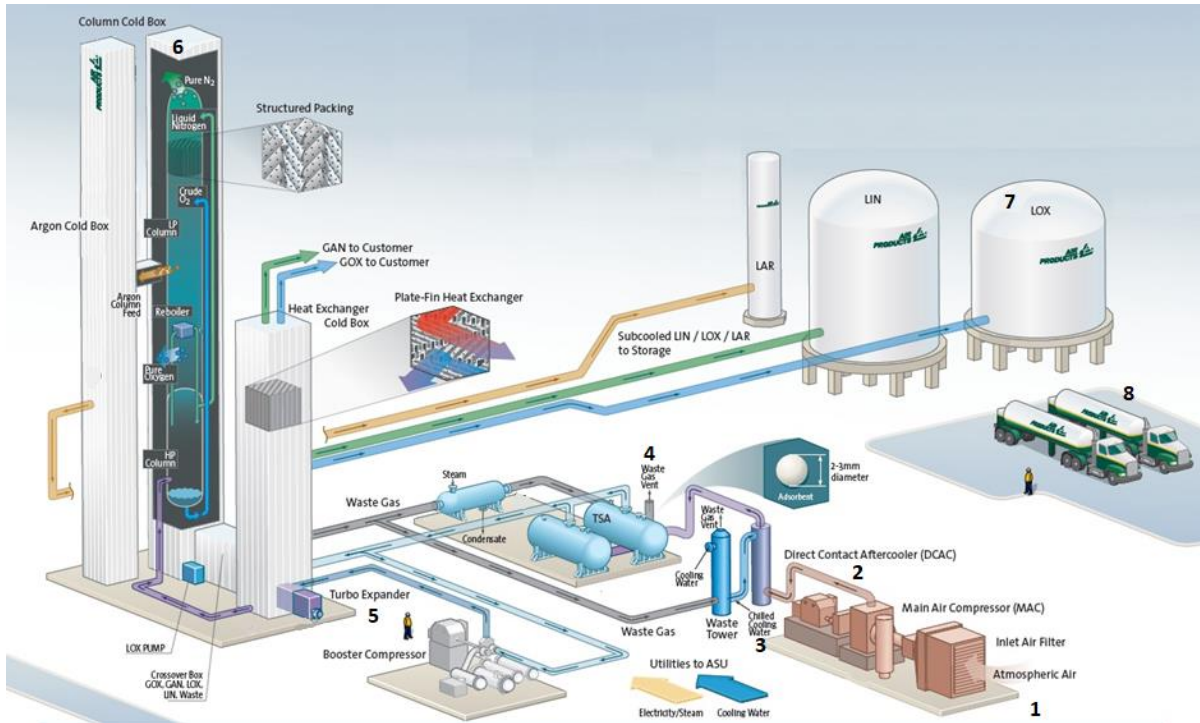
Figura 1. Componentes del aire



Fuente: Productos del aire (Air Products and Chemicals, 2021)

Como se ve en la figura 2 la materia prima es aire y agua, y produce GAR, GAN, GOX, LAR, LIN, LOX en diferentes etapas del proceso, los cuales se dividen en 8 procesos generales: filtración de aire, compresión, enfriamiento, purificación e intercambio de calor, expansión, destilación, almacenamiento de líquido y suministro de producto, las cuales están enumeradas en la figura 2 y se explicaran a continuación.

Figura 2. Etapas de proceso ASU



Fuente: (Air Products and Chemicals, 2021)

1.2.1. Filtración del aire

Es la primera etapa se hace una limpieza de la materia prima, es una limpieza más general, se elimina partículas de polvo, microorganismos, compuestos que impurifican los productos y demás. En este filtrado se eliminan las partículas gruesas que puedan ocasionar un daño mecánico en los compresores, esta se puede observar en la figura 2 como item 1.

1.2.2. Compresión

En esta segunda etapa el aire pasa por un grupo de compresores que suben su presión hasta un valor aproximado de 70 psi, la presión nominal de los compresores esta alrededor de 95 psi. Después se calienta el aire para eliminar humedad en el mismo, esta se puede observar en la figura 2 como item 2.

1.2.3. *Enfriamiento*

El aire se enfría a un valor alrededor de 20°C mediante unos intercambiadores de calor y usando agua natural, aparte de esta función el agua funciona como refrigerante de los compresores, esta se puede observar en la figura 2 como item 3.

1.2.4. *Purificación e intercambio de calor*

A pesar de la filtración de aire se requiere una purificación debido a que el aire trae compuestos que pueden ser peligrosos para el proceso de destilación, estos componentes observables en la tabla 1, aunque en pequeñas cantidades, no deben presentarse ya que no debe haber unidades que no sean nitrógeno oxígeno y argón, por esta razón se hace necesaria la etapa de purificación por filtros. La tubería principal de este proceso pasa por un intercambiador de calor con la línea de salida del producto a contracorriente, de esta manera se puede aprovechar esta temperatura criogénica que tiene el producto y lleva el producto que va por la línea principal casi a la temperatura de licuefacción, esta se puede observar en la figura 2 como item 4.

Tabla 1. Composición del aire limpio y seco normal.

COMPONENTE	CONCENTRACION
NITROGENO	78.084 vol%
OXIGENO	20.946 vol%
ARGON	0.934 vol%
NEON	18.18ppmv
HELIO	5.24 ppmv
KRYPTON	1.14ppmv
ZENON	0.087ppmv

Fuente: (Air Products and Chemicals, Inc, 2000)

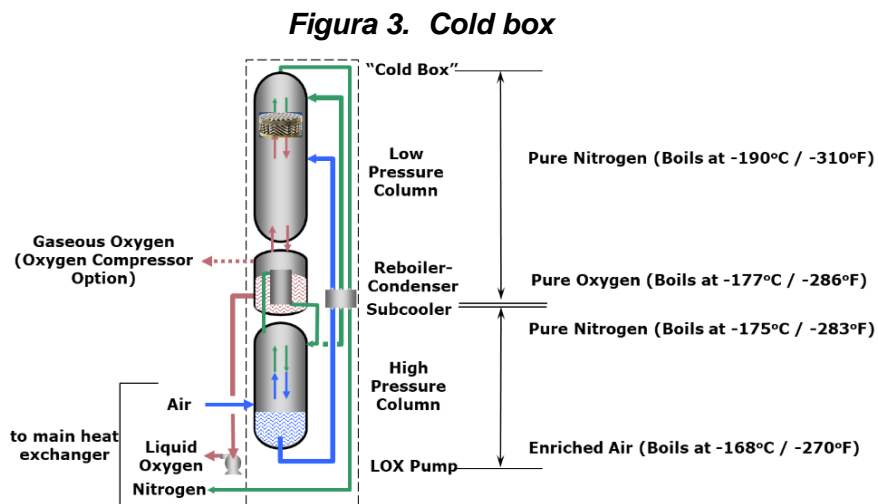
1.2.5. *Expansión*

En esta etapa se mantiene en la entrada aire con alta presión (700 psi) y una temperatura aproximada de -100°C, la cual es relativamente baja en comparación al estado al que se quiere llegar, para este caso: destilación. El aire entra en los compresores expansores disminuyendo su

presión (70 psi), y por acción termodinámica, la temperatura, alcanzando de esta forma los (-178°C) y recirculando en los intercambiadores de calor, esta se puede observar en la figura 2 como item 5.

1.2.6. Destilación

Como se puede observar en la figura 3 este proceso se lleva a cabo en dos torres a diferentes presiones (HP/LP COLUMB), una debajo de la otra, la torre de presión más alta (alrededor de 70 psi se ubica en la parte de abajo) y la torre de presión más baja (alrededor de 14 psi se ubica en la parte más alta), así se separa principalmente el oxígeno y el nitrógeno; por densidades y temperaturas el oxígeno en ese momento está en estado líquido pero el nitrógeno sigue gaseoso, así que podemos observar que en la parte de abajo se va obteniendo el oxígeno más puro y en la parte de arriba el nitrógeno más puro, aquí pasa a una destilación secundaria donde se separa el argón del oxígeno, esta se puede observar en la figura 2 como item 6



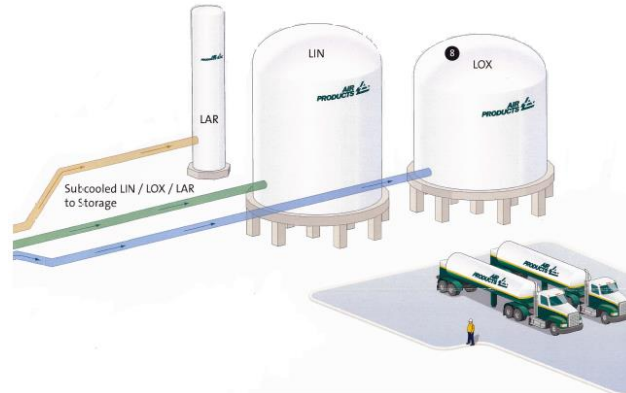
FUENTE: (Air Products and Chemicals, 2022)

1.2.7. Almacenamiento de líquido

Como se puede ver en la figura 4 en esta etapa se almacena el producto en tanques criogénicos, que son diseñados especialmente para la criogenia, conteniendo el producto a temperaturas muy bajas, (-150°C o menos), tienen un tanque interno que almacena el producto,

un espacio anular de alto vacío (menor a 0.15 Torr) con un material para el mínimo intercambio de calor, (En este caso perlita), este proceso se realiza para su transporte al cliente final, esta se puede observar en la figura 2 como ítem 7.

Figura 4. Almacenamiento de líquido

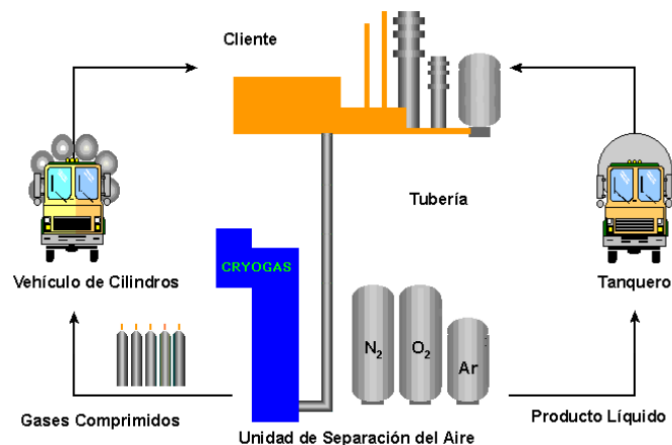


Fuente: (Air Products and Chemicals, 2022)

1.3. Suministro de productos

La forma de entrega depende de la demanda del producto en función de cantidad de producto que se requiera y el tiempo de uso o recarga que presente el cliente, como se puede ver en la figura 5, las formas de entrega son por tubería directa al cliente, distribución de líquido con tanqueros y distribución de gas comprimido a partir de cilindros.

Figura 5. Suministro de producto a clientes



Fuente: (Air Products and Chemicals, 2021)

Para clientes de demanda grande, se hace entrega por tubería, se instala una planta pequeña o PSA muy cerca del sitio de consumo y se produce el producto en el lugar, estos clientes pueden ser siderúrgicas, petroleras, entre otros y con un consumo muy alto de producto ya sea gaseoso o líquido o una combinación de ambos, en Colombia existen dos plantas de este tipo en los clientes (Acerías paz del río y Ecopetrol S.A.).

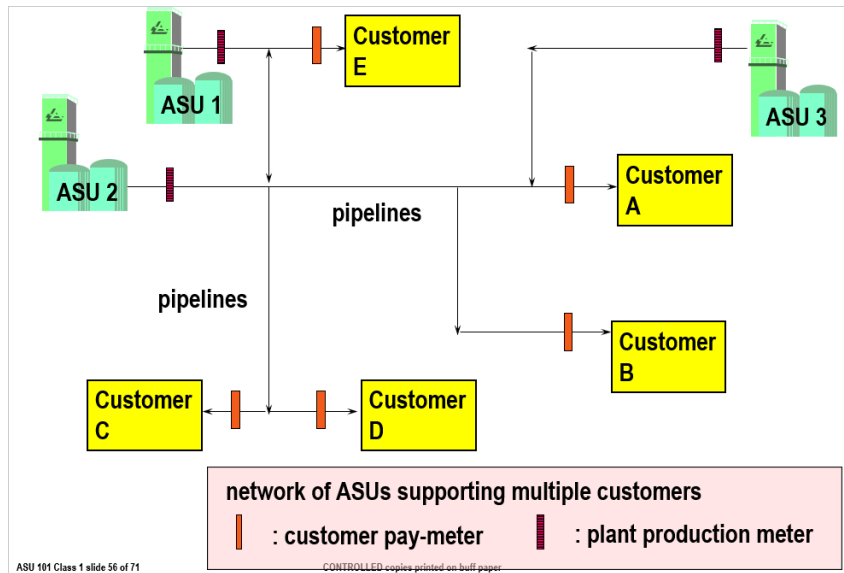
Para clientes de demanda pequeña se les hace un suministro del producto en cilindros y cada cierto tiempo acordado con el usuario se les cambia los cilindros por unos llenos nuevamente. En caso de clientes medicinales se le instala una unidad de respaldo con cilindros para prevenir la ausencia de producto dado a lo crítico de la operación en una unidad de cuidados intensivos (UCI).

Para clientes de demanda mediana se les hace una instalación de un pallet, deward o tanques estacionarios que son tanques de almacenamientos medianos y se les hace entrega del producto en estado líquido por tanquero; para la empresa Cryogas grupo Air Products esta es la forma más común de venta de producto, aquí se encuentran clientes como hospitales, clínicas y demás, en este proyecto nos centraremos en este.

1.4. Distribución de líquidos

El tamaño del tanquero va determinado por anticipación por la cantidad y demanda de clientes, en Colombia se tienen tanqueros de cuatro tamaños, 2000, 6000, 8000 y 11000 Galones., repartidos en 33 tanqueros, los cuales se abastecen de 5 plantas productoras a lo largo del país ubicadas en las ciudades Barbosa (Antioquia), Sibaté (Cundinamarca), Galapa (Atlántico), Nobsa (Boyacá) y Barrancabermeja (Santander); cómo podemos ver en el anexo A los datos geométricos del tanquero de 11000 galones estas son 17500mm, 3520mm, 2495mm; como se puede ver en la figura 6, el cliente puede ser abastecido por más de una planta ASU, esto depende de las demandas en las zonas particulares.

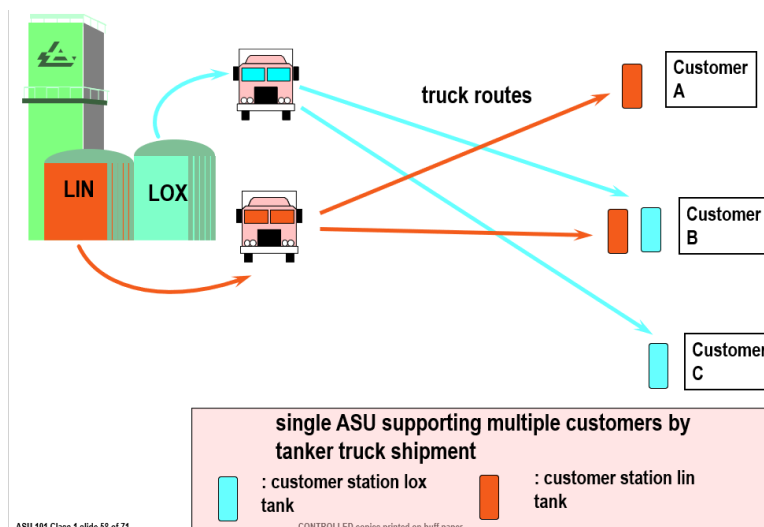
Figura 6. Red de abastecimiento de clientes con múltiples plantas ASU



Fuente: (Air Products , 2021)

El producto que demande el cliente también altera la operación debido a que cada tanquero tiene una atmosfera de operación y el cambio requiere un procedimiento adicional como se ve en la figura 7, haciendo necesario enviar dos vehículos si un cliente tiene dos tanques con dos productos diferentes.

Figura 7. Distribución de producto a clientes con tanquero



Fuente: (Air Products , 2021)

1.5. Entrega de producto a cliente

Una vez el tanquero llega al tanque del cliente, se procede a realizar el procedimiento de descarga, como lo podemos ver en el anexo B, el cual consiste en asegurar la zona, instalar las mangueras de descarga, y activar el enfriamiento de la bomba, se espera 20 minutos para asegurar que en la bomba el producto este en estado líquido y no en combinación con gaseoso, se selecciona el nivel de tensión del cliente y se enciende el motor, si la corriente aumenta, el conductor debe modificar la recirculación del producto para evitar daños.

1.6. Análisis de daños

En el año fiscal FY21 que corresponde al tiempo entre el 1 de octubre de 2020 y el 31 de septiembre de 2021 se puede observar en la tabla 2 que se ejecutaron 797 órdenes de mantenimiento, de las cuales un 48% corresponden a mantenimientos preventivos y un 52% a mantenimiento correctivos, así mostrando un déficit en la gestión de estos ya que la meta admisible por la compañía es 30%, el cálculo de estos se puede ver en el (anexo C).

Tabla 2. Ordenes de mantenimiento relacionadas a tanqueros FY21

Ordenes de mantenimiento	Cuenta de Orden	Porcentaje
Correctivas	412	52%
Preventivas	385	48%
Meta	239	30%
Total general	797	100%

Fuente: Autor

Como lo podemos ver en la tabla 3 estas órdenes corresponden a un costo para la compañía de \$ 374.785.525 COP, (Valor que corresponde a gastos en revisiones en lugares de difícil acceso, repuestos y servicios ocasionales, mas no a costos generados por disponibilidad de los equipos o adicionales del personal de la empresa), del cual un 3% concierne a gastos de mantenimientos preventivos, un 97% a mantenimientos correctivos (anexo C).

Tabla 3. Costos en ordenes de mantenimiento

Ordenes de mantenimiento	Costes total reales	Porcentaje
Correctivas	\$ 363.975.610	97%
Preventivas	\$ 10.809.915	3%
Meta	\$ 100.000.000	27%
Total general	\$ 374.785.525	100%

Fuente: Autor

De las 412 órdenes de mantenimiento correctiva se lograron identificar 6 causas de falla, como lo podemos ver en la tabla 4, el 30% de las ordenes correctivas vienen asociadas a una falla eléctrica y corresponden al 31% del costo de las fallas correctivas y los daños de la bomba van asociados al 6% en cantidad de órdenes y al 22% en costo de estas.

Tabla 4. Cantidad de fallas y costos asociado a la causa

Tipo de fallo	Cuenta de Orden	Porcentaje	Costes total reales	Porcentaje costo
Bomba	25	6%	\$ 79.505.679	22%
Eléctrica	125	30%	\$ 112.217.385	31%
Fuga de producto	66	16%	\$ 36.576.681	10%
Mecánica	145	35%	\$ 59.441.065	16%
Otro	34	8%	\$ 5.161.800	1%
Vacío	17	4%	\$ 71.073.000	20%
Total general	412	100%	\$ 363.975.610	100%

Fuente: Autor

1.7. Elementos de accionamiento de descarga de liquido

El sistema de bombeo actual para la distribución de líquidos criogénicos de la empresa Cryogas cuenta con una bomba GBS 155/4.5-6.6-c/3 y un motor trifásico de 9 hilos con estrella interna de 25 kW.

1.7.1. Bomba GBS 155

Esta es una bomba centrífuga para gases licuados, tipo GBS 155/4.5-6.6-c/3, como lo podemos ver en la tabla 5 los datos técnicos de esta bomba son:

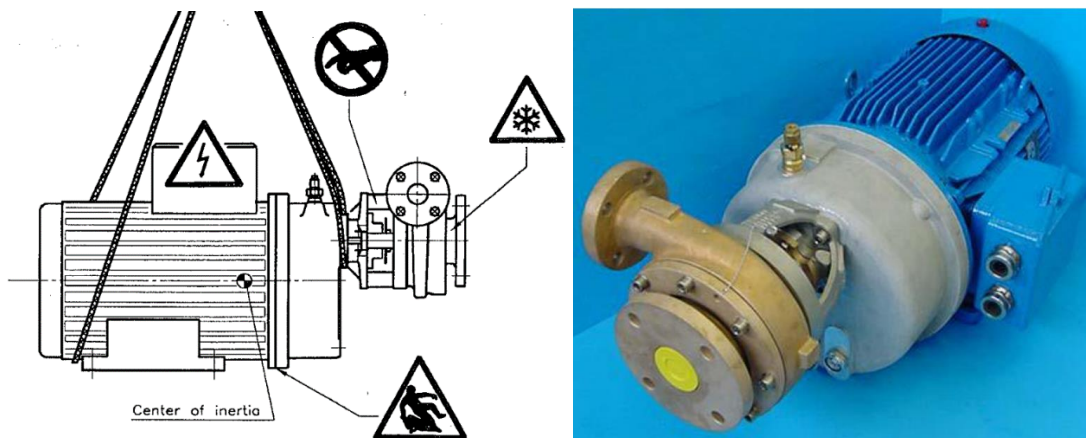
Tabla 5. Datos técnicos bomba GBS 155

Datos de la bomba	
Número de serie	F9741-01
Tipo	GBS 155/4.5-6.6-c/3
Numero de etapas	1
Diámetro nominal del rotor	155mm
Anchura de la punta	4,5mm
Velocidad teórica	6580 rpm
Ejecución de material	Bronce
Temperatura de liquido	-183°C
Presión de aspiración	0-5 bar
Caudal	80 gal/min
Altura de carga diferencial	565 ft

Fuente: (Cryostar, 2019)

Esta va acoplada al motor como se ve en la figura 8 y lleva un cráter de aceite de lubricación en la zona de aumento de velocidad, este aceite debe ser compatible con el oxígeno para reducir riesgos de explosión, para ver más detalles se puede ver en el anexo D.

Figura 8. Bomba GBS 155 acoplada a motor

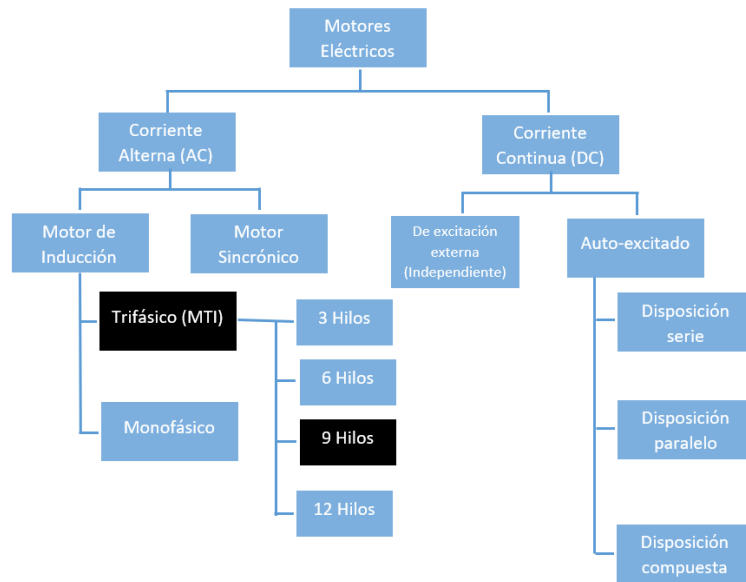


Fuente: (Cryostar, 2019)

1.7.2. Motor de 9 puntas

Como se puede ver en la figura 9 el motor de 9 puntas hace parte de los motores eléctricos de corriente alterna, inducción y trifásicos de 9 hilos.

Figura 9. Clasificación general de motores eléctricos



Fuente: Autor

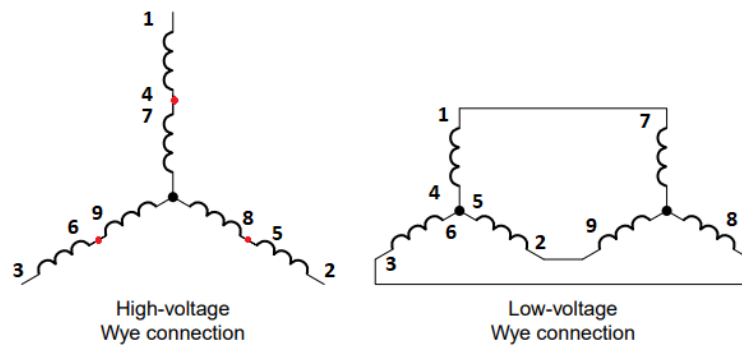
Un motor trifásico de inducción (MTI) es un convertidor electromecánico reversible, capaz de convertir energía eléctrica en energía mecánica (energía cinética rotativa), o energía mecánica en energía eléctrica (aplicación como generador). Sin embargo, posee muchas desventajas como generador, por lo que pocas veces se utiliza como tal. Por esta razón, las máquinas de inducción se refieren a los motores de inducción.

Este tipo de motor eléctrico es también denominado motor asincrónico trifásico, ya que una de sus características distintivas es que la velocidad de su campo estatórico, bajo condiciones de régimen permanente, nunca será igual a la velocidad mecánica de giro del eje del motor. (Chapman)

Profundizaremos en el motor de 9 hilos con estrella interna ya que es el que nos tenemos que basar para el diseño del accionamiento; este trae una estrella interna en el bobinado del secundario de este motor; La característica principal de estos tipos de motores es que se pueden conectar a dos niveles de tensiones, normalmente estas tensiones tienen una relación de 2 a 1.

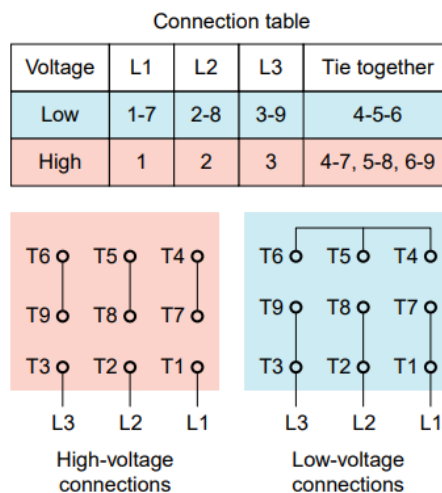
Un extremo de cada fase está conectado internamente de forma permanente a las otras fases, cada bobina de fase (A, B, C) se divide en dos partes iguales y se conecta en serie para el funcionamiento en alta tensión o en paralelo para el funcionamiento en baja tensión. De acuerdo con la nomenclatura NEMA, estos cables se marcan de T1 a T9; las conexiones de alta y baja tensión se indican en la figura 10 y en la figura 11 se observa el cuadro de bornes del motor, el mismo principio de conexiones de bobinas en serie o conexión en estrella (alta tensión) y en paralelo o doble estrella (baja tensión). (PETRUZELLA, 2010)

Figura 10. Conexión del motor 9 hilos estrella interna.



Fuente: (PETRUZELLA, 2010)

Figura 11. Borneras de conexión motor 9 hilos estrella interna.

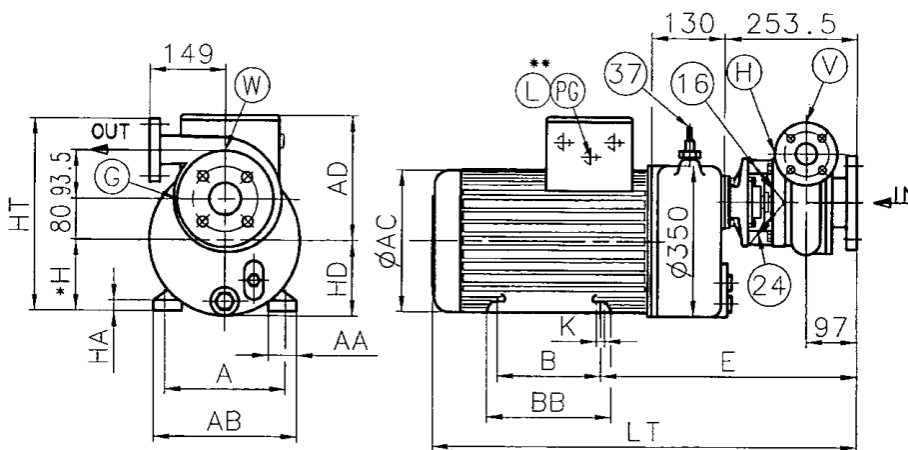


Fuente: (PETRUZELLA, 2010)

El tipo de motor que tiene la empresa es un motor Leroy Somer, este hace parte del grupo de motores asincrónicos trifásicos cerrados de rotor de jaula o de anillos rozantes con 9 hilos con estrella interna, diseñado con una potencia de 25 kW y para trabar en un nivel de tensión de 220 V y 440V, para ver más datos de este revisaremos el anexo E.

Este conjunto bomba motor ocupa un espacio de 324mm x 431.5mm x 871.5mm, con un peso de 152 kg, las medidas específicas las podemos observar en la figura 12 y en la tabla 6.

Figura 12. Dimensiones motor Leroy Somer y bomba Cryostar GBS 155



Fuente: (Cryostar, 2019)

Tabla 6. Dimensiones motor Leroy Somer y bomba Cryostar GBS 155

Siglas	Medida (mm)
HT	431,5
LT	878,5
HD	175
A	279
B	241
E	504,5
H	180
K	14,5
AA	79
AB	324
∅AC	316
AD	248
BB	316
HA	28

Fuente: (Cryostar, 2019)

CAPITULO DOS

En este capítulo se presentan los parámetros, análisis y cálculos que se inspeccionaron para el diseño del accionamiento electromecánico, las exigencias dadas por la empresa, se ilustrará el diseño eléctrico, diseño de espacios o mecánico los beneficios que conlleva la instalación de este y el análisis de precios.

2.1. Exigencias de la empresa

La empresa Cryogas-Air Products limita el accionamiento a que cumpla los siguientes requerimientos, en base a estándares de calidad, tiempo de vida de la bomba cryostar, facilidad de operación y presupuesto.

2.1.1. Espacio

El gabinete eléctrico debe ir ubicado en la parte posterior exterior del tanquero al que se instalará para así aislarlo térmicamente del proceso de descarga y evitar humedad interior en el tablero eléctrico, debe contener todos los implementos de potencia y de control en este y asegurar espacio suficiente para el mantenimiento de este.

2.1.2. Fuente de alimentación

Esta se tomará de la toma Appleton instalada en el cliente, debe ser una red trifásica a 220V/440V, el tanquero se alimentará con una extensión de 25 metros hasta el gabinete eléctrico.

2.1.3. Funciones

Debe contar con una protección para el sello mecánico de la bomba que consiste en que una vez se alcance una temperatura de enfriamiento en la entrada de la bomba de -150°C esperara 10 minutos antes de poder arrancar la bomba.

2.1.4. Marca

Los elementos usados en el sistema eléctrico deben ser de una marca autorizada por Air Products como Schneider Electric, Siemens AG, Hoffer, Cryostar entre otros.

2.1.5. Niveles de Tensión

El control debe funcionar a 110V AC, debido a que en la industria colombiana se consiguen fácilmente contactores de este nivel de tensión y otros diferentes requerirían importación, agregando costos en repuestos y demora en las solicitudes de estos.

2.1.6. Potencia

Se controlará un motor trifásico de 9 hilos marca leroy somer de 25kW, con conexiones Estrella-Doble Estrella y una bomba marca cryostar GBS 155/4.5-6.6-c/3, además debe ser diseñado para conexiones de (220V y 440V).

2.1.7. Protecciones

Debe tener protecciones de sobre corriente, esta no puede superar la corriente nominal del motor esta se debe realizar por medición y no por temperatura, protecciones de sobre y sub-tensión, esta no puede variar de $\pm 5\%$ de la tensión nominal que se esté trabajando, protección de fase caída, si el sistema detecta que hace falta alguna de las tres fases este no arrancara.

2.1.8. Tecnológicas

Debe ser diseñado lo más robusto posible, pero con tecnología local y básica; se prohíbe el uso de sistemas con controlador lógico programable (PLC) debido a que implementar esto demandaría costos altos en mantenimiento, por la vibración constante del vehículo y la preparación de los técnicos que solucionan los problemas presentados, así que se limita al uso de lógica cableada.

2.1.9. Tipo de arranque

Debido al uso de tecnología se descarta el tipo de arranque por variadores de velocidad o arrancador suave, ya que estos son sensibles a las vibraciones, así que se decide usar el tipo de arranque directo, los métodos de arranque de estrella triangulo no se puede usar debido a la configuración interna del motor.

2.2. Memorias de cálculos

2.2.1. Datos de placa motor leroy somer

Potencia Nominal: 25kW

Tensión Nominal: 220V/440V

Factor de potencia: 0.85

2.2.2. Corriente Nominal (I_n)

Para calcular la corriente nominal revisamos la formula del libro Maquinas eléctricas (Chapman) , La cual podremos ver en la ecuación 1, y luego se calcularán las corrientes al 115% y 125% en las ecuaciones 2 y 3; se calculó para los dos niveles de tensión al cual operara el accionamiento eléctrico, y los resultados los podemos ver en la tabla 6.

$$I_n = \frac{P_e}{\sqrt{3} \cdot V_n \cdot F_p} \quad \text{Ecuación 1. Corriente nominal de un motor trifásico}$$

$$I_{prot} = I_n \cdot 1,15 \quad \text{Ecuación 2. Corriente al 115\%}$$

$$I_{cond} = I_n \cdot 1,25 \quad \text{Ecuación 3. Corriente al 125\%}$$

Tabla 7. Corrientes de diseño

Potencia	Voltaje	FP	I_n	I_n	I_p	I_c	I_c
kW	V		A-100%	Estándar	A-115%	A-125%	Estándar
25	220	0,85	77,19	80	88,76	96,38	100
25	440	0,85	38,59	40	44,38	48,24	50

Fuente: Autor

2.2.3. Selección del cable

El cable se seleccionó en base a la tabla 310-17 de la norma NTC 2050 capítulo 3 métodos y materiales de las instalaciones sección 310 conductores para instalaciones en general, operara el nivel de tensión de 220V se seleccionó un cable 4 AWG debido a la corriente al 125% es de 96.38 A, como podemos ver en la figura 13 la corriente admisible para el cable 4AWG tipo TW es de 105 A cumpliendo con el parámetro de selección; y para 440V se seleccionó un cable 8AWG; debido a que la instalación del gabinete se hará toda en un mismo cable se optó por elegir el cable 4 AWG.

El factor de corrección no se tiene en cuenta en estos cálculos debido a que el tanquero al que se le instalará el tablero eléctrico se desplazará dentro del territorio nacional pasando por distintas variaciones de temperatura ambiente.

Figura 13. Tabla 310-17 Norma técnica colombiana (NTC)

Tabla 310-17 Capacidad de corriente permisible de conductores sencillos aislados para 0 a 2 000 V nominales al aire libre y temperatura ambiente de 30 °C

Sección transv. mm ²	Temperatura nominal del conductor (ver Tabla 310-13)						Calibre AWG kcmils
	60 °C TIPOS TW*, UF*	75 °C TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, ZW*	90 °C TIPOS TBS, SA, SIS, FEP*, FEPB*, MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	60 °C TIPOS TW*, UP	75 °C TIPOS RH*, RHW, THHW, THW, THWN*, XHHW, USE*	90 °C TIPOS TBS, SA, SIS, THHN*, THHW, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			
0,82	--	--	18	--	--	--	18
1,31	--	--	24	--	--	--	16
2,08	25*	30*	35*	--	--	--	14
3,30	30*	35*	40*	25*	30*	35*	12
5,25	40	50*	55*	35*	40*	40*	10
8,36	60	70	80	45	55	60	8
13,29	80	95	105	60	75	80	6
21,14	105	125	140	80	100	110	4
26,66	120	145	165	95	115	130	3
33,62	140	170	190	110	135	150	2
42,20	165	195	220	130	155	175	1
53,50	195	230	260	150	180	205	1/0
67,44	225	265	300	175	210	235	2/0
85,02	260	310	350	200	240	275	3/0
107,21	300	360	405	235	280	315	4/0
126,67	340	405	455	265	315	355	250
152,01	375	445	505	290	350	395	300
177,34	420	505	570	330	395	445	350
202,68	455	545	615	355	425	480	400
253,35	515	620	700	405	485	545	500
304,02	575	690	780	455	540	615	600
354,69	630	755	855	500	595	675	700
380,02	655	785	855	515	620	700	750
405,36	680	815	920	535	645	725	800
456,03	730	870	985	580	700	785	900
506,70	780	935	1.055	625	750	845	1000
633,38	890	1.065	1.200	710	855	960	1250
760,05	980	1.175	1.325	795	950	1075	1500
886,73	1070	1.280	1.445	875	1050	1185	1750
1 013,40	1155	1.385	1560	960	1150	1335	2000
FACTORES DE CORRECCIÓN							
Temp. ambiente en °C	Para temperaturas ambientes distintas de 30°C, multiplicar las anteriores corrientes por el correspondiente factor de los siguientes						Temp ambiente en °C
21-25	1,08	1,05	1,04	1,08	1,05	1,04	21-25
26-30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	26-30
31-35	0,91	0,94	0,96	0,91	0,94	0,96	31-35
36-40	0,82	0,88	0,91	0,82	0,88	0,91	36-40
41-45	0,71	0,82	0,87	0,71	0,82	0,87	41-45
46-50	0,58	0,75	0,82	0,58	0,75	0,82	46-50
51-55	0,41	0,67	0,76	0,41	0,67	0,76	51-55
56-60	--	0,58	0,71	--	0,58	0,71	56-60
61-70	--	0,33	0,58	--	0,33	0,58	61-70
71-80	--	--	0,41	--	--	0,41	71-80

Fuente: (Norma tecnica colombiana NTC, 2015)

Para garantizar no exceder los valores establecidos por la norma (NTC 2050) se calcula la regulación de tensión, la cual no debe superar un valor del 4% que corresponde a instalaciones industriales y así se da confiabilidad de la selección del conductor.

2.2.4. Regulación

El accionamiento de descarga al ser una instalación eléctrica temporal se tendrá en cuenta para este cálculo desde la toma Appleton del cliente; para el cálculo de la regulación lo veremos en dos métodos, ambos basados en el libro de manual práctico de instalaciones eléctricas de Enríquez Harper. (Harper, 2004)

El método A consiste en buscar en la figura 14 el número del cable seleccionado y buscar la constante k_g , como se ve en la figura, después se calcula la regulación con la ecuación 4, donde I es la corriente nominal en A, y L la longitud del cable en m.

Figura 14. Constantes para el cálculo de la caída de tensión.

CALIBRE A.W.G. K.C.M.	CIRCUITOS MONOFÁSICOS A 127 V	CIRCUITOS MONOFÁSICOS A 220 V	CIRCUITOS TRIFÁSICOS A 220 V	CIRCUITOS TRIFÁSICOS A 440 V
14	0.01305	0.00754	0.00650	0.00326
12	0.00820	0.00474	0.00410	0.00205
10	0.00515	0.00298	0.00258	0.00129
8	0.00323	0.00187	0.00162	0.00081
6	0.00203	0.00117	0.00103	0.00051
4	0.00128	0.00074	0.00064	0.00032
2	0.00081	0.00047	0.00040	0.00020
1/0	0.00050	0.00029	0.00025	0.00013
2/0	0.00040	0.00023	0.00020	0.00010
3/0	0.00032	0.00018	0.00016	0.00008
4/0	0.00025	0.00015	0.00013	0.00006
250	0.00021	0.00012	0.00011	0.00005
300	0.00018	0.00010	0.00009	0.00004
400	0.00013	0.00008	0.00007	0.00003
500	0.00011	0.00006	0.00005	0.00002

Notas:

1. Los valores de la tabla son aplicables a todos los tipos de conductores de baja tensión (Vinanel Nylon, Vinanel 900, TW, Vulcanel EP y Vulcanel XLP).
2. Dado que los valores anotados en la tabla solamente expresan las constantes para obtener la caída de tensión en %, es necesario multiplicar los valores de la tabla por la longitud del circuito en metros, en un sólo sentido y por la corriente en amperes que circule por el mismo.

Fuente: (Harper, 2004)

$Regulación = k_g * I * L$ **Ecuación 4.** Cálculo de regulación.

Para el método b se desarrolla usando la ecuación 5 donde L es la longitud del cable en metros, I la corriente nominal en A, s la sección del conductor en mm², E_f la tensión entre fases en V.

$Regulación = \frac{2*\sqrt{3}*L*I}{s*E_f}$ **Ecuación 5.** Cálculo de regulación.

Dando los resultados de la tabla 8, con estos valores podemos decir que el cable 4AWG cumple los estándares para ser instalado.

Tabla 8. Cálculo de regulación

Tramo		Long	Volts	In	Conductor		Sección	Constante	Regulación A	Regulación B
De	A	m	V	A	Calibre	Tipo	mm	Kg	%	%
Punto eléctrico	Gabinete	25	220	77,19	4	AWG	21,14	0,00064	1,23	1,44
Punto eléctrico	Gabinete	25	440	38,59	4	AWG	21,14	0,00032	0,31	0,36

Fuente: Autor

2.3. Selección de protecciones

2.3.1. Protección termomagnética

Esta protección se diseña con la corriente nominal al 125%, se le llamo I cond y como lo vemos en la tabla 6 la corriente conducida es más alta en la tensión de 220V, la corriente estandarizada es de 100 A; después de revisar los catálogos de los proveedores aprobados por Air Products se elige el interruptor Schneider Electric EasyPact LV429670 que es regulable de 70 a 100 A; Podemos ver su hoja de datos en el anexo F.

2.3.2. Relés Térmicos

Debido a que los relés térmicos son utilizados para la protección de los motores se seleccionaran uno para nivel de tensión; se usaran las corrientes normalizadas de 80 A y 40 A, para evitar que el relé térmico de alta tensión se dispare en un trabajo normal en baja tensión,

este se conectara con la corriente de fase del motor, se seleccionaron los relés Schneider Electric EasyPact LRE363 y LRE55; podemos ver su hoja de datos en el anexo G y H respectivamente.

2.3.3. Sobre corriente adicional

Para la protección contra sobre corriente por medición se instalará un amperímetro digital con salida relé, programado para que abra un contacto auxiliar cuando supere el valor de 40 A en corriente de fase, así garantizamos que el motor no tendrá carga por encima de su carga nominal, Se selecciono el amperímetro EBCHQ AOB29 el cual podemos ver sus características en el anexo I, su rango de medición es de 0 a 6 A, así que se acompañó de un transformador de corriente Schneider Electric METSECT5CC010, que tiene una relación de transformación de 100/5 A con medición indirecta por inducción, podremos ver su ficha técnica en el anexo J.

2.3.4. Nivel de tensiones

Se realizó una investigación del tema en el mercado con ayuda de los proveedores y especialistas eléctricos y se encontró en el mercado un relé de sobretensión que tenía en sus funciones abrir un contacto si la tensión leída no estaba en el rango aceptado que se le programa, en este caso se programó a $\pm 5\%$ y al nivel de tensión que se estaba así que se usó dos de estos, relé seleccionado Schneider Electric Harmony RM17UB310, el cual podremos ver su ficha técnica en el anexo K.

2.3.5. Ausencia de fase

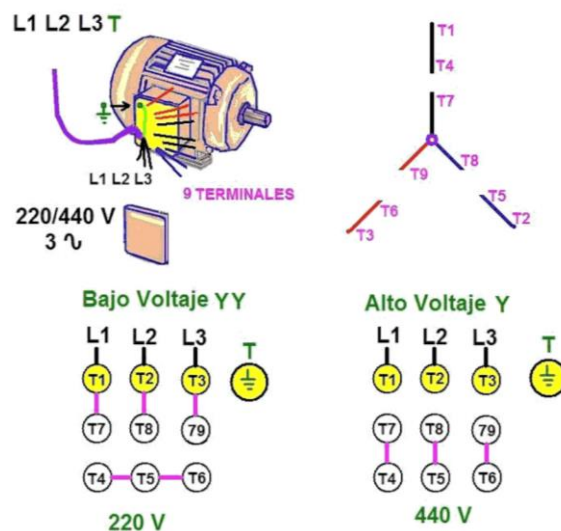
Se quería seleccionar un relé adicional para esta protección, analizando las opciones en el mercado para este uso observamos que un relé que ya se tenía presupuestado comprar para el nivel de tensiones tenía este mismo uso, el Schneider Electric Harmony RM17UB310; para evitar llevar sobrecostos se decide usar los dos relés para esta misma protección.

2.4. Elementos de control adicionales

2.4.1. Contactores

Para la selección de contactores se define primero el número de contactores a usar, Como se muestra en la figura 15 para conectar el motor a bajo voltaje debemos hacer una conexión doble estrella energizar las líneas por T1,T2 y T3 y realizar empalmes entre los terminales (T1T7,T2T8,T3T9 y T4T5T6), por lo que se eligieron 2 contactores para esta unión, y para el funcionamiento del motor en alto voltaje se usa la conexión estrella, se energiza por los terminales T1,T2 y T3 y los empalmes se unen los terminales T7T4,T8T5,T9T6; para estos se eligió 1 contactor.

Figura 15. Tipo de conexión motor BT/AT



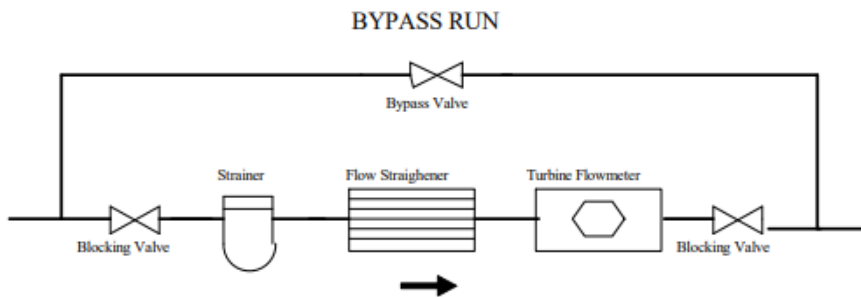
Fuente: (Unacaracteristica, 2022)

Se usarán 3 contactores y se seguirá usando la corriente nominal estándar de 80 A, con bobina 110V, por lo que se decide usar el Schneider Electric EasyPact LC1D95 el cual podremos ver sus especificaciones en el anexo L, 2 de estos para realizar los empalmes de la conexión 220V y 1 para hacer los empalmes de la conexión 440V.

2.4.2. Control de temperatura

La medición de temperatura como lo exige la funcionalidad se hará a partir de un contacto auxiliar que trae el medidor de flujo Hoffer que lo podemos ver en el anexo M, ya que es un equipo que se tiene instalado en los tanqueros para la medición de flujo y nos da la opción de medición de temperatura, aparte se puede programar un tiempo a partir de alcanzar la temperatura y para abrir el contacto auxiliar; este cuenta con un equipo de control que lo podemos observar en el anexo M, y sistema de medición como lo podemos ver en la figura 16 que se compone de una turbina con una bobina interna su funcionamiento se resume en que a partir de los giros del eje y la velocidad calcula la cantidad de producto que pasa por la tubería, lo podemos revisar en los anexos N (Turbina) y O (Sistema de control de flujo Hoffer).

Figura 16. Control de flujo masico.



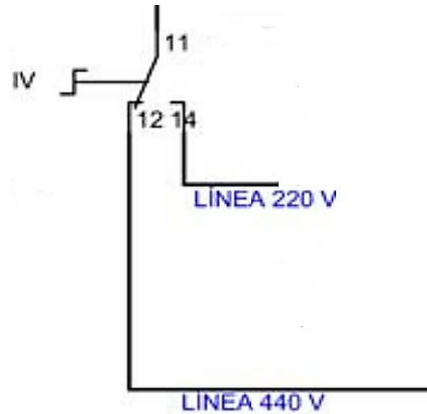
Fuente: (Hoffer, 2020)

2.4.3. Selección de tensión

Para una selección de tensión de modo automático se tomó la decisión de usar un voltímetro digital programable con salida relé usando como parámetro 300V, como se ilustra en la figura 17 si el nivel de tensión leído en la toma Appleton del cliente es de 300V o menos el voltímetro cerrara un contacto para darle a entender al circuito de control que el nivel de tensión a conectar es baja tensión, y si está por encima de este parámetro se dará a entender que es de alta tensión; Este se decide usar así debido a la que la protección de sobre y sub tensión se

realiza con un relé aparte y el voltímetro solo elige el modo de uso; Se selecciono el voltímetro EBCHQ 79535 el cual podremos ver en el anexo P.

Figura 17. Selección nivel de tensión



Fuente: Autor

2.5. Señalización y mediciones.

Aparte de las mediciones que realizamos para protecciones o funcionamiento del tablero eléctrico, debemos tener unas adicionales para mostrarle al operador como está funcionando el sistema, para esto se usó un analizador de red de referencia Schneider Electric EasyLogic METSEDM6200HCL10RS, el cual podemos revisar en el anexo Q, se estaban buscando las características que además de mostrarme la tensión leída en una fase, mostrara la tensión leída en las 3 fases al mismo tiempo, para poder dar soporte de una forma adecuada de parte del departamento de mantenimiento.

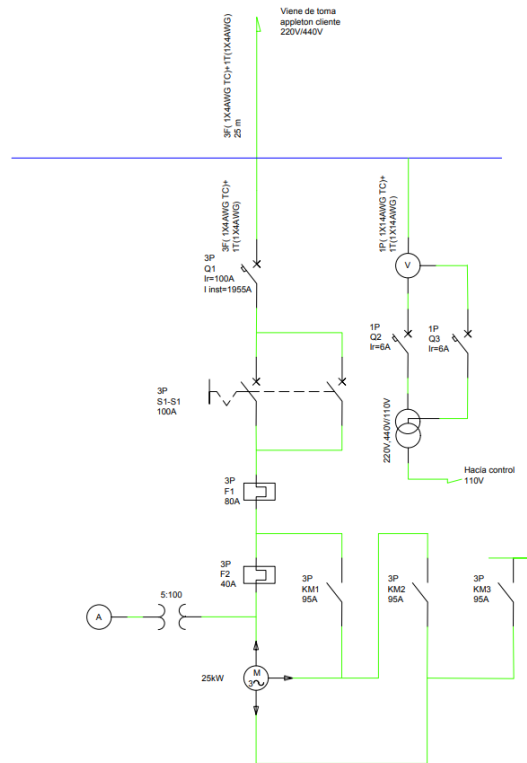
2.6. Botones y luces piloto.

Los botones y luces piloto se eligieron de la línea harmony de schneider electric, y se diseñaron con una parada de emergencia dos start y dos stop, para así realizar un puesto de mando en el gabinete de válvulas; las fichas técnicas de los mismos los podemos ver en los anexos R S y T respectivamente.

2.7. Plano de potencia

Presentaremos el plano de potencia diseñado para esta propuesta (anexo U); Como podemos ver en la figura 18 este consiste en un motor eléctrico de 9 hilos con arranque directo y con selección de giro manual, también tiene una salida hacia el control que se da a 110 V usando un transformador de tap central, y la salida relé del voltímetro para escoger el nivel de tensión al que se debe conectar (440V o 220V), el cable con el que se harán todas las conexiones de este plano será un cable 4 AWG el cual se seleccionó debido a las condiciones de uso del motor.

Figura 18. Diagrama unifilar.



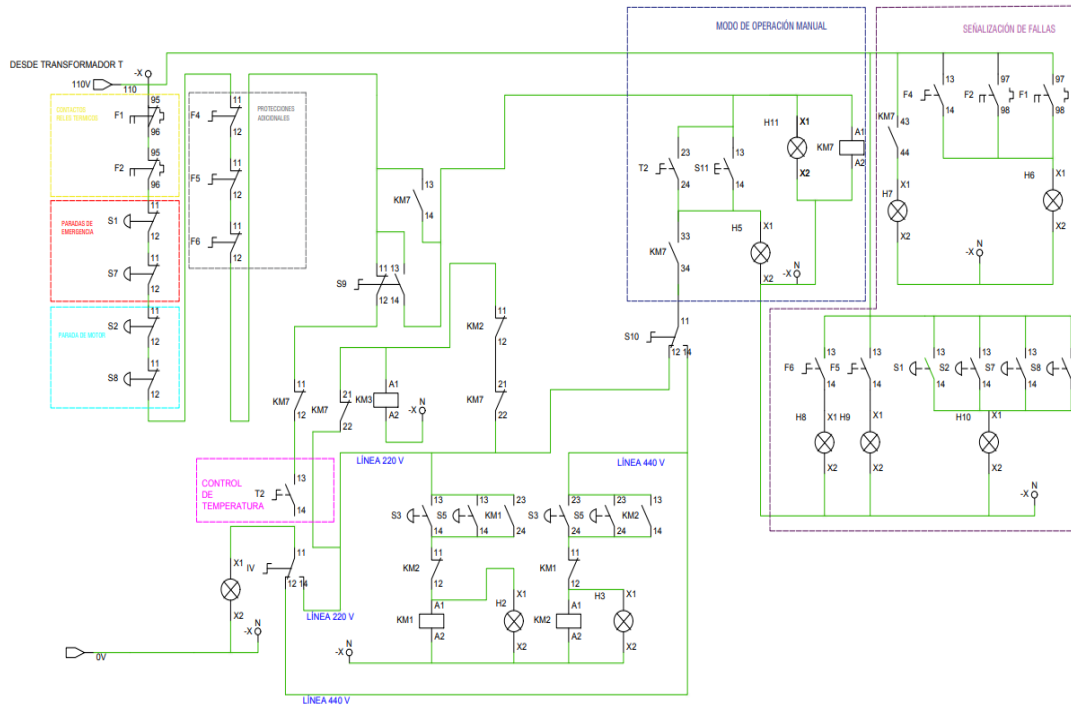
Fuente: Autor

Como podemos ver en la figura 18 los contactores KM1 y KM3 se utilizan para realizar los puentes de la conexión para el motor en doble estrella (220V), y el contactor KM2 se utiliza para realizar los puentes de la conexión estrella (440V), la selección del sentido de giro se realiza de forma manual con el selector S1-S4; La salida hacia el control se realiza con dos fases de la red trifásica y un transformador reductor a 110 V.

2.8. Plano de control

El plano de control diseñado para esta propuesta se puede consultar en el anexo V; como podemos ver en la figura 19 este se divide en siete subsecciones: start-stop, protecciones, modo manual, modo automático, línea de 220V, línea de 440V y señalización de fallas, este parte desde el transformador t que vemos en la figura 18.

Figura 19. Plano de control



Fuente: Autor

2.8.1. Modo de operación automático

En este modo es donde el tablero eléctrico debe operar de forma permanente, primero el conductor llega al cliente y deja estacionado el vehículo; luego cumple todo el procedimiento descrito en el anexo B; al estar energizado el tablero eléctrico por medio del voltímetro digital selecciona el nivel de tensión al que se energizara el motor. Una vez este energizado el operador presiona el botón S4 (On-Control), el operador procede a abrir las válvulas para empezar el enfriamiento de la bomba.

Después de que la termocupla del flujómetro reciba la señal que la bomba esta a la temperatura (-170° C), sugerida por el fabricante de la bomba Cryostar, este empieza a contar 8 minutos para asegurarnos de que en la bomba el producto este en estado 100% liquido, posteriormente de trascurrido este tiempo el flujómetro por medio del selector T2 avisa que ya es seguro prender la bomba, prendiendo así un piloto de señalización H1.

Depende del nivel de tensión a la que se encuentra la red del cliente, el voltímetro digital por medio del selector IV permitirá el flujo de la energía para poder prender el motor; una vez el conductor observe la luz de señalización de prender bomba, procede a presionar el botón S3, y así se energiza el contactor que debe ejecutar; una vez termine el descargue, el conductor apaga el motor con el botón S2, realiza todas las actividades que dice el procedimiento para desconexión de la toma Appleton del cliente y finalmente la desunión y purga de las mangueras criogénicas.

2.8.2. Modo de operación manual

En este modo solo se debe operar el tablero eléctrico con la supervisión y ayuda del técnico eléctrico vía telefónica y solo en caso de una falla del tablero mas no de las condiciones eléctricas del cliente.

Para esta operación se asumirá que se cumplió todo el protocolo del caso anterior, pero el motor no encendió de forma normal, para esto, se debe llamar al supervisor de distribución de líquidos y ponerse en contacto con el técnico eléctrico de la zona respectiva para la asistencia vía telefónica.

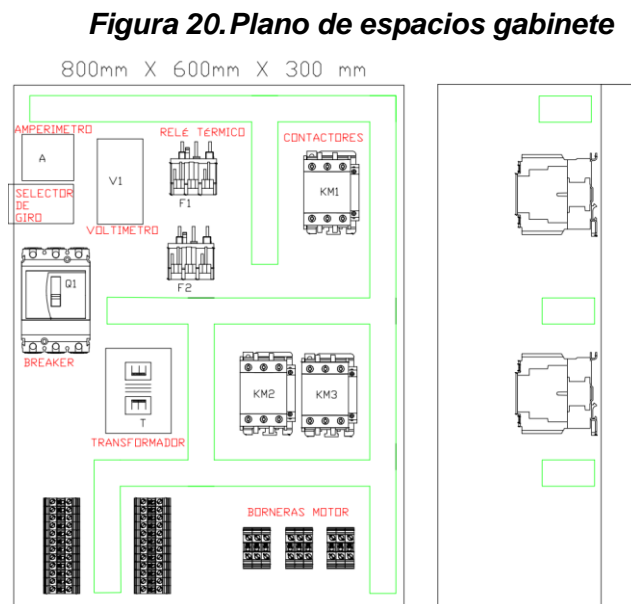
Se procede a realizar la revisión de la red eléctrica del cliente por medio de nuestros indicadores del tablero eléctrico, niveles de tensión de las 3 fases por medio del analizador de red, nivel de tensión de operación correcto por medio del voltímetro digital y el piloto de señalización de nivel de tensión en marcha.

Una vez se descarte la red del cliente se procede a poner en operación el modo manual por medio del selector S9, veremos cómo se ilumina el piloto H11; seleccionamos el nivel de tensión manualmente con el selector S10 y una vez pase el tiempo de enfriamiento para este caso serian 20 minutos se procede a usar el selector S11.

Se procede a dar el encendido del motor con el botón S3, y cuando termine el descargue de producto se realiza el mismo procedimiento de desacople de extensión y mangueras, y se devuelve el selector S7 a su posición original.

2.9. Planos mecánicos y de espacios

Los planos se realizaron en dos simuladores, AutoCAD y Solid Works, debido a sus herramientas para cada caso; para el plano de espacios se descargaron de la página oficial de Schneider Electric los bloques de cada uno de los elementos a usar en el mismo, como lo vemos en la figura 20; lo podemos ver con más detalle en el anexo W.

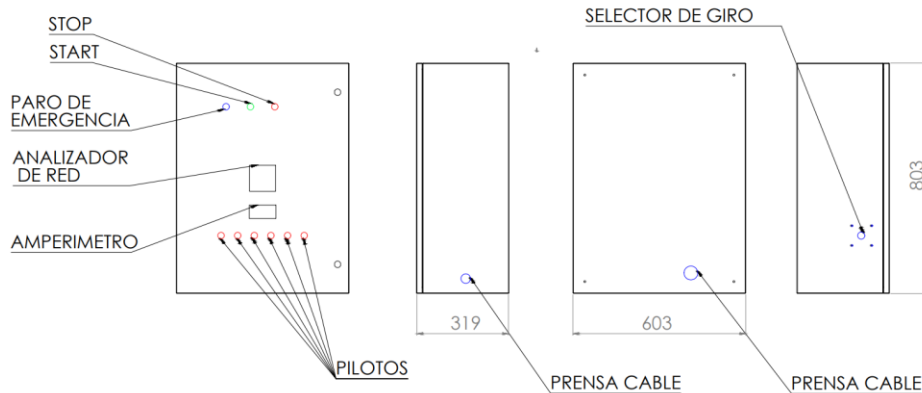


Fuente: Autor.

El espacio está diseñado no solo para que los elementos en el gabinete sean acomodados sino también para que tengan espacio suficiente para el mantenimiento de estos; las dimensiones del gabinete son: 800 mm x 600 mm x 300 mm; el diseño de la tapa se tuvo en cuenta el número

de pilotos, los instrumentos de medición como los voltímetros el amperímetro y el analizador de red, también la prensa estopa donde entraran los cables al gabinete; como lo podemos ver en la figura 21; lo podemos ver con más detalle en el anexo X.

Figura 21. Tapa del gabinete eléctrico



Fuente: Autor.

Por último, la selección del material, debido a que el gabinete eléctrico estaría ubicado en la parte posterior del tanquero y a experiencia de la empresa se decidió usar acero inoxidable, para el IP se utilizó la figura 20, se eligió un IP 65 para que el gabinete este protegido contra la entrada de polvo y contra chorros de agua, debido a que estará en la intemperie.

Figura 22. Guía de clasificaciones IP

Sólidos	Agua
<p>1</p> <p>Protección contra un objeto más grande que 80mm así como una mano.</p>	<p>1</p> <p>Protección contra la caída vertical de gotas de agua, limita el ingreso permitido.</p>
<p>2</p> <p>Protección contra un objeto más grande de 12.5mm así como un dedo.</p>	<p>2</p> <p>Protección contra la caída vertical de gotas de agua con una inclinación de 15° sobre el eje vertical. Limita el ingreso permitido.</p>
<p>3</p> <p>Protección contra un objeto más grande de 2.5mm así como un destornillador.</p>	<p>3</p> <p>Protección contra el resaca de agua con una inclinación de 60° sobre el eje vertical. Limita el ingreso permitido por 3 minutos.</p>
<p>4</p> <p>Protección contra un objeto más grande de 1mm así como un cable.</p>	<p>4</p> <p>Protección contra el resaca de agua desde todas las direcciones. Limita el ingreso permitido.</p>
<p>5</p> <p>Protección contra el polvo. Limita el ingreso del polvo permitiendo la penetración del equipo. Dos o ocho barbas.</p>	<p>5</p> <p>Protección contra chorros de agua. Limita el ingreso permitido.</p>
<p>6</p> <p>Antipolvo. No ingresa el polvo. Dos o ocho barbas.</p>	<p>6</p> <p>Agua de fuentes altas de agua a una proporción desde fuertes chorros, no obstante se el dispositivo se garantiza contra grandes cantidades.</p>
<p>Ejemplo:</p> <p>IP65</p> <p>Ingreso Protección</p>	<p>7</p> <p>Protección contra los efectos de la inmersión en agua entre 15cm y 1m por 30 minutos.</p>
	<p>8</p> <p>Protección contra los efectos de la inmersión en agua bajo presión por largos períodos.</p>

Fuente: (Redatel, 2022)

2.10. Propuesta económica

Para dar un valor global de cuánto cuesta toda la instalación del nuevo accionamiento eléctrico se procedió a solicitar cotizaciones de los servicios y materiales necesarios para la instalación de este a los proveedores aceptados por Air Products; los cuales se resumen en la tabla 9, las cuales están en los anexos Z, AA, BB y CC.

Tabla 9. Cotizaciones de instalación

Clasificación	Valor total
Construcción	\$ 770.746
Gabinete	\$ 2.770.200
Mano de obra	\$ 2.500.000
Material Control	\$ 2.924.507
Material Potencia	\$ 4.166.112
Protecciones	\$ 877.496
Señalización	\$ 1.194.425
Total, general	\$ 15.203.486

Fuente: Autor

De acuerdo con la tabla 10 el precio por instalación del accionamiento eléctrico por planta, y el costo total para la instalación del proyecto en todos los tanqueros es \$501.715.038.

Tabla 10. Precio de instalación en flota por planta

Tanqueros	Planta	Costo de Instalación
12	Sibaté	\$ 182.441.832
11	Barbosa	\$ 167.238.346
5	Galapa	\$ 76.017.430
5	Yumbo	\$ 76.017.430
Total		\$ 501.715.038

Fuente: Autor

CAPITULO TRES

En este capítulo se presentarán los resultados obtenidos, la selección del tanquero a instalar el prototipo, las pruebas realizadas: prueba sin carga, prueba en vacío y puesta en marcha; además de las evidencias correspondientes a cada una.

3.1. Aceptación de la propuesta

La empresa Cryogas- Air Products acepto la propuesta para la instalación de los accionamientos eléctricos en los tanqueros, propuso realizar un cambio progresivo anual por plantas, empezando en 2022 con la planta Galapa y en los siguientes años realizar los cambios de las demás plantas.

3.2. Selección del Tanquero

Para la selección del tanquero al cual se le instala el accionamiento eléctrico diseñado se analizó el estado de los tanqueros actuales de planta Galapa, y se seleccionó el tanquero 11006, el cual se puede observar en la figura 23.

Figura 23. Tanquero 11006.



Fuente: Autor.

El tanquero 11006 presenta el gabinete eléctrico de acero al carbón en mal estado, esto generaba fallas eléctricas debido a la humedad y el polvo que entraba a este gabinete eléctrico, como se observa en la figura 24, este muestra señales de corrosión y humedad en la parte interior, además de un aspecto desorganizado, esto genera inconvenientes a la hora de realizar un mantenimiento o una solución de un daño.

Figura 24. Estado interior gabinete tanquero 11006



Fuente: Autor

3.3. Construcción del tablero eléctrico.

Para la construcción del accionamiento eléctrico se realizaron la generación de órdenes de compra por parte de la Cryogas- Air Products, una vez se realizaron se realizó contacto con los proveedores para la entrega de los materiales necesarios en planta Barbosa que es la planta donde se tiene el recurso técnico del personal y del coordinador de mantenimiento eléctrico.

Luego de esto se procedió a el ensamblaje de cada uno de los materiales de potencia y control en el gabinete físico, así mismo que la señalización en la tapa de este, como se observa en la figura 25

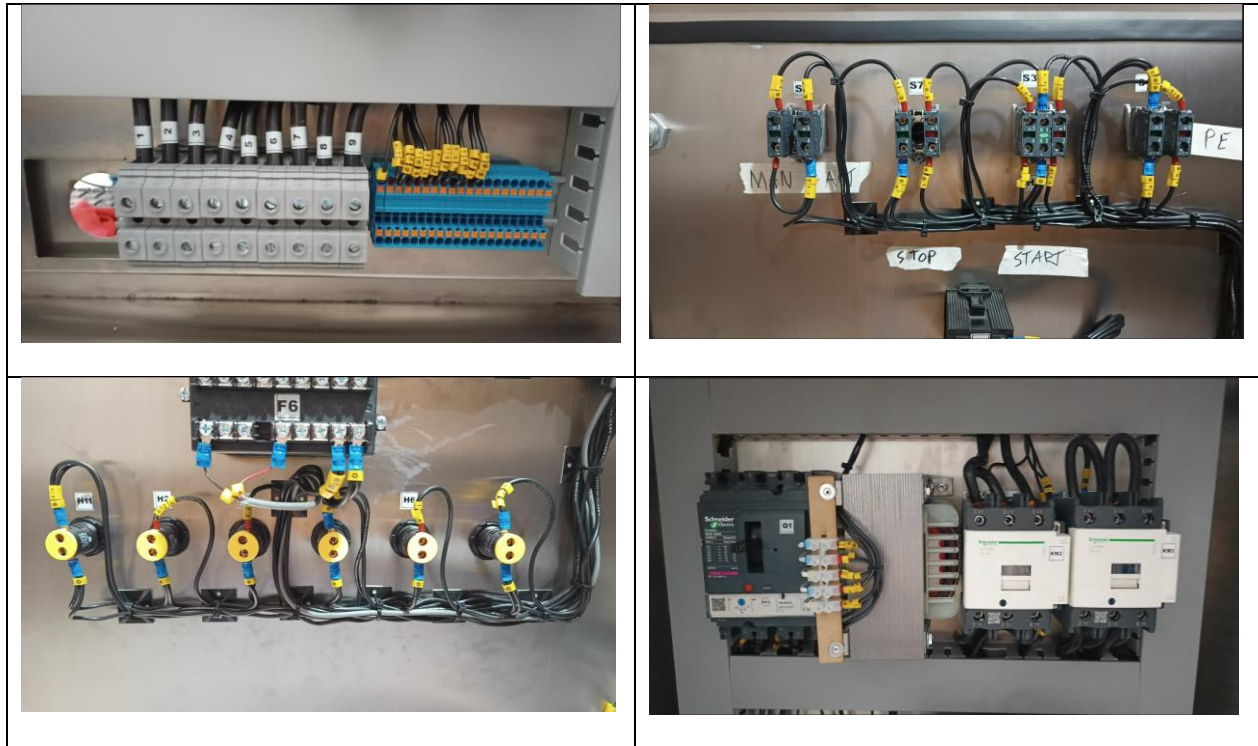
Figura 25. Posicionamiento de materiales de potencia y control.



Fuente: Autor.

El paso por seguir fue cablear toda la potencia e identificar los cables, como lo vemos en la figura 26 se realizó con el cable previamente seleccionado 4 x 4 AWG en la sección 2.2.3. y se identificó con el numero de la punta a instalar en el motor Leroy Somer 25 kW, además de realizar el cableado de control con el cable 14 AWG, siguiendo las instrucciones de los planos de las secciones 2.7 y 2.8, posteriormente se realizó la enumeración de toda la señalización y de los instrumentos así será más sencillo identificarlos observándolos en los planos, esto permitirá una respuesta más rápida por parte del área de mantenimiento preventivo o correctivo según sea la necesidad del momento.

Figura 26. Cableado de potencia



Fuente: Autor.

Como podemos ver en la figura 27 el resultado luego de realizar el cableado de control y potencia según los planos explicados en las secciones 2.7. y 2.8 además de su ubicación siguiendo el plano de la sección 2.9. y su cobertura por la canaleta ranurada, además la señalización debida por parte de los instrumentos y cableado.

Figura 27. Resultado tablero eléctrico.



Fuente: Autor.

3.4. Prueba sin carga

La prueba sin carga consiste en conectar el tablero eléctrico a una red trifásica primero de 220V luego de 440V sin conectar el motor Leroy Somer 25 kW al mismo, realizar la simulación de operación del tablero eléctrico con corriente $I=0$, su modo de operación automático, modo de operación manual y por último situaciones de falla, por ejemplo, ausencia de fase.

Documentar todos los datos obtenidos y los comentarios en la orden de mantenimiento preventivo asignada a la prueba; así dejar registro de este, como lo podemos ver en los anexos DD.

3.5. Prueba en vacío

La prueba en vacío consiste en replicar los pasos de la prueba sin carga, pero en este caso con $I=I_0$ o corriente de vacío, adicional a esto se comprueba el funcionamiento del amperímetro, y la verificación con un amperímetro calibrado que en este caso será una pinza amperimétrica marca fluke 14, se utilizará uno de los motores de stand by que tiene la planta, como lo podemos ver en los anexos EE, FF y en la figura 28.

Figura 28. Prueba en vacío



Fuente: Autor.

Los resultados de esta prueba se pueden observar en la tabla 11, teniendo 3 procedimientos de base, prueba en vacío a nivel de tensión 220V, con nivel de tensión 440V y prueba con fase faltante, los datos que se tomaron son tensión medida por el analizador de red para cada fase, corriente en funcionamiento medida por el amperímetro, adicionalmente por la pinza fluke y la corriente de arranque del motor, el tiempo de funcionamiento del motor para cada prueba es aproximadamente 10 minutos sin contemplar los tiempos de conexión y desconexión de cada una de las pruebas.

Tabla 11. Resultados prueba en vacío.

Nivel de tensión (V)	Tensión medida			Corriente en funcionamiento		Corriente de arranque		Operación
	T1 (V)	T2 (V)	T3 (V)	I amp (A)	I pinza (A)	I amp (A)	I pinza (A)	
220	209,8	209,4	209,4	4,2	4,18	22,1	23,4	✓
440	472,3	472,5	472,3	2,2	2,31	13,5	14,1	✓
Fase faltante	472,3	272,4	472,6	0	0	0	0	✗

Fuente: Autor.

3.6. Prueba de motor con carga

La prueba a plena carga tiene como objetivo verificar el funcionamiento final del tablero eléctrico, su comprobación de procedimientos a ambas tensiones y la simulación de condiciones normales de trabajo, como lo podemos ver en los anexos GG y HH.

Para agregar carga al motor, es necesario realizar un procedimiento de recirculación de producto donde se cumplan todos los parámetros del procedimiento de descarga en tanques estacionarios, con la diferencia de que el producto se recircula por la tubería e ingresa nuevamente al tanquero; la presión de descarga normal de un tanquero en un cliente varia desde 200 a 250 psi, se elige la presión de 220 psi para mantener condiciones de seguridad y proteger la bomba, ya que si se cierra completamente la recirculación para que suba a 250 el producto no pasaría por la misma y ocasionaría daños en el sello mecánico, como lo podemos ver en la figura 29.

Figura 29. Prueba con carga



Fuente: Autor.

Los resultados de esta prueba se pueden observar en la tabla 12, teniendo 3 procedimientos de base, prueba con carga a nivel de tensión 220V, con nivel de tensión 440V y prueba con fase faltante, los datos que se tomaron son tensión medida por el analizador de red para cada fase, corriente en funcionamiento medida por el amperímetro, adicionalmente por la pinza fluke, la corriente de arranque del motor y la presión del tanque, este último es un valor relevante para simular el descargue con el cliente, debido a que a una presión de 200 a 250 se incrementa en el tanque en un procedimiento de descarga.

Tabla 12. Resultados prueba con carga

Nivel de tensión (V)	Tensión medida			Corriente en funcionamiento		Presión Psi	Corriente de arranque		Operación
	T1 (V)	T2 (V)	T3 (V)	I amp (A)	I pinza (A)		I amp (A)	I pinza (A)	
220	209,4	209,5	209,8	66,4	430,1	210	22,1	23,4	✓
440	472,3	472,5	472,3	34,4	432,5	210	216,1	218,8	✓
Fase faltante	472,3	272,4	472,6	0	0	60	0	0	✗

Fuente: Autor.

CONCLUSIONES

- Al tener información de un daño frecuente en un equipo de uso constante y de alto valor en sus repuestos se hace necesario generar proyectos y planes de mantenimiento más específicos para preservar estos recursos, y así tener una eficiencia mayor en el área de mantenimiento, los daños eléctricos del Fiscal Year 22 contemplaron un 31% de los gastos de mantenimientos correctivos para los tanqueros, un valor que asciende a los \$112.217.679 COP, los daños de la bomba contemplan un 22% con un valor de \$79.505.679 COP, valores que se pueden reducir hasta en un 70% implementando el accionamiento eléctrico diseñado en los tanqueros, el costo de instalación del accionamiento electromecánico para todos los tanqueros de la empresa Cryogas grupo Air Products es de \$ 501.715.038 y de \$ 15.203.486 por tanquero.
- Para el diseño de un accionamiento electromecánico es de vital importancia contemplar el material y el IP del gabinete eléctrico, debido a que una mala selección de este le reduce la vida útil del tablero eléctrico de forma considerable, permitiendo la entrada de polvo o humedad y así dañando los elementos eléctricos que son más delicados con este tipo de ambiente.
- La selección del conductor es de vital importancia, debido a esto se deben contemplar métodos para afianzar la selección de este, como lo es el cálculo de la regulación para garantizar la calidad y funcionamiento de todo el accionamiento.
- En la selección de protecciones es necesario contemplar las condiciones atmosféricas y de uso para las que fueron construidos, evidenciando que el relé térmico podría fallar debido a la atmosfera que crea el descargue de productos criogénicos, se decide implementar una protección de sobre corriente a partir de la medición, usando un amperímetro digital programable.
- El realizar las pruebas del tablero eléctrico se tiene un panorama de su funcionamiento más amplio, debido a esto se diseñaron tres pruebas para comprobar el funcionamiento del tablero eléctrico en distintos escenarios a los que se puede presentar, se hacen importantes para corregir situaciones que no se pueden contemplar con los simuladores.

ANEXOS

- A) Plano tanqueros 11000.
- B) Procedimiento llenado de tanques estacionarios.
- C) Bomba GBS 155.
- D) Motor Leroy Somer.
- E) Ordenes de mantenimiento tanqueros FY22.
- F) Hoja de datos LV439670.
- G) Hoja de datos relés de sobrecarga LRE363.
- H) Hoja de datos relés de sobrecarga LRE355.
- I) Hoja de datos EBCHQ amperímetro AOB29.
- J) Hoja de datos tc METSECT5CC010.
- K) Hoja de datos Relés harmony control RM17UB310.
- L) Hoja de datos LC1D95G7.
- M) ICE.
- N) Turbina.
- O) Ice manual.
- P) Hoja de datos voltímetro EBCHQ 79500.
- Q) Hoja de datos analizador de red METSEDM6200HCL10RS.
- R) Hoja de datos XB4BW33G5.
- S) Hoja de datos harmony XB4.
- T) Hoja de datos harmony XB4_XB4BC42.
- U) Plano potencia.
- V) Plano control.
- W) Gabinete eléctrico.
- X) Plano mecánico.
- Y) Cotizaciones de servicios y repuestos.

- Z) Cotización- Elementos eléctricos generales.
- AA) Cotización- Transformador 600VA.
- BB) Cotización- Voltímetro Amperímetro y mano de obra.
- CC) Cotización- Gabinete.
- DD) Orden de mantenimiento prueba sin carga 2009686920.
- EE) Orden de mantenimiento prueba en vacío 2009686921.
- FF) Video de prueba en vacío.
- GG) Orden de mantenimiento prueba carga 2009686922.
- HH) Video prueba con carga.

BIBLIOGRAFÍA

- Air Products . (2021). Introduction to Cryogenic Engineering Concepts and Gas Separation. *Introduction to Cryogenic Air Separation* , (p. 56).
- Air Products and Chemicals. (2021). Unidad de separacion del aire. *Unidad de separacion del aire (ASU)*, (p. 2). Barbosa.
- Air Products and Chemicals. (2022). Air Separation. *Air Separation*, (pp. 1-40).
- Air Products and Chemicals, Inc. (2000). ASU TECH 1. *ASU TECH 1*, (p. 7).
- Chapman, S. J. (s.f.). *Maquinas Electricas*. McGrawHill.
- Cryogas. (2022, 08 17). Cryogas. Retrieved from <http://www.cryogas.com.co/Web/CO/Compania/Historia>
- Cryogas Air Products. (2022, 08 25). *Catalogo de gases industriales*. Retrieved from <https://www.cryogas.com.co/Web/CO/502056/nitrogeno>
- Cryogas Air Products. (2022, 08 25). *Catalogo de gases industriales*. Retrieved from <https://www.cryogas.com.co/Web/CO/502021/argon>
- Cryogas Air Products. (2022, 08 25). *Catalogo de gases industriales*. Retrieved from <https://www.cryogas.com.co/Web/CO/501947/oxigeno-industrial>
- Cryostar. (2019). *Bomba centrifuga para gases licuados*. Cryosat.
- Harper, E. (2004). *Manual practico de instalaciones electricas*. Limusa, Mexico.: Limusa, Norega Editors.
- Hoffer. (2020). *TURBINE FLOWMETER*.
- Norma tecnica colombiana NTC. (2015). *Norma tecnica colombiana*.
- Ospitia Torres, D. F. (2009). *Prototipo de control automático para monitorear el funcionamiento de los compresores de aire de un centro hospitalario*.
- PETRUZELLA, F. D. (2010). *Electric Motors and Control SyStemS*. New York: Mc Graw Hill.
- Redatel. (2022, 08 28). *PROTECCIÓN IP (Protección de ingreso)*. Retrieved from <https://www.redatel.net/html/proteccion-ip.html>
- Unacaracteristica. (2022, 08 28). *unacarateristica*. Retrieved from <https://unacaracteristica.com/motores-electricos-trifasicos-de-9-terminales>