



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

**IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VARIADOR DE VOLTAJE
PARA MANTENER PRESION CONSTANTE EN EL AREA DE LAVADO DE
CONTENEDORES SECOS Y REFRIGERADOS**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Industrial**

AUTOR

Oscar Giovanni Marquez Munzon

TUTOR: Ing. Ivan Eduardo Suarez Escobar, PhD.

Guayaquil – Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Oscar Giovanni Marquez Munzon con documento de identificación N°0909746851 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 15 de agosto del año 2024

Atentamente,

A handwritten signature in black ink that reads "Oscar Marquez." The signature is written in a cursive style and is positioned above a horizontal line.

Oscar Giovanni Marquez Munzon

0909746851

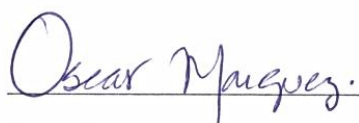
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Oscar Giovanni Marquez Munzon con documento de identificación N° 0909746851, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del proyecto técnico: “Implementación de un sistema de control de variador de voltaje para mantener presión constante en el área de lavado de contenedores secos y refrigerados” el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Industrial, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 de agosto del año 2024

Atentamente.



Oscar Giovanni Marquez Munzon

0909746851

CERTIFICADO DE DIRECCION DEL TRABAJO DE TITULACION

Yo, Iván Eduardo Suarez Escobar con documento de identificación No 0909748287 docente de La Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de Titulación: “ **IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VARIADOR DE VOLTAJE PARA MANTENER PRESION CONSTANTE EN EL AREA DE LAVADO DE CONTENEDORES SECOS Y REFRIGERADOS**”, realizado por Oscar Giovanni Marquez Munzón con documento de identificación No 0909746851, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 de agosto del año 2024

Atentamente.



Ing. Iván Eduardo Suarez Escobar PhD

0909748287

DEDICATORIA

Estar delante de una meta más en mi vida es satisfactorio, esto va dedicado a quien en mi vida ha permitido llegar a este logro profesional a Dios que, en mi camino de formación puso esta gran mujer llamada madre donde, con sus ejemplo de fortaleza, amor, confianza, creyendo en mí, siempre. A mi esposa que, con su apoyo espiritual, emocional, no desmayo en este camino tomándome de mis manos para llegar a esta meta, sin olvidar a mis hijos y hermanas quienes siempre han estado dispuestos juntos conmigo a seguir adelante por esta meta que un día parecía difícil pero no imposible. Se lo dedico este triunfo a cada uno de ellos, pero sobre todo a Dios .

.

Oscar Giovanni Marquez Munzon

AGRADECIMIENTO

Un profundo agradecimiento desde el corazón y un gran orgullo haber logrado obtener el título con gran esfuerzo y con la ayuda de mi Dios que me dio mucha fortaleza y sabiduría para seguir adelante con el apoyo de mi madre, hermanos, hijos, esposa y, sobre todo, de los profesores y mentores por su orientación y valiosos consejos que han enriquecido profundamente este trabajo. A mis compañeros y colegas por su apoyo y colaboración durante todo el proceso. A los que de alguna otra manera contribuyeron a la culminación de este proyecto.

Oscar Giovanni Marquez Munzon

RESUMEN

El Ecuador es un país de exportación de todo tipo de frutas, donde se produce y comercializa a distintas partes del mundo con más de 170 frutas y vegetales frescos. A su vez, el Ecuador cuenta con convenios o forma parte de extranjeras que están en EE.UU, donde está comprometida con proveer a los consumidores los mejores productos en el mercado con la más alta calidad.

Por ello, la empresa SEAPORT S.A realiza estudios profundos en lo que nos referimos al transporte y lavado de contenedores para un excelente almacenamiento exportación de los frutos y otros.

En cuanto al sistema anterior de uso y el actual en los procesos, nos dará cambios positivos, el variador de frecuencia da un efecto de cambio en relación al consumo eléctrico al momento de realizar el lavado de contenedor, encontrando así mejora continua con el consumo eléctrico y tiempo de lavado.

Con este diseño variador de frecuencia de bomba, se espera cambios positivos y continuos con el nuevo sistema, una de las mejoras que se espera ejecutar son: mejor distribución en el consumo eléctrico en el funcionamiento de bombas de alta presión, eliminación de la saturación del patio por contenedor, óptimo consumo de agua, evitar fallos de reducción de energía, y mantenimiento correcto de las líneas eléctricas.

Palabras claves: Transporte, contenedores, tiempo de lavado, reducción de energía

ABSTRACT

Ecuador is a country that exports all kinds of fruit, where it is produced and sold to different parts of the world with more than 170 fresh fruit and vegetable. In turn, Ecuador has agreements or is part of foreign companies that are in the US, where it is committed to providing consumers with the best products on the market with the highest quality.

For this reason, in-depth studies are carried out in what we refer to the transport and washing of containers for excellent storage, export of fruit and others.

As for the previous systems of use and the current one in the process's changes, the frequency inverter gives a change effect in relation to electricity consumption at the time of carrying out the container washing, thus finding continuous improvement with electricity consumption and wash time.

With this pump frequency inverter design, positive and continuous changes are expected with the new system, one of the improvements that is expected to be carried out are: better distribution in electrical consumption in the operation of high-pressure pumps, elimination of saturation of the yard per container, optimal water consumption, avoid energy reduction failures, and correct maintenance of power lines.

KEYWORDS: Transport, containers, wash time, energy reduction.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE IMÁGENES	XIV
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I.....	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 Introducción general	2
1.2 Hitos institucionales	2
1.3 Filosofía Institucional	3
Misión	3
Visión	3
1.4 Valor	3

	X
1.5 Objetivos	4
1.5.1 Objetivos General	4
1.5.2 Objetivos Específicos	4
1.6 Delimitación y alcance.....	5
1.6.1 Alcance	5
1.6.2 Delimitación.....	5
CAPITULO II	6
MARCO TEORICO	6
2.1 Presión de agua constante	6
2.2 Bombas de agua.....	6
2.2.1 Clasificación de bombas de agua	6
2.2.2 Bombas Centrifugas y su funcionamiento.....	7
2.2.3 Carga neta positiva de sección.....	8
2.2.4 Cavitación.....	9
2.3 Variador de frecuencia.....	9
2.3.1 Principales componentes de un variador de frecuencia	10
2.4 Ventajas del variador de frecuencia.....	12
2.4.1 Variadores de frecuencia aplicado a sistema de presión de descarga de agua constante.....	13
2.5 Ley de afinidad.....	13
2.6 Tipos de regulación de flujo en bombas centrifugas	14
CAPITULO III.....	15

MARCO METODOLOGICO	15
3.1 Reconocimiento general del proyecto	15
3.2 Descripción general del sistema	15
3.3 Bombas	17
3.3.1 Dimensionamiento de las bombas.....	18
3.3.2 Bombas instaladas	19
3.3.3 Consumo eléctrico.....	20
3.4 Variador de frecuencia.....	21
3.4.2 Instalación.....	23
3.5 Cambio de bombas	27
CAPITULO IV	29
ANALISIS DE RESULTADO	29
4.1 Prueba y resultados.....	29
4.1.1 Descripción de los Sistemas de bombas	39
4.1.2 Comparación de Voltaje y Consumo de Energía	40
4.1.3 Ahorro Energético	40
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	45
CONCLUSION	48
RECOMENDACIONES	49
BIBLIOGRAFÍA	50
ANEXOS	52

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1	<i>Hitos Institucionales SEAPORT S.A.</i>	2
Gráfico 2	<i>Clasificación de las bombas.</i>	7
Gráfico 3	<i>Configuración básicas de un variador de frecuencias.</i>	9
Gráfico 4	<i>Etapas de un variador de frecuencia</i>	11
Gráfico 5	<i>Etapas de rectificadora.</i>	11
Gráfico 6	<i>Etapas de filtrado.</i>	12
Gráfico 7	<i>Etapa inversora.</i>	12
Gráfico 8	<i>Variador de frecuencia.</i>	13
Gráfico 9	<i>Consumo energético.</i>	42
Gráfico 10	<i>Consumo de agua</i>	43
Gráfico 11	<i>Porcentaje de mejora</i>	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estructura general de los elementos y sistema de presión. _____	16
Tabla 2 Tipos de bomba _____	19
Tabla 3 Características técnicas de Altivar Machine ATV320 _____	22
Tabla 4 Elementos para el área de lavado _____	31
Tabla 5 Análisis económico de la bomba tipo banda _____	36
Tabla 6 Análisis económico de la bomba tipo matrimonio. _____	38
Tabla 7 Tabla de consumo mensual de motor tipo banda _____	41
Tabla 8 Tabla de consumo mensual tipo matrimonio _____	42
Tabla 10 Cronograma de actividades _____	45

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Ubicación de SEAPORT S.A. _____	5
Imagen 2 Altivar Machine ATV320 _____	10
Imagen 3 Bomba Dayton IMCY2 _____	17
Imagen 4 Variador de frecuencia _____	22
Imagen 5 Variador de frecuencia instalado _____	23
Imagen 6 Teclas del terminal remoto. _____	24
Imagen 7 Opciones del terminal remoto _____	25
Imagen 8 Características del panel de control del variador de frecuencia _____	26
Imagen 9 Bomba Dayton IMCY2 tipo banda. _____	28
Imagen 10 Bomba IMCY2 tipo matrimonio. _____	28
Imagen 11 Bomba tipo banda _____	30
Imagen 12 Bomba tipo matrimonio _____	31
Imagen 13 Lavado del interior de contenedor _____	35
Imagen 14 Bomba instalada tipo banda _____	37
Imagen 15 Bomba instalada tipo matrimonio junto al variador de frecuencia. _____	38

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los sistemas de bombeo de agua son las más comunes en cuanto a los motores eléctricos y son utilizados en tiendas, supermercados, edificios y plantas industriales. En este proyecto nos enfocaremos un sistema de bombeo con variador de frecuencia dando así, un efecto de cambio en relación al consumo eléctrico al momento de realizar el lavado de contenedor, con la finalidad de obtener una mejora continua con el consumo eléctrico y optimización en tiempo de lavado.

Están diseñados para regular la presión o el flujo del agua de varios métodos, como bypass, estrangulación mediante válvulas. Estas aplicaciones demandan un alto consumo de energía eléctrica de bombas que representan 22% total en el mundo. Este sistema va desde la transmisión de fluidos mediante el accionamiento de bombas, hasta el accionamiento de máquinas: ventiladores, compresores, transportadoras, etc.

Se estima que los motores eléctricos por variador de frecuencia son la opción más óptima en tecnologías si de eficiencia energética se quiere generar, con un ahorro de costo en mantenimiento, energía y control preciso de velocidad del motor.

La ventaja de uso de los sistemas de bombeo es que ayuda a disminuir notablemente los inconvenientes encontrados utilizando diferentes tipos de regulación y accionamiento como: reducción en mantenimiento de bombas y tuberías, optimización de tiempo tanto del motor como de la bomba, reducción de golpes de presión de tuberías, entre otros. Además, el uso de múltiples bombas de respaldo permite que la industria adopte estos variadores y controles en paralelo, satisfaciendo la demanda de agua requerida por el proceso.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Introducción general

La empresa SEAPORT S.A ofrece servicios portuarios que se inició operaciones comerciales en junio del 2000 en la ciudad de Guayaquil. El objetivo es de optimizar los tiempos y satisfacer las prioridades vinculadas en el suministro del proceso de fardo de los barcos con almacenamiento refrigerado, en el caso del banano , con el objetivo de mejorar la duración del anclaje de la embarcación en el muelle, ofreciendo también el mejor servicio de re-estibas de carga en camioneras y luego paletizarlas para ser enviadas al barco con su destino correspondiente.

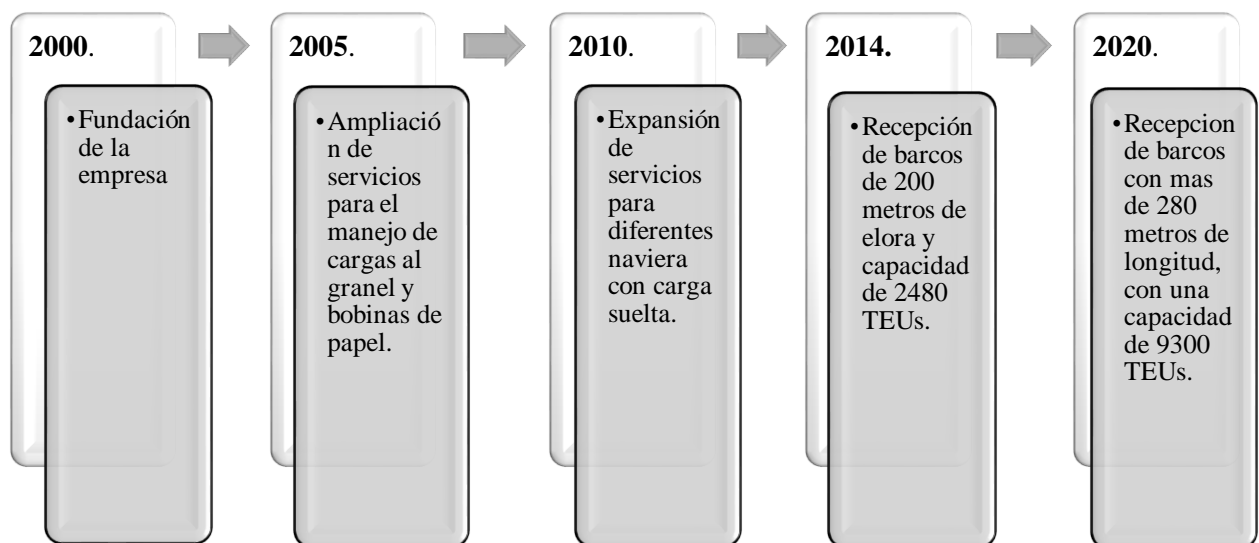
1.2 Hitos institucionales

SEAPORT S.A. pertenece a un grupo comercial que está enfocada a la prestación de servicio portuarios comerciales, esto quiere decir que refuerza su sistema operativo para realizar sus requerimientos de salida de los barcos comerciales para un calado de 11.5 metros con marea baja y 260 metros de eslora.

Gracias a sus certificaciones y experiencias en el mercado, su estructura operativa y de gestión en el manejo de carga multimodal ha llevado al desarrollo de un infraestructura portuaria que agiliza la carga y descarga de contenedores, facilitando la expansión de sus instalación, ver *Gráfico 1*.

Gráfico 1

Hitos Institucionales SEAPORT S.A.



Fuente: SEAPORT S.A.

1.3 Filosofía Institucional

Misión

Proveer servicios portuarios eficientes y de alta calidad, optimizando tiempos y logística en el manejo de carga refrigerada para satisfacer las necesidades de nuestros clientes.

Visión

Ser líder regional en servicios portuarios, reconocidos por nuestra eficiencia y excelencia en la logística de carga refrigerada.

1.4 Valor

Liderazgo

El liderazgo comienza con la equidad en las decisiones, lo cual se alcanza a través de la integridad en las acciones, alineadas con los principios y el deber. .

Respeto

Se comportan de manera adecuada y considerada, valorando la dignidad de los clientes, proveedores y miembros de la empresa.

Compromiso

Fomentar actividades que impulsen el compromiso con la empresa, de manera que todos los involucrados en el proceso se sientan parte de ella, lo cual permitirá crear nuevas opciones de servicios para los interesados. .

Excelencia Operacional

Involucra a todas las áreas de la empresa ya cada uno de sus empleados para crear un flujo de valor continuo, utilizando todos los recursos disponibles para asegurar el cumplimiento y éxitos del negocio mediante la optimización de procesos.

El trabajo en equipo

Gracias al trabajo sobresaliente del equipo, ofrecen a sus clientes un servicio eficiente, ágil y alineado con los más altos estándares de calidad.

1.4 Entorno del proyecto y problema existente

Se considera que los motores eléctricos de bomba por variador de frecuencia son la opción más optima en tecnologías si de eficiencia energética se quiere generar, con un ahorro de costo en mantenimiento, energía y control preciso de velocidad del motor. Por ello, a través de ideas de estudio como empresa, un variador de frecuencia da un efecto positivo tanto en consumo eléctrico, como optimización de tiempo.

Durante los últimos tres años, hay un incremento de contenedores que necesita de procesos de mantenimiento completo que determine un lavado eficaz tanto dentro como en los exteriores del container. En la empresa SEAPORT S.A, cuenta con un sistema de bomba no tan eficiente; por esta razón, el presente proyecto se lleva a cabo en una implementación de un sistema de control con variador de frecuencia para obtener presión constante con un bajo rendimiento de consumo eléctrico.

Como lo hemos mencionado antes, los sistemas de bombeo representan un 23% del consumo total de energía a nivel global, esto varía de acuerdo al lugar que se maneja. Su manipulación consiste en al menos fuerzas físicas humanas, acciones automatizadas mediadas por inteligencia artificial. Gracias al PLC con el variador de frecuencia y los elementos correspondientes (transductores y sensores) tiene muchas ventajas. Entre ellos, se puede ahorrar significativamente económicamente el consumo de energía y se pueden conservar los elementos mecánicos del equipo de bombeo, para generar la presión requerida de acuerdo a la necesidad del consumo eléctrico.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivos General

Implementar un sistema de control de variador de voltaje para mantener presión constante en el área lavado de contenedores secos y refrigerados.

1.5.2 Objetivos Específicos

- ✓ Determinar el variador de frecuencia que permita mantener la velocidad adecuada del motor, obteniendo la respectiva presión del trabajo.
- ✓ Seleccionar los elementos eléctricos adecuados, que nos permita reducir la variación de voltaje en los motores del área de lavado de contenedores secos y refrigerados
- ✓ Seleccionar un mejor acoplamiento en el sistema de drenaje entre la bomba y el motor en el motor del sistema de contenedores refrigerados y secado.
- ✓ Realizar un análisis económico del sistema de lavado de contenedores.

1.6 Delimitación y alcance

1.6.1 Alcance

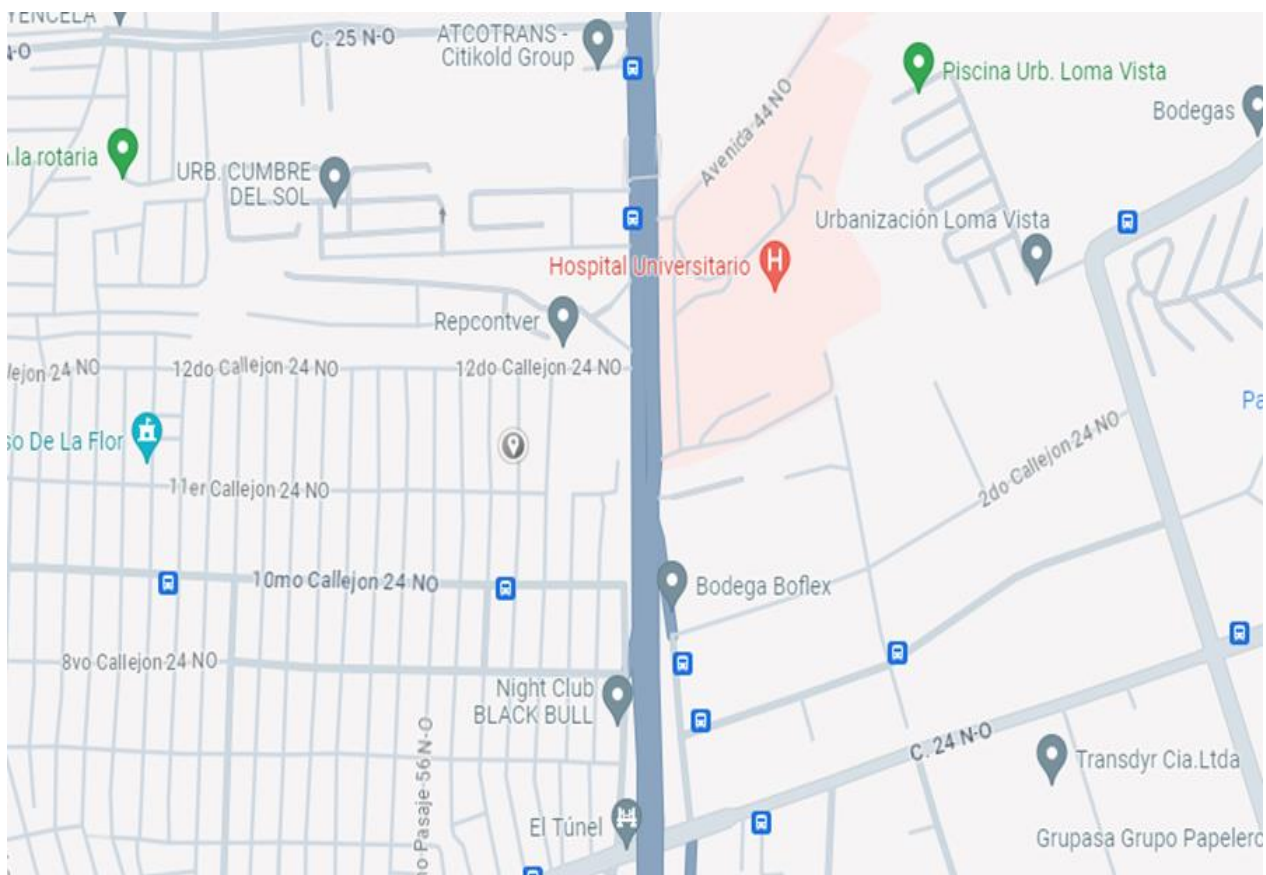
Este proyecto es un diseño e implementación exclusivo para la empresa SEAPORT S.A., por lo cual, su implementación misma requiere de estudios técnicos y económicos para hacer su viabilidad y fiabilidad del mismo. Del cual, dependerá de las personas que administran la institución, ver **Imagen 1**.

1.6.2 Delimitación

La empresa portuaria SEAPORT S.A. en la cual se desarrolló el presente trabajo de investigación se encuentra ubicada en el sur de la ciudad de Guayaquil. La empresa SEAPORT S.A se encuentra ubicada en el Calle 24A NO, Vía Perimetral, Guayaquil.

Imagen 1

Ubicación de SEAPORT S.A.



Fuente. Google Maps.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Presión de agua constante

Actualmente encuentran diversas formas de abastecer agua hacia una área o actividad en específico, una de ellas es con equipos tecnológicos como los variadores de velocidad que se enfocan en el control automático de las bombas según las velocidades con la que se trabaja. Las ventajas que ofrecen es que los motores giran a menos revoluciones que la nominal, así es como su consumo de energía es menor a esas condiciones de velocidades. Las bombas se adecuan a las necesidades del consumo y con los variados de frecuencia se controla más energía consumida, se observa la operación de las bombas y supervisa en un sistema central teniendo en cuenta los márgenes en la cual trabaja una bomba (Lozano, Amezcua , & Farías, 2014).

2.2 Bombas de agua

Es un motor que promueve un sistema de circulación de agua y gracias a la energía eléctrica y mecánica acciona energía hidráulica en un fluido. Este fluido pasa por la bomba de agua para ser incompresible donde luego la función de la bomba es accionar la presión dentro de la tubería. Este funcionamiento de fluido con el actuar de la bomba no es más que una transferencia de energía, por lo que, no altera la densidad del fluido que bombea (Díaz & Trujillo, 2019)

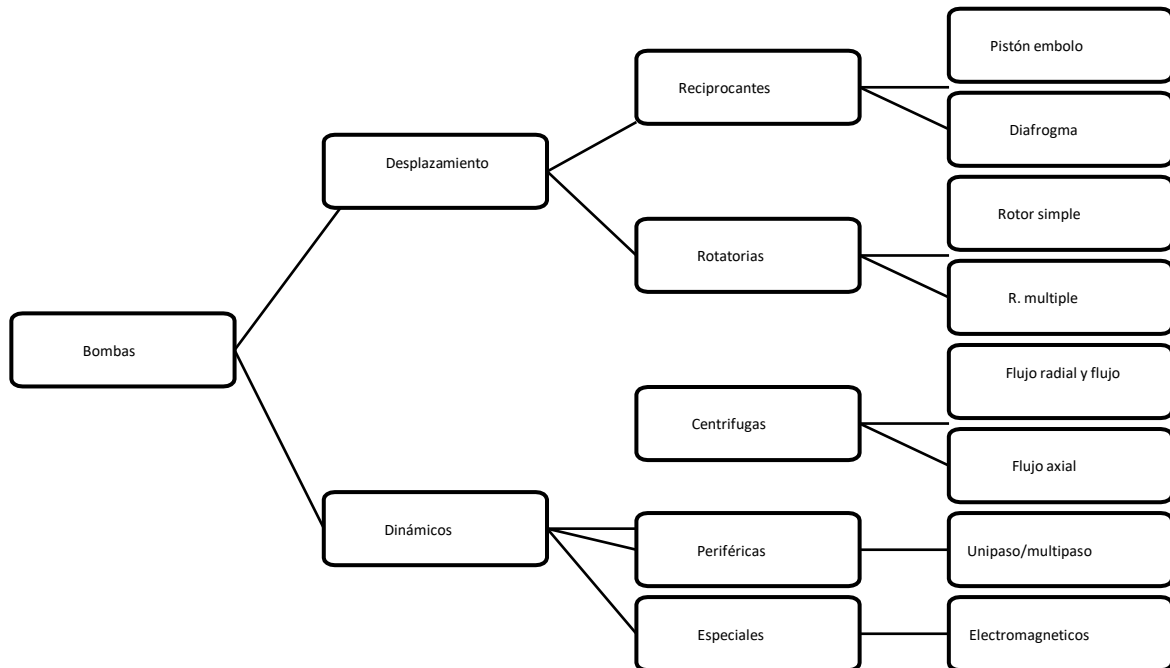
2.2.1 Clasificación de bombas de agua

Existen bombas trabajando con presiones y alturas iguales que complementas y se manifiestan en energía de velocidad. Los tipos de bombas se remonta al libro “Hydraulic Institute” en su última edición que menciona los equipos de bombeo que han fabricado a lo largo de sus décadas en el mundo entero, lo cual en la actualidad son llamados “estándares”, ver **Gráfico 2**.

Este compendio detalla como los estándares actuales en la industria se han consolidado a partir de décadas de innovación t mejoras continuas. La selección de la bomba adecuada depende en gran medida del entorno funcionamiento, ya sea que la bomba deba succionar desde un recipiente con alturas variables o este destinada a operar en un sumidero o fosa. Además, es esencial tener un conocimiento profundo del tipo de fluido que se va a manejar, ya que las características de este como la viscosidad, volatilidad o temperatura, influyen significativamente en el diseño y selección de la bomba. Este enfoque no solo asegura el rendimiento optima del equipo, sino que también contribuye si alargamiento de tiempo de vida y fiabilidad del sistema de bombeo en su conjunto (Díaz & Trujillo, 2019).

Gráfico 2

Clasificación de las bombas.



Fuente: Hydraulic Institute Book.

2.2.2 Bombas Centrifugas y su funcionamiento.

Una bomba centrífuga se obtiene aplicando el principio del momento angular a la masa de líquido que circula a través del impulsor. En este punto se establece el cambio del momento angular de un cuerpo de la mano con su eje de rotación, es igual al par de fuerzas resultantes sobre el cuerpo con respecto al mismo eje (Arévalo, 2015).

Entonces, consideramos una masa líquida que llene complementan el espacio entre dos aspas del impulsor, donde en el instante que ($t=0$) su posición es *abcd* y después de un intervalo de tiempo dt su posición ha cambiado a *efgh*, saliendo de una capa de espesor diferencial *abef*, ver **Gráfico 14**. Esta es igual a la masa líquida que entra en un intervalo de tiempo dt y está representada por *cdhg*,

La parte *abgh* del líquido contenido entre las aspas, no cambia su momento hidráulico. Por ello, el cambio de momento hidráulico del contenido total del canal esta dado por el cambio de momento de la masa dm que entra al impulsor y la masa dm .

Para ser un poco más comprendido, el agua ingresa por la tubería en forma de aspiración donde pasa por la brida centrífuga para luego pasar por el impulsor o rodete. En este punto, el rodete de la bomba consta de varios álabes con diferentes formas montados en una carcasa circular. Está conectado al eje móvil de la bomba, que es impulsado por un motor eléctrico. Este movimiento provoca un cambio brusco en la dirección del agua, que pasa por la salida radial, aumentando su velocidad y presión en el impulsor que se aleja del eje.

La voluta esta acondicionado en forma de caracol, con esto se crea la separación entre ella y el rodete es mínima en la parte superior. Esta, va en aumento hasta que las partículas líquidas se encuentran frente a la abertura de impulsión. Por último, la voluta recoge el líquido a gran velocidad y lo encamina primero por la brida de impulsión, para luego ser llevada a la tubería de impulsión que forma parte del sistema de presión de agua al que se desee abastecer (Vargas, 2009).

En este presente proyecto, se usarán 2 bombas centrifugas, una de origen con la que se ha venido trabajando de marca DAYTON 1MCY2 tipo banda y otra que será reemplazada por la marca DAYTON 1MCY2 tipo matrimonio haciendo esta una mejor presión, optimización de tiempo, ahorro del consumo eléctrico y facilitando su manipulación.

Según (Vargas, 2009) menciona que, “A las maquinarias de flujo mixto o radial se les conoce como bombas centrifugas, mientras que a las de flujo radia axial se les conoce como bombas de hélice.”

Las razones por la cual, las empresas optan o ven las factible la preferencia del uso de bomba centrifugas son:

- ✓ Control de la velocidad en su rotación.
- ✓ Espacio ocupado por la bomba es pequeño.
- ✓ El mantenimiento es sencillo ya que se requiere de un cambio de aceite, el cambio de empaques y limpieza.
- ✓ Los mecanismos son sencillos.

2.2.3 Carga neta positiva de sección

La carga neta positiva de sección (NPSH) viene establecida en todas las bombas existentes por su diseñador, la cual permite determinar que la presión del fluido que se está bombeando no disminuya por debajo de la presión de vapor de fluido a la temperatura de bombeo (Barrionuevo Paredes & Villamarín German, 2021). El diseñador toma en cuenta las siguientes variables para determinar la carga neta positiva de acción:

- ✓ Velocidad de rotación.
- ✓ Número de álabes.
- ✓ Diámetro de orificio del impulsor.
- ✓ Tipo de bomba.

2.2.4 Cavitación

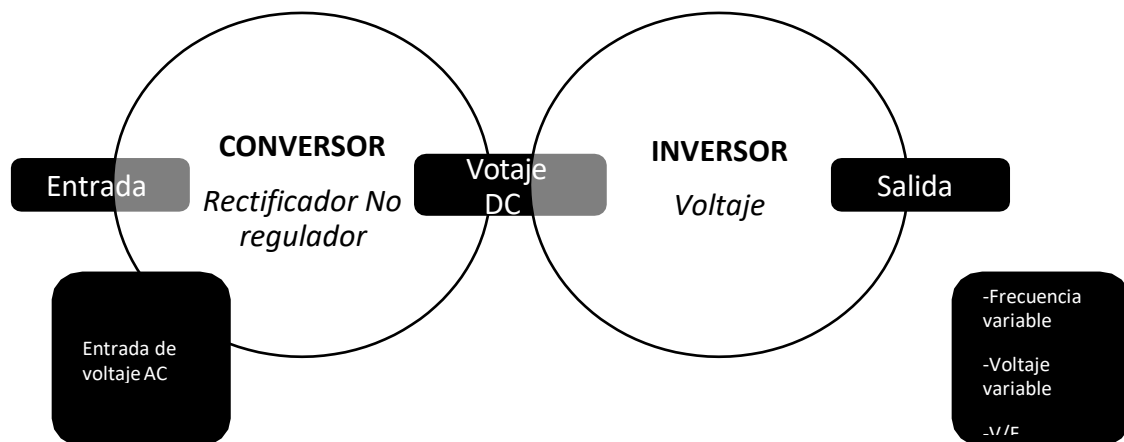
De acuerdo con Barrionuevo Paredes & Villamarín German (2021), la cavitación es un fenómeno que se produce cuando la presión del fluido disminuye hasta alcanzar su presión de saturación, lo que provoca la formación de burbujas de vapor de agua. Estas viajan con el fluido y exploran en el área de mayor presión, lo que podría dañar los componentes del sistema hidráulico.

2.3 Variador de frecuencia

Un regulador electrónico de velocidad o también conocido como variador de frecuencia está constituido por circuitos que se integran a transmisores de potencia como el IGBT (Transistor bipolar de puerta aislada) o tiristores. El funcionamiento es convertir energía eléctrica de frecuencia industrial en energía eléctrica de frecuencia variable. Estas variaciones son gracias al variador de frecuencia, donde tenemos dos fases. Una etapa es la rectificadora que transforma la corriente alterna en continua, con toda la potencia denominado también circuito intermedio y otra inversora que transforma la corriente continua en alterna, con una frecuencia y una tensión regulable y dependerán de los valores de consigna. En la segunda etapa también denominado ondulator que, todo el conjunto del convertidor de frecuencia recibe el nombre de inversor, ver **Gráfico 3**.

Gráfico 3

Configuración básicas de un variador de frecuencias.



Fuente: Repositorio TEC, 2021.

El uso de un variador de frecuencia engloba un potencial para el ahorro de energía, disminuyendo la velocidad del motor en muchas aplicaciones, la cual aportan a los siguientes beneficios:

- ✓ Programación de un arranque suave, parada y freno.
- ✓ Mejora el proceso de control y la calidad del producto.
- ✓ Capacidad de bypass ante fallos del variador.
- ✓ Control de varios motores.

- ✓ Respuestas dinámicas comparables con los drivers DC.
- ✓ Bucles de velocidad.
- ✓ Rango amplio de velocidad, par y potencia (velocidades continuas y discretas).

En este proyecto, el variador de frecuencia que se utilizara para ejecutar las distintas actividades del área en conjunto a la optimización de agua, energía y tiempo es *Altivar Machine ATV320, variable speed driver*. Sus respectivas especificaciones, a continuación, ver **Imagen 2**.

Imagen 2

Altivar Machine ATV320



Main

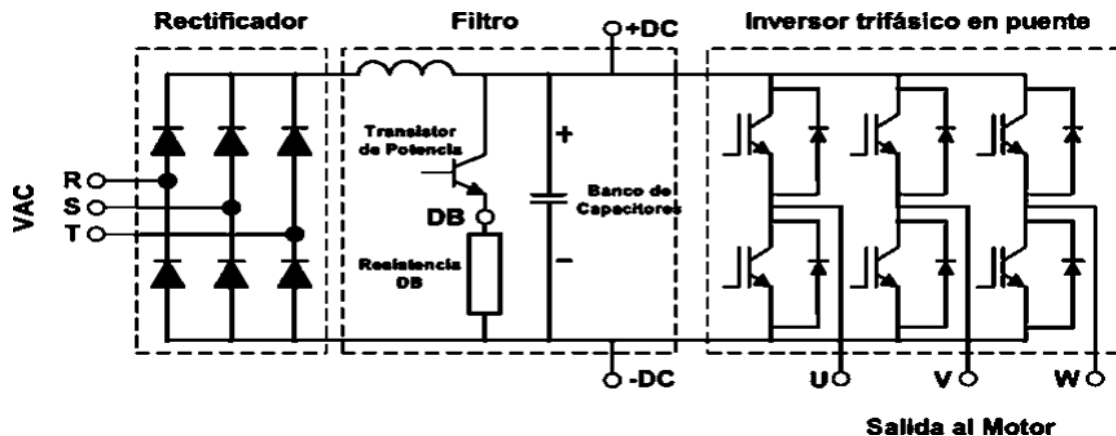
Range of product	Altivar Machine ATV320
Product or component type	Variable speed drive
Product specific application	Complex machines
Variant	Standard version
Format of the drive	Book
Mounting mode	Wall mount
Communication port protocol	Modbus serial CANopen
Option card	Communication module, CANopen Communication module, EtherCAT Communication module, Profibus DP V1 Communication module, PROFINET Communication module, Ethernet Powerlink Communication module, EtherNet/IP Communication module, DeviceNet
[Us] rated supply voltage	380...500 V - 15...10 %
Nominal output current	17.0 A
Motor power kW	7.5 kW for heavy duty
EMC filter	Class C2 EMC filter integrated
IP degree of protection	IP20

Fuente: Manual de un variador de frecuencia - Altivar Machine Manual.

2.3.1 Principales componentes de un variador de frecuencia

Un variador de frecuencia está estructurado por redes que incluyen transistores de potencia como el IGBT (transistor bipolar de puesta aislada) o tiristores, ver **Gráfico 4**. Su objetivo es transformar la energía de tensión y frecuencias industrial en energía eléctrica de tensión y frecuencia variable. Esta se consigna de tres etapas, a continuación:

Gráfico 4
Etapas de un variador de frecuencia



Fuente: Repositorio UNAM, 2021.

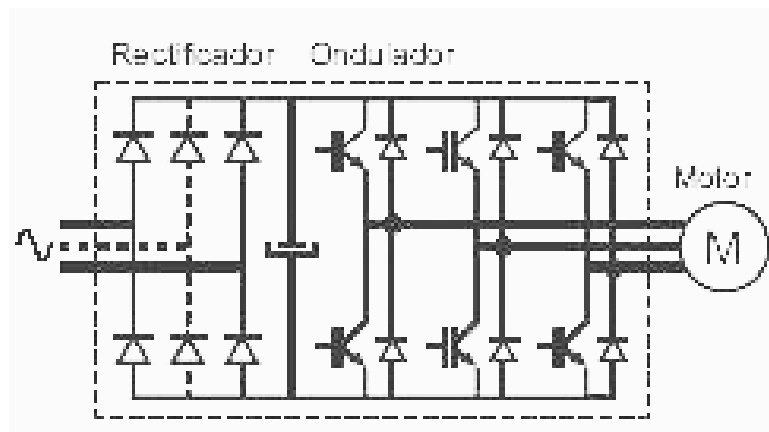
Como primera etapa tenemos a:

2.3.1.1 Rectificadora

Es la encargada de transformar la energía alterna en continua variable, manifestando su onda completa y son aprovechados los semiciclos en la onda de corriente alterna (Padilla, 2000).

Gráfico 5

Etapas de rectificadora.



Fuente: Repositorio UNAM, 2021.

Como segunda etapa tenemos a:

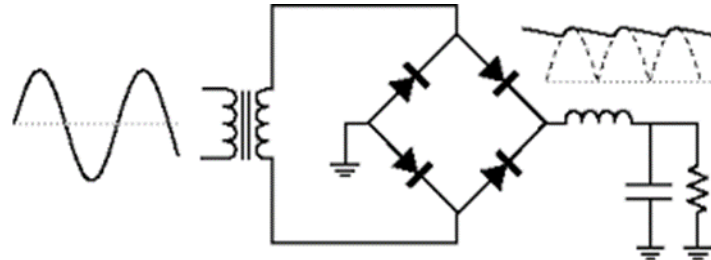
2.3.1.2 Filtrado

Es un circuito intermedio que está estructurado por una red RC, convirtiendo las ondas de onda completa de la etapa anterior en un valor de corriente y voltajes continuos, ver **Gráfico 6**. Al ser el diodo un elemento no lineal, se incluirá compuestos no lineales a su salida, con la finalidad de

obtener un resultado factible. Esta dará uniformidad a la señal convirtiéndola en una tensión constante (Padilla, 2000).

Gráfico 6

Etapas de filtrado.



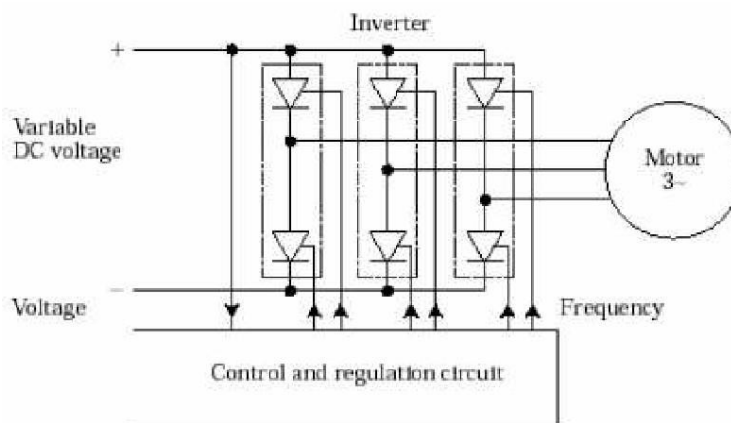
Fuente: Hydraulic Institute book

2.3.1.3 Inversora

En esta tercera etapa de la rectificadora transforma la energía continua en alterna. Su mecanismo es cambiar el voltaje de entrada en la energía continua a un voltaje simétrico de salida de energía alterna (Padilla, 2000).

Gráfico 7

Etapa inversora.



Fuente: Hydraulic Institute book.

2.4 Ventajas del variador de frecuencia

Tal como se ha explicado anteriormente, un variador de frecuencia es un dispositivo diseñado para regular la velocidad de un motor de inducción trifásico, ver **Gráfico 8**. Lo hace ajustando la frecuencia de la corriente que se envía al motor. Debido a este control sobre la velocidad del motor, el uso de un variador de frecuencia ofrece varias ventajas como:

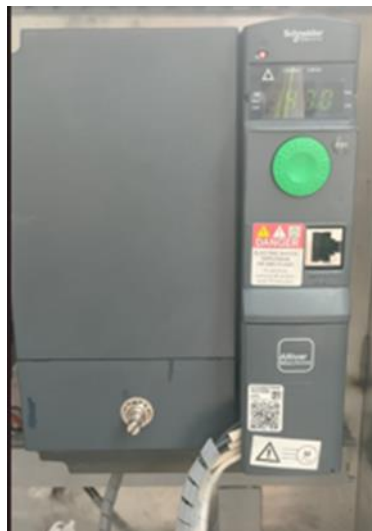
- ✓ Control de la velocidad del motor.
- ✓ Ahorro energético.
- ✓ Control a distancia y acoplado a un sistema automático.
- ✓ Programa tiempo de arranque y parada.
- ✓ No requiere relé térmico, el variador de frecuencia protege al motor controlando la intensidad, sobrecarga u sobre intensidad instantánea.

2.4.1 Variadores de frecuencia aplicado a sistema de presión de descarga de agua constante

La configuración para obtener un control del flujo está en el uso de una válvula, pero las pérdidas serían muy grandes y con ello el consumo de energía eléctrica incrementa. Mientras que, con el uso de un variador de frecuencia es posible de un control óptimo, ajustando la velocidad del del motor que acciona la bomba; entonces, se logra optimizar las pérdidas del flujo y con ello un ahorro de energía. (Figueroa, 2012).

Gráfico 8

Variador de frecuencia.



Fuente: SEAPORT S.A.

2.5 Ley de afinidad

Esta ley expresa la relación matemática que existe entre el caudal, la velocidad de la bomba (rpm), la altura y el consumo de energía de las bombas centrifugas. Estas muestran una pequeña reducción en el caudal que convertirá en reducción fundamental de la potencia y el consumo energético (Pérez & Sánchez, 2020).

Una de las variables involucradas en el rendimiento de la bomba cuando las modifican, las otras variables se podrán calcular con esta ley.

Las variables son:

Q: Caudal

N: Velocidad de la bomba H: Altura

P: potencia

Mientras que las fórmulas de las leyes de afinidad son:

- ✓ El caudal es directamente proporcional a la velocidad de la bomba.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

- ✓ La altura es proporcional al cuadrado de la velocidad de la bomba.

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

- ✓ La potencia eléctrica consumida por el motor es proporcional al cubo de la velocidad de la bomba.

$$\frac{P_1}{HP_1} = \frac{N_1}{N_2}^3$$

Según con estas fórmulas presentadas, si la velocidad de la bomba disminuye en un 50%, se conseguirá los siguientes datos:

- ✓ El caudal se reduce en un 50%
- ✓ La altura se reduce en un 25%
- ✓ Consumo de energía se reduce en un 12.5%

2.6 Tipos de regulación de flujo en bombas centrifugas

A menudo es necesario trabajar durante largos periodos de tiempo en condiciones de caudal inferiores al valor nominal. Bajo estas circunstancias, se puede implementar un enfoque que permita ahorros de energía significativos mediante la implementación de un mejor sistema de control de flujo (Saavedra, 2007).

Los métodos de regulación a continuación:

- ✓ Ajuste de la curva carga-flujo del sistema sobre el que opera la bomba.
- ✓ Ajuste de la curva carga-flujo de la bomba
- ✓ Ajuste simultanea de ambas características (sistema y bomba)
- ✓ Encendido o apagado de la bomba (variadores de frecuencia)

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

3.1 Reconocimiento general del proyecto

En el lavado de contenedores se emplean tres metodologías clave: el método experimental, la práctica y la investigación. El método experimental permite identificar las técnicas más eficaces mediante la manipulación de variables y la observación de sus efectos. La metodología práctica optimiza estas técnicas a través de la experiencia y ajustes continuos en las operaciones diarias. Por último, la investigación sistemática explora nuevas tecnologías y métodos, recopilando datos para innovar y mejorar el proceso. Juntas, estas metodologías garantizan la eficiencia, efectividad e innovación en el lavado de contenedores.

Un aporte importante a referir del presente proyecto que consta de dos etapas fundamentales para obtener objetivo preestablecido. La primera consiste en el diseño e implementación de un sistema de control de variador de voltaje para mantener una presión constante predefinido en el objetivo general y la segunda etapa consiste en el sistema de control del variador de voltaje, donde esta parte concierne a la parte eléctrica, voltaje y el control de presión; obteniendo un ahorro hasta del 60% de energía con el uso de variador de frecuencia. Incluso una reducción en la velocidad menos puede haber ahorros significativos.

Dado que el sistema funciona eléctricamente, no es necesario utilizar estanques hidroneumáticos de gran tamaño, como en los sistemas antiguos de presión, lo que permitirá un significativo ahorro de espacio.

3.2 Descripción general del sistema

Este presente proyecto, el sistema de control que se obtendrá en base al variador de frecuencia donde se podría ahorrar hasta un 60% de energía utilizando un inversor en su bomba. Con esto, es posible un ahorro mayor de energía al hecho de que el sistema solo funciona bajo demanda. Incluso una pequeña reducción en la velocidad puede generar ahorrar muy significativo para la empresa. El proyecto se partirá por el desmontaje de la bomba marca Dayton 1MCY2 de tipo banda a una nueva bomba marca Dayton 1MCY2, pero esta vez será tipo matrimonio. A continuación, los elementos del sistema son:

- ✓ Una bomba tipo banda marca DAYTON 1MCY2.
- ✓ Una bomba tipo matrimonio marca Dayton 1MCY2.
- ✓ Variador de frecuencia Altivar Machine ATV320.
- ✓ Potenciador

- ✓ Tuberías de distribución
- ✓ Motor

A continuación, se observa la estructura de un sistema de presión:

Tabla 1

Estructura general de los elementos y sistema de presión.

BOMBAS	VARIADOR DE FRECUENCIA	ESTRUCTURA DE CONEXIONES DEL SISTEMA DE PRESION
		
<p>DAYTON Plunger Pump 1M CY2.</p> <p>Están diseñadas por cajas de engranajes, transmisión de correas con un cigüeñal solido de 24mm.</p> <p>Max PSI 3500. RPM 1750.</p>	<p>Altivar Machine ATV320, Variable seep driver, 7.5 kW, 380... 500 V, 3 phases.</p>	

Fuente: SEAPORT S.A

El proyecto comenzará con el desmontaje de la bomba marca Dayton 1M CY2 de tipo banda, para ser reemplazada por una nueva bomba de la misma marca y modelo, pero esta vez del tipo matrimonio. Este cambio permitirá evaluar las diferencias en eficiencia y rendimiento entre ambos tipos de bombas bajo las mismas condiciones operativas. La implementación de un variador de frecuencia Altivar Machine ATV320 es clave en este sistema, ya que permite ajustar la velocidad de la bomba de acuerdo con la demanda del proceso, optimizando así el uso de energía. Adicionalmente, el sistema incluirá un potenciador, que mejorará aún más la eficiencia y capacidad del sistema, garantizando un funcionamiento óptimo. Este enfoque integral no solo busca mejorar la eficiencia energética, sino también aumentar la fiabilidad y adaptabilidad del sistema a futuras necesidades operativas.

3.3 Bombas

Es una máquina que funciona con energía eléctrica y mecánica accionando la energía hidráulica en el fluido. La función de la bomba es incrementar la presión dentro de la tubería, en caso de disminución de presión por la demanda existente, ver **Imagen 3** Bomba Dayton 1MCY2 **Imagen 3**.

En este proyecto, señalamos la ambigüedad de la bomba en su utilización, ya que este término se usa para referirse a las máquinas e fluido que transfiere energía o bombea líquidos

Imagen 3

Bomba Dayton 1MCY2



incompresibles, y por ende no alteran a la densidad del fluido que bombea.

Fuente: SEAPORT S.A

La bomba que se muestra en **Imagen 3**, es la utilizaremos para este proyecto es de la marca Dayton 1MCY2, donde están diseñadas para aplicaciones de lavado industrial a altas presiones. Dicha bomba está constituida con cuerpos fundidos a presión y cuenta con una cabeza de latón forjado, una mirilla estilo bayoneta en las cubiertas trasera y laterales. Los componentes internos incluyen émbolos cerámicos especiales para una larga vida útil y durabilidad.

3.3.1 Dimensionamiento de las bombas

El método de dotaciones para el dimensionamiento de las bombas será la más factible ya que se base en la estimación de consumo en 24 horas. Se muestra su fórmula a continuación:

$$Qd = \frac{\text{Dotacion} * K}{86400} = \text{lbs}$$

Donde:

Dotación: es la cantidad de litros por día

K: es un factor que según proyecciones de variación en la demanda en redes se recomienda estimarse de 8 a 10 según:

Dotación	
Menor a 50 000 lpd	K=10
Entre 50 001 y 100 000 lpd	K=9
Mas de 100 001 lpd	K=8

Este enfoque es aplicable a diferentes tipos de construcciones y se fundamenta en calcular el consumo de la red durante un periodo de 24 horas. Luego, el resultado se multiplica por un facto K para estimar el “pico máximo probable” que podría ocurrir en la red (Fernández, 2012).

Siguiendo con el proceso de dimensionamiento, reemplazaremos los valores a la formula y se obtiene:

$$Qd = \frac{24480 * 10}{86400} = 2,83 \text{ lbs}$$

El siguiente de dimensionamiento, la potencia de la bomba podrá calcularse mediante la fórmula:

$$HP = \frac{Q \text{ (lbs)} * H \text{ (metros)}}{75 * n(\%)10}$$

Donde:

HP: Potencia de la bomba en caballos de fuerza Q: Caudal, flujo o gasto

H: Carga de la columna de agua

N: Rendimiento de la bomba, que para efectos de cálculo se asume un 60%. Se reemplaza

Se reemplaza:

$$HP = \frac{2,83 * 0,89}{75 * 60\%/100} = \frac{2,5187}{0,45} = 5,59$$

3.3.2 Bombas instaladas

Se emplearon dos bombas, donde ambas son de la misma marca y numeración con la diferencia en que una es tipo banda y la suplantaremos por tipo matrimonio. La bomba tipo matrimonio estará regulada por una red de variadores de frecuencia, correspondientes uno a cada una de las bombas.

Tabla 2

Tipos de bomba

BOMBA TIPO BANDA	BOMBA TIPO MATRIMONIO
	
<p><i>marca Dayton IMCY2</i></p> <p><i>Hz:60</i> <i>HP 10</i> <i>Kw746</i> <i>RPM 1750</i></p>	
<p style="text-align: center;"><u>Bomba anterior</u></p> <p>La Bomba tipo banda está estructurado por un sistema funcionaba, con un motor por medio de dos bandas, la cual constaba de una polea de 20cm en la bomba y una polea de 10cm en el motor, que generaba una presión de 2000 PSI con variaciones de presión, variación de voltaje y amperaje en el arranque, mayor consumo de energía.</p>	<p style="text-align: center;"><u>Bomba actual</u></p> <p>Esta bomba tipo matrimonio tiene un sistema funciona, con dos acoples tipo matrimonio que está sujeto al eje del motor y de la bomba generando una presión de 3000 PSI y con un variador de frecuencia, un potenciómetro que optimiza el consumo de energía en el arranque y estabiliza el amperaje manteniendo una presión constante.</p>

Fuente: SEAPORT S.A

3.3.3 Consumo eléctrico

3.3.3.1 Motor tipo banda

Datos:

- ✓ Motor 10HP trifásico
- ✓ 480v
- ✓ Consume 7,5kW
- ✓ Presión 2000 PSI

Formula: Regla de tres.

Los contenedores tienen un tiempo máximo de 5 minutos de limpieza, incluye lavado y secado.

Si hablamos de que, en un día se lavan 30 contenedores,

$$30 \text{ contenedores} \cdot 5 \text{ minutos} = 150 \text{ minutos}$$

Donde procedemos a realizar una regla de tres:

$$150 \cancel{m} \frac{1h}{60\cancel{m}} = 2,5 \text{ horas.}$$

Entonces, tenemos que; por 30 contenedores que se les realiza la limpieza en un día, laboran 2,5 horas diarias. Por lo que, luego tenemos que sacar los kilo watts por horas:

$$7,5kW \cdot 2,5h = 18,75 \text{ kW/h}$$

Durante un día de lavado y secado de contenedores, se tiene un consumo energético de 18,75kW/h con la bomba tipo banda.

Consumo de agua bomba tipo banda

En los lavados de contenedores tenemos que, 1 contenedor equivale a 4 galones por minuto, teniendo en cuenta que cada contenedor tiene un tiempo máximo de 5 minutos. Entonces:

$$\frac{4 \text{ galones}}{\text{minutos}} \cdot 5 \text{ minutos} = 20 \text{ galones}$$

Si son 30 contenedores que se le realiza su respectiva limpieza, entonces decimos que:

$$20 \text{ galones} \cdot 30 \text{ contenedores} = 600 \text{ galones}$$

3.3.3.2 Motor tipo matrimonio

Datos:

- ✓ Motor 10 HP trifásico
- ✓ 480v
- ✓ Consume 7,5kW
- ✓ Presión de 3000 PSI

Para realizar el lavado con una presión de 3000 PSI nos tomamos un tiempo de 3 minutos por cada contenedor saneado.

$$30 \text{ contenedores} \cdot 3 \text{ minutos} = 90 \text{ minutos}$$

Los 90 minutos que se realizan en el lavado de 30 contenedores a:

$$90 \text{ minutos} \frac{1H}{60 \text{ minutos}} = 1,5 \text{ horas}$$

Entonces, para el saneamiento de los 30 contenedores, tenemos:

$$7,5kW \cdot 1,5 \text{ horas} = \frac{11,25kW}{h}$$

Consumo de agua bomba tipo matrimonio

En el lavado de contenedores, tenemos que 1 contenedor equivale a 4 galones x minuto y que el tiempo de lavado del mismo es de 3 minutos, ya que, en este proceso, trabaja con una presión de 3000 PSI. Siendo así, tenemos lo siguiente planteado:

$$4 \frac{\text{galones}}{\text{minuto}} \cdot 3 \text{ minutos} = 12 \text{ galones por minuto}$$

Si son 30 contenedores, tenemos:

$$12 \text{ galones} \cdot 30 = 360 \text{ galones}$$

3.4 Variador de frecuencia

3.4.1 Dimensionamiento de los variadores de frecuencia

Hay varios datos a tomar en cuenta en la selección de un variador de frecuencia la cual, los más importante son: voltaje de alimentación (220V), media ambiente (seco), regulación de velocidad (hasta 3450 rpm), potencia (hasta 10HP o 7.5Kw), corriente (hasta 30A), aplicación (bomba de agua).

En el comercio existen varias marcas, tipos de variador de frecuencia, pero en esta ocasión nos enfocaremos en el variador de frecuencia Altivar Machine ATV320, siendo este el más conveniente. Para confirmar si el dimensionamiento del variador de frecuencia de marca Altivar Machine ATV320 utilizaremos el manual de dicho variador. Según la siguiente tabla para la alimentación:

Imagen 4

Variador de frecuencia



Fuente: Manual del variador de frecuencia - Altivar Machine.

Tabla 3

Características técnicas de Altivar Machine ATV320

Características técnicas	
Marca:	Altivar Machine
Familia:	ATV320
Modelo:	ATV320U75N4B
Tensión alimentación:	380 – 500 V
Salida corriente nominal:	17.0 A
Voltaje de salida max:	250V
Potencia motor en kW:	7.5 kW for heavy duty
Grado protección Ip:	IP20
Puertos de comunicación:	Modbus serial CANopen
Numero entradas discretas:	7
Numero salidas discretas:	3

Fuente: Manual del variador de frecuencia.

3.4.2 Instalación

El variador de frecuencia es el que nos va a permitir regular la velocidad de los motores eléctricos, donde esta envía la electricidad al motor según la demanda real de su aplicación. Se reduce así, el consumo de energía entre un 20% y 70%, sino que también minimiza el desgaste mecánico y las vibraciones, prolongando la vida útil de los equipos. Además, la capacidad del variador de frecuencia para arrancar y detener el motor de manera gradual contribuye a una operación más suave y menos estresante para el sistema, lo cual es especialmente beneficioso en aplicaciones donde las fluctuaciones de carga son frecuentes. Esta tecnología, al reducir las ineficiencias inherentes a los sistemas de bombeo tradicionales que operan a velocidad constante, se convierte en una herramienta esencial para mejorar tanto la eficiencia operativa como la sostenibilidad ambiental, ver **Imagen 5**.

Imagen 5

Variador de frecuencia instalado



Fuente: SEAPORT S.A.

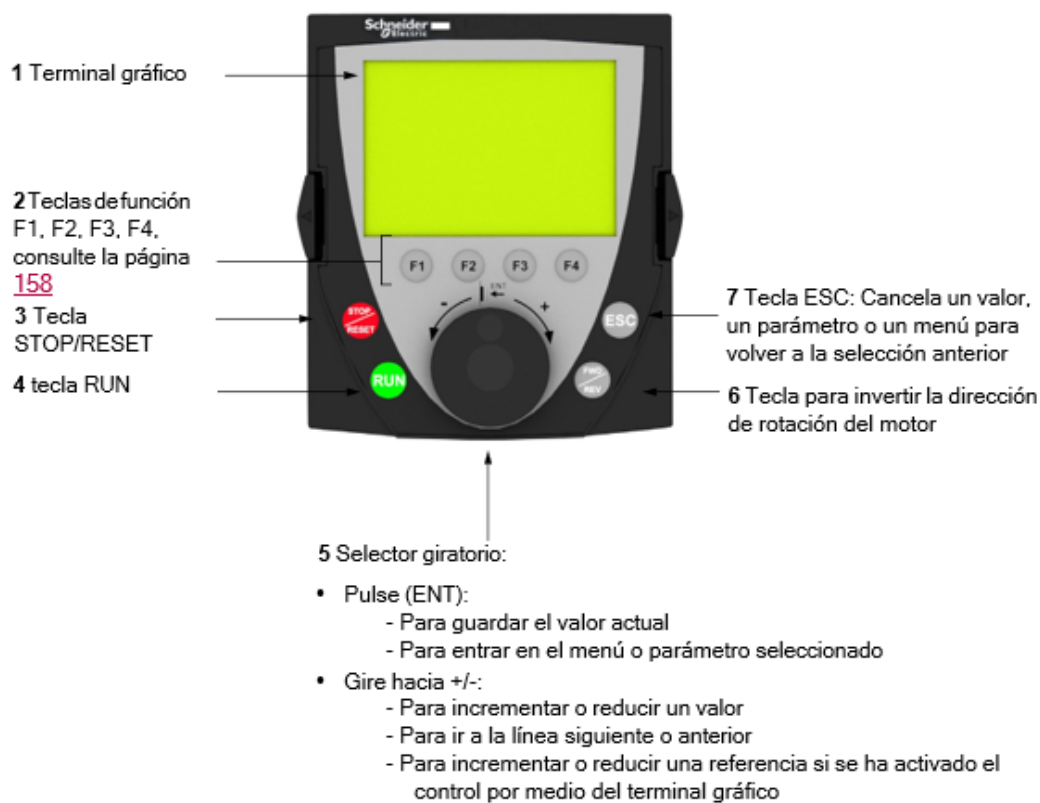
Este enfoque no solo optimiza el rendimiento energético, sino que también reduce los costos operativos a largo plazo. Además, al disminuir las emisiones de carbono, contribuye a cumplir con las normativas ambientales vigentes y a mejorar la huella ecológica de la empresa.

3.4.2.1 Opciones del Terminal Gráfico.

La terminal de control de un variador de frecuencia Altivar Machine ATV 320 es la interfaz a través de la cual se configuran y monitorizan las operaciones del variador. Esta terminal permite a los usuarios ajustar parámetros clave, como la velocidad del motor, el tiempo de aceleración y desaceleración, y las funciones de arranque y para, entre otros. Se visualiza la información detallada que la que puede mostrarse en el terminal integrado.

Imagen 6

Teclas del terminal remoto.



Fuente: Manual del variador de frecuencia – Altivar Machine

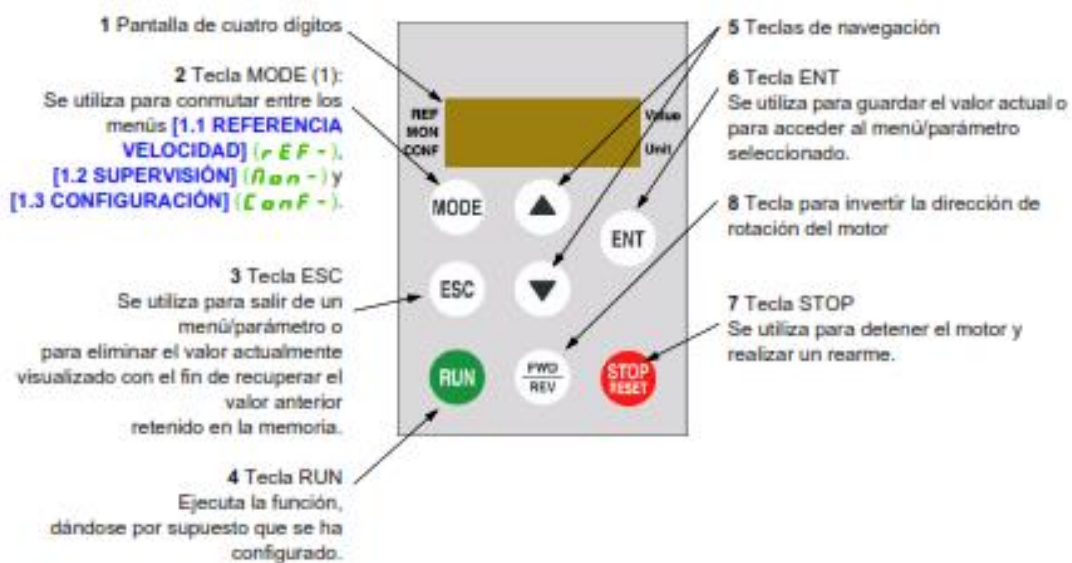
La terminal generalmente incluye una pantalla que muestra información en tiempo real, como la frecuencia de salida, la corriente, y el estado operativo del variador. Además, está equipada con botones o un panel táctil que facilita la navegación a través de los menús y opciones de configuración. Esto permite a los operadores realizar ajustes precisos de acuerdo con las necesidades específicas de la aplicación.

3.4.2.2 Terminal de Remoto.

Este terminal remoto, ver **Imagen 7**, es una unidad de control local que puede montar en un lugar de ambiente seco (pared, suelo, etc.). Cuenta con un cable con conectores para conectarse al enlace serie del variador instalarse en la puerta del armario montado en la pared o sobre el suelo. Dispone de un cable con conectores, que se conecta con el enlace serie del variador. Este terminal permite la navegación utilizando las flechas hacia arriba y hacia abajo, en lugar de un selector giratorio.

Imagen 7

Opciones del terminal remoto



Fuente: Manual del variador de frecuencia – Altivar Machine

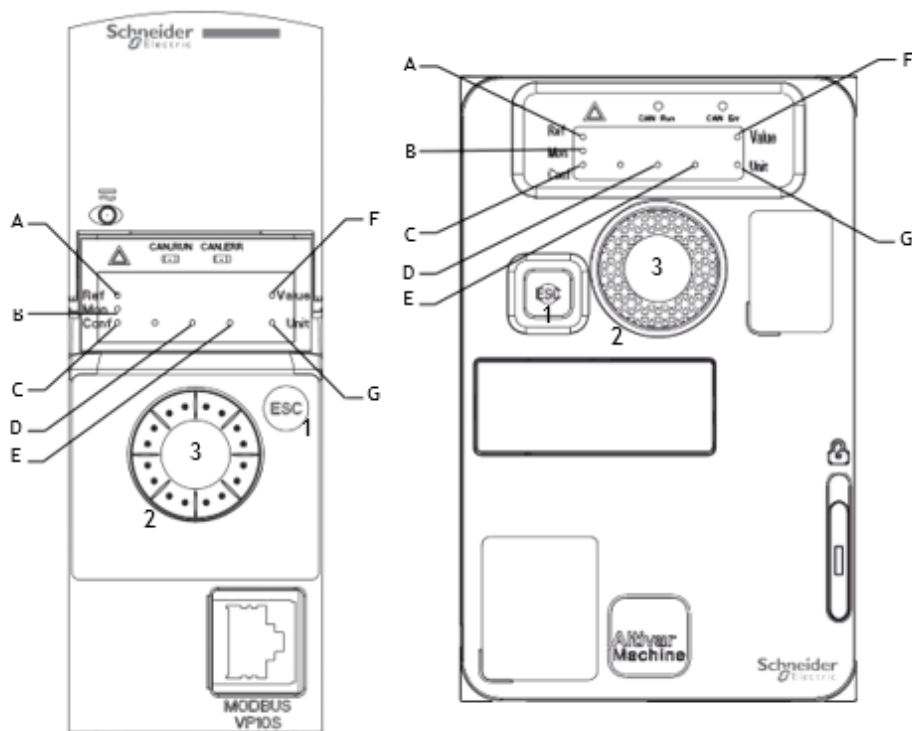
3.4.2.4 Funciones de la Pantalla y Teclas

1. La tecla **ESC** se emplea para moverse por el menú (regresar) y para ajustar en los parámetros (cancelar).
2. El **selector giratorio** se usa para desplazarse por el menú (subir o bajar) y para modificar los parámetros (aumentar y/o disminuir un valor o seleccionar una opción). Puede utilizarse como la Entrada analógica virtual 1 para establecer la referencia de frecuencia del variador.
3. La tecla **ENT** (al presionar el selector giratorio) se emplea para avanzar por el menú y para confirmar ajustes en los parámetros.

A	Modo REF seleccionado (rEF-)	E	Punto utilizado para mostrar el valor del parámetro (décimas)
B	Modo MON seleccionado (ll n-)	F	La visualización actual es el valor del parámetro.
C	Modo CONF seleccionado (C nF)	G	La visualización actual es la unidad del parámetro.
D	Punto utilizado para mostrar el valor del parámetro (centésimas)		

Imagen 8

Características del panel de control del variador de frecuencia



Fuente: Manual del variador de frecuencia.

Los parámetros del variador pueden ser accesibles tanto cuando está en operación como cuando está detenido. Algunas funciones incluyen una gran cantidad de parámetros, por lo que se han organizado en sub menús para facilitar la programación y evitar la navegación en una lista extensa. Estos sub menús pueden ser identificados por la presencia de un guion después de su código, similar a los menús principales, ver **Imagen 8**. Durante el funcionamiento del variador, el valor que se muestra corresponde a uno de los parámetros de supervisión, siendo el parámetro de la referencia de frecuencia de entrada el valor predeterminado mostrado.

3.5 Cambio de bombas

Los que se quiere lograr un cambio de bombas, para que su presión sea constante ahorrando un consumo de agua y energía. Es decir, la implementación de un sistema de control basado en un variador de frecuencia, lo que podría resultar en un ahorro de energía de hasta un 60% al utilizar un inversor en la bomba. Esta eficiencia energética se logra gracias al funcionamiento del sistema únicamente cuando se requiere, lo que puede generar ahorros significativos incluso con una pequeña reducción en la velocidad de la bomba. El reemplazo de la bomba marca Dayton 1MCY2 de tipo banda por una nueva del mismo modelo, pero en esta ocasión será del tipo matrimonio.

1. Bombas de tipo banda vs. bombas de tipo matrimonio:

- Las bombas de tipo banda suelen ser más simples y menos eficientes en comparación con las bombas de tipo matrimonio.
- Las bombas de tipo matrimonio están diseñadas para operar de manera más eficiente y pueden adaptarse mejor a las necesidades específicas de presión y caudal del sistema.

2. Variador de frecuencia:

- Un variador de frecuencia permite controlar la velocidad del motor de la bomba, lo que puede conducir a un uso más eficiente de la energía.
- Al ajustar la velocidad del motor según las necesidades del sistema, se puede reducir el consumo de energía y agua, ver **Imagen 8**.

3. Beneficios del cambio:

- La instalación de bombas de tipo matrimonio con variador de frecuencia puede resultar en un consumo reducido de energía eléctrica y agua en comparación con las bombas de tipo banda.
- Al optimizar el rendimiento del sistema, es posible mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos de funcionamiento a largo plazo.

Es importante evaluar adecuadamente las necesidades específicas del sistema de lavado de contenedores, incluyendo los requisitos de presión, caudal y ciclo de trabajo. También, se deben tener en cuenta los costos de instalación y mantenimiento de las nuevas bombas y del variador de frecuencia.

A continuación, se muestra la imagen de la bomba Dayton 1MCY2 tipo banda:

Imagen 9

Bomba Dayton IMCY2 tipo banda.



Fuente: SEAPORT S.A.

A continuación, se muestra la imagen de la bomba Dayton IMCY2 tipo matrimonio:

Imagen 10

Bomba IMCY2 tipo matrimonio.



Fuente: SEAPORT S.A.

CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADO

4.1 Prueba y resultados

Luego de tener la bomba tipo matrimonio, empezamos el cambio para el sistema de presión de agua constante, con un ahorro de energía y agua. Se realizaron las pruebas pertinentes, con la finalidad de comprobar la mejora continua. Se evidenciaría y se cumple con los objetivos planteados.

La prueba consta de:

- ✓ Funcionamiento y mantenimiento del variador de frecuencia
- ✓ Funcionalidad de la bomba tipo matrimonio, su velocidad y presión constante y que se diferencia de la bomba tipo banda
- ✓ Cuantos litros se consume en el lavado de contenedores en un día.

El promedio del lavado de los contenedores es de 5min aproximadamente, teniendo en cuenta en se descarga 4 galones de minuto. El resultado va a variar dependiendo cuantos contenedores se lavan al día. En un estimado, durante el proceso de lavado de 30 contenedor durante el día, entonces serían 600 galones en el día que se genera para la limpieza del mismo.

Objetivo 1

Determinar el variador de frecuencia que permita mantener la velocidad adecuada del motor, obteniendo la respectiva presión del trabajo.

Un variador de frecuencia es la solución eficiente para mejorar el consumo de energía. Los motores eléctricos desempeñan un papel crucial en nuestras actividades comerciales y cotidianas, ya que controlan prácticamente todos los aspectos necesarios para nuestro trabajo y entretenimiento. Estos motores, alimentados por electricidad, requieren una cantidad específica de energía para funcionar correctamente, proporcionando la potencia necesaria para diversas aplicaciones, desde la operación de maquinaria industrial hasta el funcionamiento y proceso de lavado de contenedor, como lo es en este caso. Es esencial que la velocidad del motor se sincronice con las necesidades del proceso en cuestión, utilizando únicamente la energía requerida.

Los variadores de frecuencia, por su parte, regulan la velocidad de los motores eléctricos para que la electricidad suministrada se adapte a la demanda real de la aplicación, lo que resulta en una

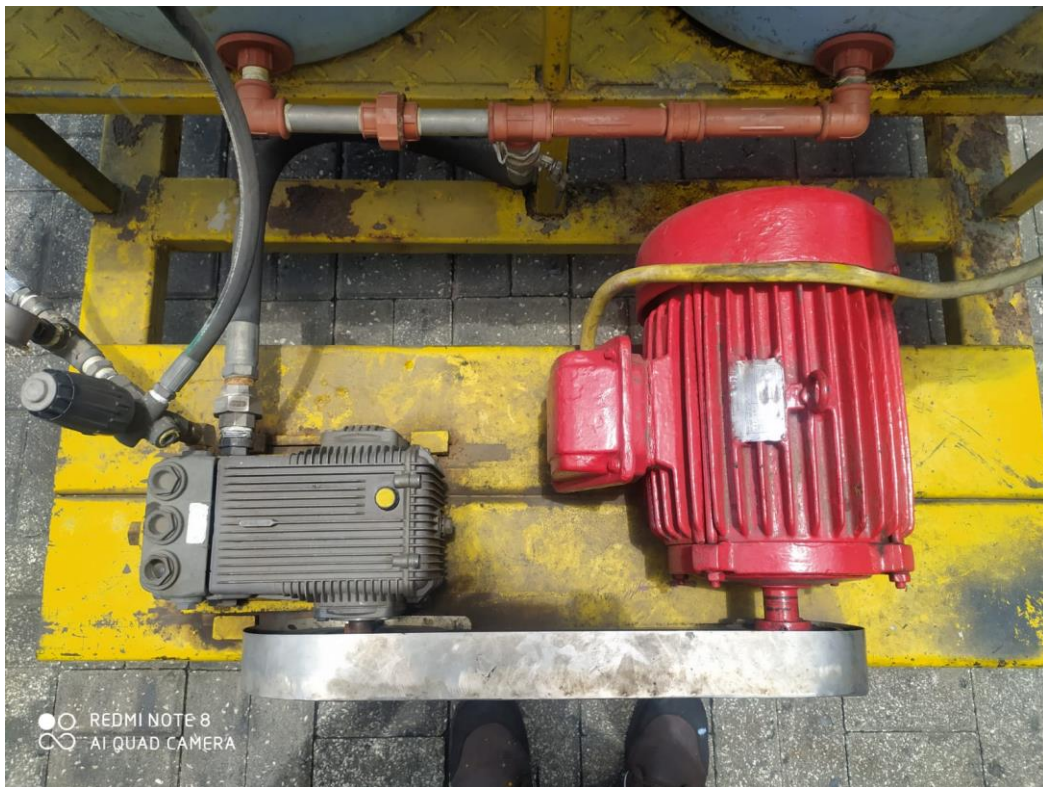
reducción significativa del consumo energético del motor, con ahorros que oscilan entre el 20% y el 70%.

Ciertamente, al considerar la transición de bombas de tipo banda a bombas de tipo matrimonio equipadas con variadores de frecuencia, se vislumbra una oportunidad significativa para optimizar la eficiencia en el lavado de contenedores, particularmente en términos de reducción de consumo de agua y energía. La capacidad de controlar la velocidad del motor mediante el variador de frecuencia permite una adaptación más precisa a las demandas del sistema, lo que podría traducirse en un uso más eficiente de los recursos. Sin embargo, es esencial realizar un análisis exhaustivo antes de llevar a cabo esta modificación.

Esto implica evaluar detalladamente las características operativas del sistema actual, así como identificar los requisitos específicos de presión y caudal para garantizar que el cambio sea adecuado y rentable en el contexto de la aplicación de lavado de contenedores con una presión constante de 3000 psi. Solo a través de una evaluación completa y cuidadosa se puede asegurar que la inversión en este tipo de actualización proporcione los beneficios deseados en términos de eficiencia energética y económica.

Imagen 11

Bomba tipo banda



Fuente: SEAPORT S.A

Imagen 12*Bomba tipo matrimonio*

Fuente: SEAPORT S.A.

Objetivo 2

Seleccionar los elementos eléctricos adecuados, que nos permita reducir la variación de voltaje en los motores del área de lavado de contenedores secos y refrigerados

Tabla 4*Elementos para el área de lavado*

Elementos	Foto	Descripción
Bomba 1mcy2		Están diseñadas para una variedad de aplicaciones de lavado a alta presión.

<p>Motor 480v 1750 rpm General Electric</p>		<p>Es un equipo industrial robusto y fiable, ampliamente utilizado en diversas aplicaciones debido a sus características y ventajas</p>
<p>Tanques de agua</p>		<p>Estos tanques tienen como finalidad almacenar agua para posteriormente limpiar los contenedores. Estos tienen una capacidad de 55 galones para su almacenamiento.</p>
<p>Cables</p>		<p>Cables de conexión eléctrica para voltaje de 480 v.</p>
<p>Variador de voltaje</p>		<p>Es un dispositivo utilizado para controlar la velocidad y el par de motores eléctricos ajustando la frecuencia y el voltaje de la energía suministrada al motor.</p>

<p>Mango de pistola de presión</p>		<p>Proporciona el lavado está diseñada para la mayoría de las tareas de lavado a presión</p>
<p>Manómetro de presión</p>		<p>Es esencial en aplicaciones donde se requiere monitorear y controlar el vacío, como en sistemas de refrigeración, procesos industriales y en laboratorios.</p>
<p>By pass</p>		<p>Un bypass es una tubería o conducto alternativo que permite redirigir el flujo de un fluido, en este caso agua. Alrededor de un componente específico del sistema, como una válvula o una bomba, para permitir el mantenimiento o la reparación sin detener todo el sistema.</p>

<p>Acoples tipo matrimonio</p>		<p>Son aquellas conexiones entre componentes (como ejes, tuberías, o partes estructurales) que están diseñadas para ser muy sólidas y resistentes. Estos son los que darán fuerza a la bomba al momento de ejercer la fuerza para enviar la presión constante del flujo del agua.</p>
<p>Manguera</p>		<p>Manguera de 20m de largo, para el proceso de lavado interior de los contenedores.</p>

Fuente: SEAPORT S.A.

Objetivo 3.

Seleccionar un mejor acoplamiento en el sistema de drenaje entre la bomba y el motor en el motor del sistema de contenedores refrigerados y secado.

Los contenedores cuentan con sistemas de drenaje independientes, cada uno diseñado específicamente para su propio uso. Es fundamental remover la suciedad acumulada en el interior de los contenedores hacia el exterior, evitando utilizar los sistemas de drenaje que vienen de fábrica para este propósito.

El drenaje incorporado en los contenedores tiene la función principal de eliminar el agua estancada que pueda acumularse en su interior. Esto ayuda a mantener los contenedores secos y en

buen estado, previniendo problemas como la oxidación o el deterioro prematuro debido a la acumulación de agua.

Además, es importante realizar un mantenimiento regular de estos sistemas de drenaje para asegurar su correcto funcionamiento. La acumulación de residuos o el bloqueo de los conductos de drenaje pueden reducir su eficacia, lo que podría resultar en el mal manejo del agua y la suciedad. Por lo tanto, una limpieza periódica y adecuada de estos drenajes es esencial para garantizar la longevidad y la eficiencia de los contenedores.

Imagen 13

Lavado del interior de contenedor



Fuente: SEAPORT S.A.

Objetivo 4.

Realizar un análisis económico del sistema de lavado de contenedores secos y refrigerados.

Al evaluar los costos y beneficios asociados con la implementación y operación de un sistema de lavado de contenedores secos y refrigerados, los elementos analizar son: bomba tipo banda marca Dayton 1MCY2, bomba tipo matrimonio marca Dayton 1MCY2, tanques de agua, cables, variador de frecuencia Altivar Machine ATV320, bypass, estructura, tuberías.

Costos Operativos

- ✓ Energía Eléctrica: Consumo energético de las bombas y el variador de frecuencia.
- ✓ Mantenimiento: Costos de mantenimiento preventivo y correctivo para cada componente del sistema.
- ✓ Agua: Costos asociados al consumo de agua para el lavado.
- ✓ Mano de Obra: Costos laborales para la operación y mantenimiento del sistema.

Análisis económico de bomba tipo banda

Los motores por su fiabilidad y durabilidad son conocidos por su alta fiabilidad y larga vida útil, reduciendo el tiempo de inactividad y los costos de mantenimiento. Estos diseñados necesitan menos mantenimiento, lo que disminuye los costos operativos a largo plazo, y es compatible y flexible, la cual, puede integrarse fácilmente en una variedad de sistemas y configuraciones existentes debido a su compatibilidad con estándares industriales, ver **Imagen 14**.

A continuación, el análisis económico de la bomba tipo banda:

Tabla 5

Análisis económico de la bomba tipo banda

ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN	VALOR
Motor	480v. 1750RPM, trifásico	\$800
Bomba	1MCY2	\$1200
Mangueras	20mtr	\$200
Bypass	-	\$1.00
Manómetro	-	\$40
Polea	20cm de grosor	\$100
Polea	10 cm de grosor	\$50
Tanques	Tanques 2 unid.	\$40
Tubería	-	\$100
Estructura	-	\$500
Cable	Cables concéntricos 20mtr	\$500
TOTAL		\$3.670

Fuente: SEAPORT S.A.

Imagen 14

Bomba instalada tipo banda



Fuente: SEAPORT S.A.

Análisis económico de bomba tipo matrimonio

Recordemos que en el desarrollo de un sistema de control eficiente utilizando un variador de frecuencia y mediante su uso, un ahorro de energía de hasta el 60% . Este ahorro es posible porque el sistema solo opera bajo demanda, lo que optimiza el consumo energético. Incluso una pequeña reducción en la velocidad de operación puede traducirse en ahorros significativos para la empresa, tanto en términos de energía como de costos operativos a largo plazo. Este enfoque contribuye a la sostenibilidad energética y a la mejora de su vida útil del equipo al reducir el desgaste mecánico asociado con el funcionamiento a altas velocidades. En la **Imagen 15**, se puede observar la bomba ya instalada.

Para el siguiente análisis, es importante mencionar que en este proceso se implementó el variador de frecuencia, adaptándolo a la bomba tipo matrimonio para tener una presión constante con un ahorro energético, ver **Imagen 15**.

Tabla 6

Análisis económico de la bomba tipo matrimonio.

Elementos	Descripción	Valor
Motor	480v. 1750RPM, trifásico	\$800
Bomba	1MCY2	\$1200
Mangueras	20mtr	\$200
Bypass	-	\$1.00
Manómetro	-	\$40
Acoples tipo matrimonio	-	\$80
Tanques	Tanques 2 unid.	\$40
Tubería	-	\$100
Manguera	Flexible 1plg	\$40
Variador de frecuencia	Altivar Machine	\$1.500
Estructura	-	\$500
Cable	Cables concéntricos 20mtr	\$500
TOTAL		\$5.100

Fuente: SEAPORT S.A.

Imagen 15

Bomba instalada tipo matrimonio junto al variador de frecuencia.



Fuente: SEAPORT S.A.

Análisis de Costos y Beneficios

- Costos Iniciales Totales: Sumar los costos de adquisición e instalación de todos los componentes.
- Costos Operativos Anuales: Calcular los costos anuales de operación y mantenimiento.
- Retorno de la Inversión (ROI): Comparar los beneficios anuales con los costos iniciales y operativos para determinar el tiempo de recuperación de la inversión.

Bomba tipo banda marca Dayton 1MCY2 motor 480 voltios general electric 1750rpm .

- Costo de Adquisición: \$1.200 + \$800 = \$2.000
- Costo de Instalación: \$1.100
- Consumo Energético: 18,75kW/h
- Mantenimiento Anual: \$700

Total, de costos de la bomba tipo banda = Costo de adquisición + (Costo de instalación / Vida útil) + (Consumo energético * Tarifa de energía) + Mantenimiento anual un solo valor.

$$2000 - (1100 / 15 \text{ años}) + (18,75 \text{ kW/h} * 0,10 \text{ ctvs}) + 700 = 2'775.208.33$$

Con la implementación de un variador de frecuencia (VFD) realizo ahorros de energía y la mejora en el control de la presión. Usaremos los datos proporcionados y otros supuestos razonables para realizar el análisis.

4.1.1 Descripción de los Sistemas de bombas

Bomba Antigua Tipo Banda

- Velocidad de Operación: 2000 RPM
- Potencia del Motor: 7.5 kW
- Control de Velocidad: Sin variador de frecuencia (operación fija a 2000 RPM)
- Consumo de Energía: Estimamos el consumo energético basado en la potencia del motor y la operación continua.

Bomba Nueva Tipo Matrimonio con Variador de Frecuencia

- Velocidad de Operación: Ajustable con variador de frecuencia
- Potencia del Motor: Igual o menor a 7.5 kW, pero más eficiente debido al VFD

- Control de Velocidad: Con variador de frecuencia, permitiendo operación variable según la demanda
- Consumo de Energía: Ajustado según las necesidades operativas, potencialmente reduciendo el consumo total.

4.1.2 Comparación de Voltaje y Consumo de Energía

Para simplificar el análisis, asumiremos que ambas bombas operan a 480V.

Consumo de Energía de la Bomba Antigua

Tenemos que; por 30 contenedores que se les realiza la limpieza en un día, laboran 2,5 horas diarias. Por lo que, luego tenemos que sacar los kilo watts por horas:

$$7,5kW \cdot 2,5h = 18,75 kW/h$$

Durante un día de lavado y secado de contenedores, se tiene un consumo energético de 18,75kW/h con la bomba tipo banda.

Consumo de energía de la bomba tipo matrimonio

para el saneamiento de los 30 contenedores, tenemos:

$$7,5kW \cdot 1,5horas = \frac{11,25kW}{h}$$

Estamos evidenciando que, con la bomba anterior, tipo banda, tenemos un consumo energético de 18,75kW/h, recordando que esta bomba trabaja con una presión de 2000 PSI. Mientras que, la bomba tipo matrimonio, gracias a su presión mayor de 3000 PSI y su variador de frecuencia que ayuda a equilibrar su presión constante tenemos un consumo de 11,25kW/h. Un ahorro de 7,5kW/h diarios.

4.1.3 Ahorro Energético

Motor tipo banda:

- **Consumo de energía diario:**

Tiempo total de lavado diario: 30 contenedores×5 minutos=150 minutos=2.5 horas

Consumo energético diario: 7.5 kW×2.5 horas=18.75 kW/h

- **Consumo de agua diario:**

Consumo de agua por contenedor: 4 galones/minuto×5 minutos=20 galones

Consumo de agua diario: 20 galones×30 contenedores=600 galones. ver, **Tabla 7.**

Consumo energético y consumo del agua mensual

Vamos a asumir un mes de 30 días para simplificar los cálculos.

Motor tipo banda:

- **Consumo mensual de energía:** $18.75 \text{ kW/h} \times 30 \text{ días} = 562.5 \text{ kW/h}$
- **Consumo mensual de agua:** $600 \text{ galones} \times 30 \text{ días} = 18000 \text{ galones}$.

Tabla 7

Tabla de consumo mensual de motor tipo banda

Concepto	Consumo Diario	Consumo Mensual
Energía (kW/h)	18.75 kW/h	562.5 kW/h
Agua (galones)	600 galones	18000 galones

Fuente: Autor.

Motor tipo matrimonio:

- **Consumo de energía diario:**

Tiempo total de lavado diario: $30 \text{ contenedores} \times 3 \text{ minutos} = 90 \text{ minutos} = 1.5$

Consumo energético diario: $7.5 \text{ kW} \times 1.5 \text{ horas} = 11.25 \text{ kW/h}$

- **Consumo de agua diario:**

Consumo de agua por contenedor: $4 \text{ galones/minuto} \times 3 \text{ minutos} = 12 \text{ galones}$

Consumo de agua diario: $12 \text{ galones} \times 30 \text{ contenedores} = 360 \text{ galones}$

Consumo energético y consumo del agua mensual

Vamos a asumir un mes de 30 días para simplificar los cálculos, ver **Tabla 8**.

Motor tipo matrimonio:

- **Consumo mensual de energía:** $11.25 \text{ kW/h} \times 30 \text{ días} = 337.5 \text{ kW}$
- **Consumo mensual de agua:** $360 \text{ galones} \times 30 \text{ días} = 10800 \text{ galones}$.

Motor tipo matrimonio:

Tabla 8

Tabla de consumo mensual tipo matrimonio

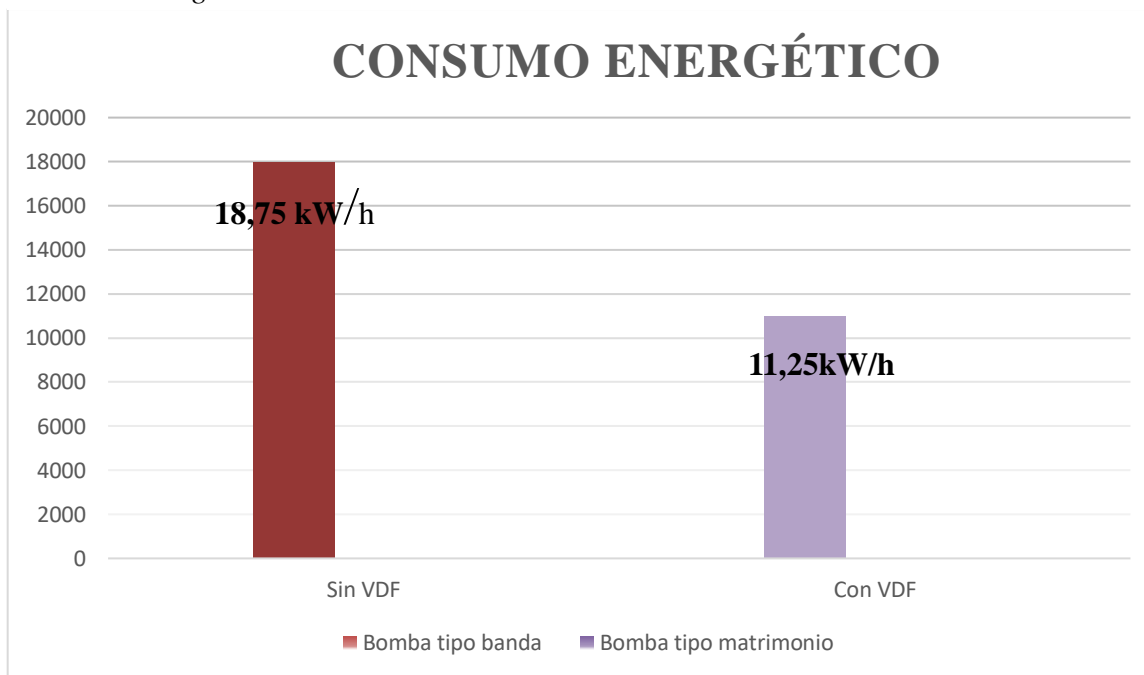
Concepto	Consumo Diario	Consumo Mensual
Energía (kW/h)	11.25 kW/h	337.5 kW/h
Agua (galones)	360 galones	10800 galones

Fuente: Autor.

Gráficos de consumos energéticos, consumo de agua y porcentaje de mejora.

Gráfico 9

Consumo energético.

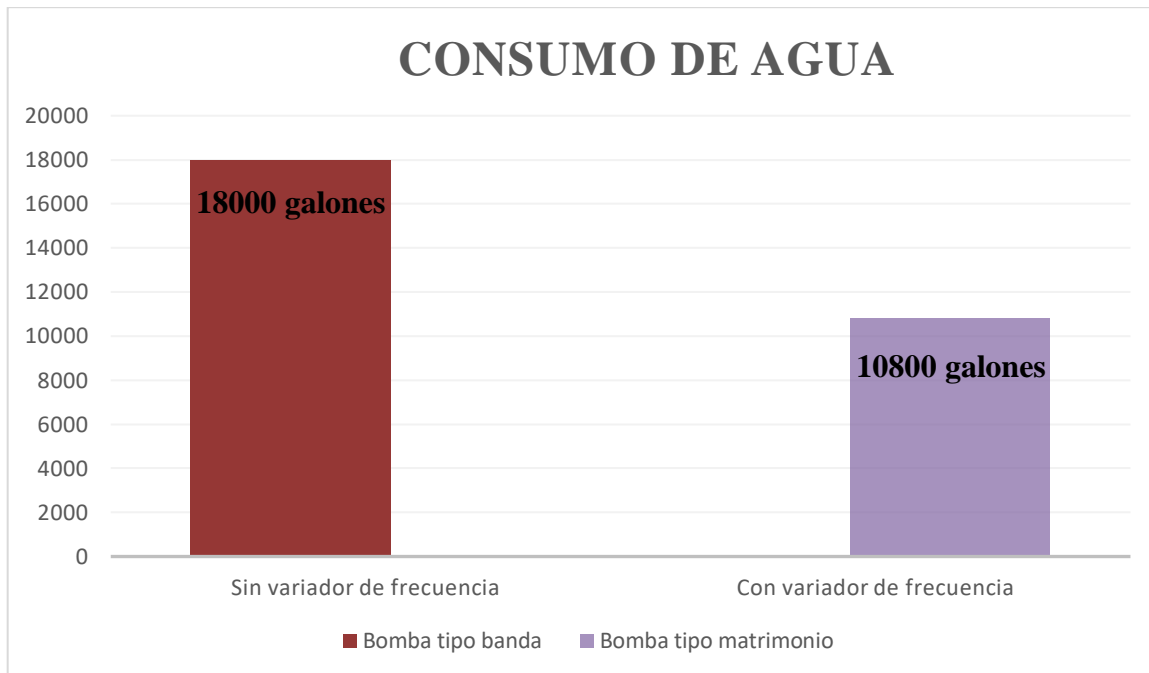


Fuente: Autor

El gráfico presenta dos barras comparativas que ilustran claramente el cambio en el consumo energético. La primera barra representa el consumo energético anterior, que es de 15,000 kWh por año. La segunda barra muestra el consumo energético nuevo, reducido a 9,000 kWh por año. Esta disminución en el consumo refleja un ahorro significativo de energía del 40%, como se muestra en **Gráfico 9**. El gráfico destaca visualmente cómo la implementación de nuevas tecnologías y métodos ha llevado a una mejora en la eficiencia energética, reduciendo considerablemente el uso de electricidad y, por lo tanto, los costos operativos y el impacto ambiental asociado.

Gráfico 10

Consumo de agua



Fuente: Autor

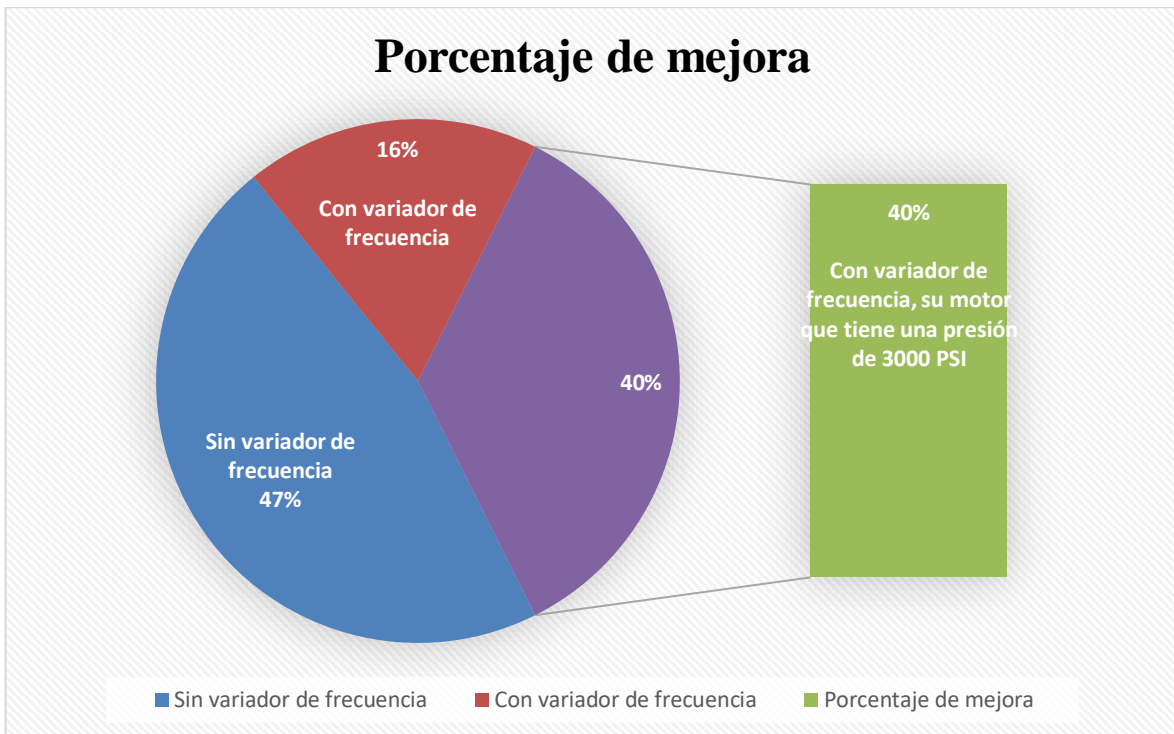
Estas tablas muestran el consumo diario y mensual de energía y agua para los dos tipos de bombas en el lavado de contenedores. Recordemos que, durante un día de lavado de contenedores, estuvo generando 360 galones de agua diarios, a comparación del lavado con la bomba anterior tipo banda. Es decir, Con la bomba tipo banda, se generaba un consumo eléctrico de 18,75kW/h y un consumo de agua de 600 galones diarios, cabe recalcar que cada contenedor se estimaba un tiempo de limpieza de 5 minutos.

Mientras que, con la bomba tipo matrimonio, gracias al variador de frecuencia y su motor que tiene una presión de 3000 PSI, más que la bomba anterior, tenemos que tiene un consumo energético de 11,25kW/h y un consumo de agua de 360galones diarios. Estamos hablando de un ahorro de energía de 7,5 kW/h y un ahorro de consumo del agua de 240 galones, dándonos como resultante un ahorro del 40%, ver **Gráfico 10**.

Recordemos que, este ahorro es posible porque el sistema solo opera bajo demanda, lo que optimiza el consumo energético. Incluso una pequeña reducción en la velocidad de operación puede traducirse en ahorros significativos para la empresa, tanto en términos de energía como de costos operativos a largo plazo.

Gráfico 11

Porcentaje de mejora



Fuente: Autor

El gráfico porcentual muestra claramente una mejora del 40% en la eficiencia del sistema, lo que se ha logrado gracias al uso del variador de frecuencia y su motor, que opera a una presión de 3000 PSI. Este avance técnico ha permitido un ahorro significativo de energía, reduciendo el consumo en 7,5 kW/h. Además, la optimización del sistema no solo ha impactado en el ahorro energético, sino también en el consumo de agua, con una reducción de 240 galones, como se detalla en el **Gráfico 11**.

Esta mejora dual en eficiencia energética y en el uso del agua destaca el impacto positivo de la implementación de tecnologías avanzadas en el lavado de contenedores, resultando en beneficios tanto económicos como medioambientales.

Gracias al variador de frecuencia, es posible una optimización de energía, en la cual, mejora aun la eficiencia y capacidad del sistema, garantizando un funcionamiento óptimo. El enfoque integral fue la mejora de la eficiencia energética, aumentando así la fiabilidad y adaptabilidad del sistema a futuras necesidades operativas.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 9

Cronograma de actividades

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES									
FECHAS	Febrero			marzo				Abril	
SEMANAS DE ACTIVIDADES	2	3	4	1	2	3	4	1	2
Preparación, planificación y adquisición de equipos.									
Instalación de la nueva bomba y variador de frecuencia.									
Pruebas y ajustes del sistema.									
Capacitación, operación inicial y monitoreo.									

Fuente: Autor.

Semana 1: Preparación y Planificación

- **Lunes:** Reunión inicial con el equipo de proyecto para definir objetivos y roles.
- **Martes:** Evaluación del sitio y recopilación de datos técnicos sobre la bomba antigua y nueva.
- **Miércoles:** Contacto con proveedores para la adquisición de la nueva bomba y variador de frecuencia (VFD).
- **Jueves:** Solicitud de cotizaciones y comparación de ofertas.
- **Viernes:** Selección de proveedores y confirmación de pedidos.

Semana 2: Adquisición de Equipos

- **Lunes:** Confirmación de fechas de entrega de equipos.
- **Martes:** Revisión de planos y especificaciones técnicas del sistema.

- **Miércoles:** Preparación del sitio para la instalación (limpieza, espacio, conexiones).
- **Jueves:** Reunión con el equipo técnico para planificar la instalación.
- **Viernes:** Recepción de la bomba nueva y VFD, verificación de componentes.

Semana 3: Instalación - Fase 1

- **Lunes:** Desmontaje de la bomba antigua tipo banda.
- **Martes:** Inspección y preparación de las conexiones eléctricas y mecánicas.
- **Miércoles:** Instalación de la nueva bomba tipo matrimonio.
- **Jueves:** Conexión de la bomba nueva a las tuberías y sistemas auxiliares.
- **Viernes:** Instalación del variador de frecuencia (VFD).

Semana 4: Instalación - Fase 2

- **Lunes:** Conexión del VFD al sistema eléctrico y configuración inicial.
- **Martes:** Instalación de sensores y controles adicionales (potenciómetro).
- **Miércoles:** Revisión de todas las conexiones y seguridad del sistema.
- **Jueves:** Pruebas iniciales de funcionamiento del motor a baja carga.
- **Viernes:** Ajustes y calibración del VFD para operación óptima.

Semana 5: Pruebas y Ajustes - Fase 1

- **Lunes:** Pruebas de funcionamiento a diferentes velocidades y cargas.
- **Martes:** Monitoreo de consumo energético y rendimiento del sistema.
- **Miércoles:** Ajustes en el VFD para optimizar la eficiencia energética.
- **Jueves:** Verificación de la presión constante y rendimiento del lavado.
- **Viernes:** Revisión de resultados de pruebas y ajustes finales.

Semana 6: Pruebas y Ajustes - Fase 2

- **Lunes:** Implementación de ajustes basados en resultados de pruebas.
- **Martes:** Pruebas de estrés del sistema bajo condiciones operativas normales.
- **Miércoles:** Verificación de la estabilidad y eficiencia del sistema.
- **Jueves:** Documentación de configuraciones y resultados de pruebas.
- **Viernes:** Revisión final y preparación para la operación continua.

Semana 7: Capacitación y Operación Inicial

- **Lunes:** Capacitación del personal en la operación y mantenimiento del nuevo sistema.

- **Martes:** Operación inicial del sistema bajo supervisión técnica.
- **Miércoles:** Monitoreo de la operación y ajuste de parámetros si es necesario.
- **Jueves:** Documentación de procedimientos operativos y de mantenimiento.
- **Viernes:** Revisión de la primera semana de operación y ajustes adicionales.

Semana 8: Operación Continua y Monitoreo

- **Lunes:** Inicio de la operación regular del sistema.
- **Martes:** Monitoreo diario del rendimiento y consumo energético.
- **Miércoles:** Inspección semanal de los componentes del sistema.
- **Jueves:** Reunión de seguimiento con el equipo técnico.
- **Viernes:** Documentación de resultados y preparación de un informe final.

CONCLUSION

El análisis del consumo energético y de agua de los motores tipo banda y tipo matrimonio revela una diferencia significativa en la eficiencia operativa, especialmente cuando se introduce un variador de frecuencia. El motor tipo matrimonio, con una presión de 3000 PSI, logra reducir el tiempo de lavado por contenedor a 3 minutos, comparado con los 5 minutos del motor tipo banda con una presión de 2000 PSI. Esto no solo reduce el tiempo total de operación diaria, sino que también disminuye el consumo energético diario a 11.25 kW/h en comparación con los 18.75 kW/h del motor tipo banda. En términos mensuales, esto se traduce en un ahorro de 225 kW/h, lo que representa una eficiencia energética considerable.

El ahorro de agua también es notable con el motor tipo matrimonio. Al reducir el tiempo de lavado por contenedor y mantener presión constante gracias al variador de frecuencia, el consumo de agua por día se reduce a 360 galones, frente a los 600 galones consumidos por el motor tipo banda. Mensualmente, esto significa un ahorro de 7200 galones de agua. Esta eficiencia en el uso del agua es crucial no solo desde una perspectiva ambiental sino también económica, especialmente en contextos donde el agua es un recurso limitado o costoso.

En resumen, la implementación de un motor de 3000 PSI con un variador de frecuencia no solo proporciona presión constante y optimizada para el lavado de contenedores, sino que también resulta en significativos ahorros de energía y agua. Este análisis demuestra que invertir en tecnologías más eficientes y adaptativas puede tener un impacto positivo en la operación diaria, reduciendo costos y mejorando la sostenibilidad. Estos resultados son especialmente relevantes para aplicaciones industriales donde la eficiencia y la reducción de costos operativos son primordiales.

RECOMENDACIONES

Para maximizar los beneficios obtenidos con el motor tipo matrimonio y el variador de frecuencia, se recomiendan las siguientes acciones:

1. **Implementación Consistente de Tecnología:** Es crucial que se implemente el variador de frecuencia en todas las operaciones de lavado de contenedores. Esto asegurará una presión constante y optimizada, reduciendo tanto el tiempo de operación como el consumo de energía y agua. La inversión inicial en tecnología avanzada se recuperará rápidamente a través de los ahorros mensuales significativos en recursos y costos operativos.

2. **Monitoreo y Mantenimiento Regular:** Para mantener la eficiencia operativa, se debe establecer un programa de monitoreo y mantenimiento regular de los equipos. Inspecciones periódicas y ajustes adecuados del variador de frecuencia garantizarán que el sistema opere a su máxima eficiencia, previniendo fallas y prolongando la vida útil del equipo. Además, la calibración precisa del sistema permitirá mantener presión constante y eficiente.

3. **Capacitación del Personal:** Capacitar al personal en el uso adecuado y mantenimiento del variador de frecuencia y los motores es fundamental. Esto incluye la formación en la detección de posibles problemas y la realización de ajustes menores que pueden prevenir el desgaste innecesario del equipo. Un equipo que ha sido bien capacitado no solo incrementa la eficiencia en la operaciones, sino que también promueve un entorno laboral seguro y productivo.

Implementar estas recomendaciones ayudará a consolidar los beneficios observados y a mejorar aún más la eficiencia y sostenibilidad de las operaciones de lavado de contenedores

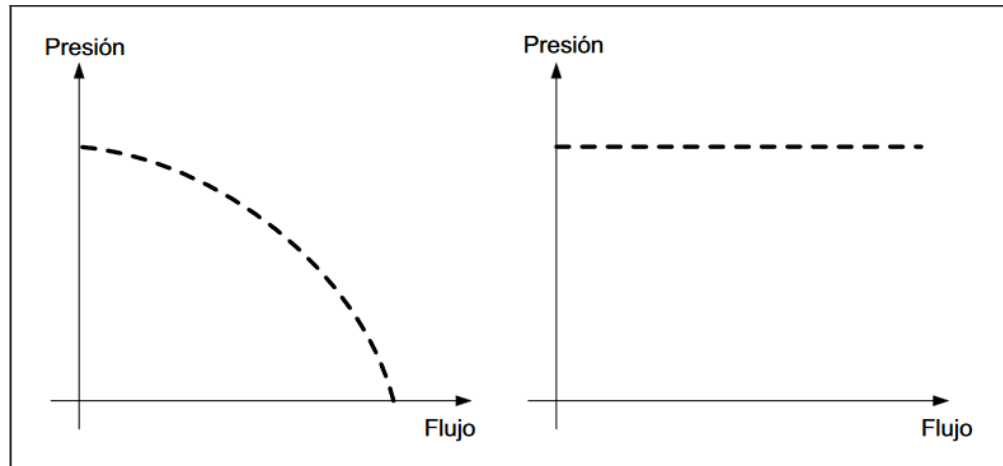
BIBLIOGRAFÍA

- Arévalo, Y. P. (6 de junio de 2015). *Pontificia Universidad Católica del Perú* . Obtenido de Diseño e implementación de un módulo demostrativo de control por variadores de velocidad para sistemas de presión constante multibombas:
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/6062>
- Barrionuevo Paredes, L., & Villamarín German, S. (Marzo de 2021). *Repositorio Digital UTC*. Obtenido de Repositorio Digital UTC:
<https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8127/1/PI-001761.pdf>
- Díaz , H., & Trujillo, G. (2019). *Universidad de Ciencias y Humanidades*. Obtenido de Sistema de control de flujo para presión constante de suministro de agua utilizando PLC en un edificio del Instituto de Ciencias y humanidades:
<https://repositorio.uch.edu.pe/handle/20.500.12872/407>
- Figuerola, F. F. (noviembre de 2012). *Universidad de San Carlos de Guatemala*. Obtenido de Guía general para el cálculo, instalación y mantenimiento de bombas hidroneumáticas:
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0720_M.pdf
- Institute, H. (2011). *Hydraulic Institute* . The institute.
- Lozano, A., Amezcua , J., & Farías, C. (junio de 2014). *Universidad Nacional Autónoma de México*. Obtenido de Selección y operación de bombas de agua y sistemas de bombeo:
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/5147>
- Marchegiani, A. (septiembre de 2004). *Universidad Nacional del Comahue*. Obtenido de Bombas centrífugas: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54214212/bombas-libre.pdf?1503455546=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DUNIVERSIDAD_NACIONAL_DEL_COMAHUE_BOMBAS.pdf&Expires=1723303781&Signature=d6Ew7KFGBktexZ4NIv6ORfLws2Oq4P0NGh-A9CUAS1QoUA3aIgsW4eR9

- Morillo, A. V. (septiembre de 2011). *Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de Diseño e implementación de un sistema de control de variadores de velocidad para obtener presión constante: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4102>
- Padilla, F. (abril de 2000). *Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de Sistema de bombeo de agua a presión constante mediante la aplicación de variadores de velocidad: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10552>
- PB. (2024). *Pumps Bombas*. Obtenido de Control del caudal por estrangulación: <https://pumpsbombas.com/curso/curso-seleccion-de-bombas-centrifugas/leccion/5-diseno-del-sistema-de-bombeo/capitulo/5-7-control-del-caudal-por-estrangulacion/>
- Pérez, M., & Sánchez, J. (2020). *Ingeniería mecánica y materiales*. Obtenido de Bombas operando como turbinas. Principios de funcionamiento y selección: https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/dc6a630f-27eb-4053-80cc-de398d6aeb1e/TOC_6533_01_01.pdf?guest=true
- Pesántez, A. (mayo de 2012). *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. Obtenido de Diseño y construcción de un módulo de laboratorio con variador de frecuencia para el control de un sistema de bombeo y determinación del ahorro energético: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1881>
- Saavedra, J. A. (2007). *Universidad de Magallanes*. Obtenido de Control de presión de agua mediante variador de frecuencia y motobomba: http://www.umag.cl/biblioteca/tesis/saavedra_vidal_2007.pdf
- Vargas, D. (marzo de 2009). *Tecnológico de Costa Rica*. Obtenido de Diseño e implementación de un sistema hidráulico de presión constante: <https://hdl.handle.net/2238/738>

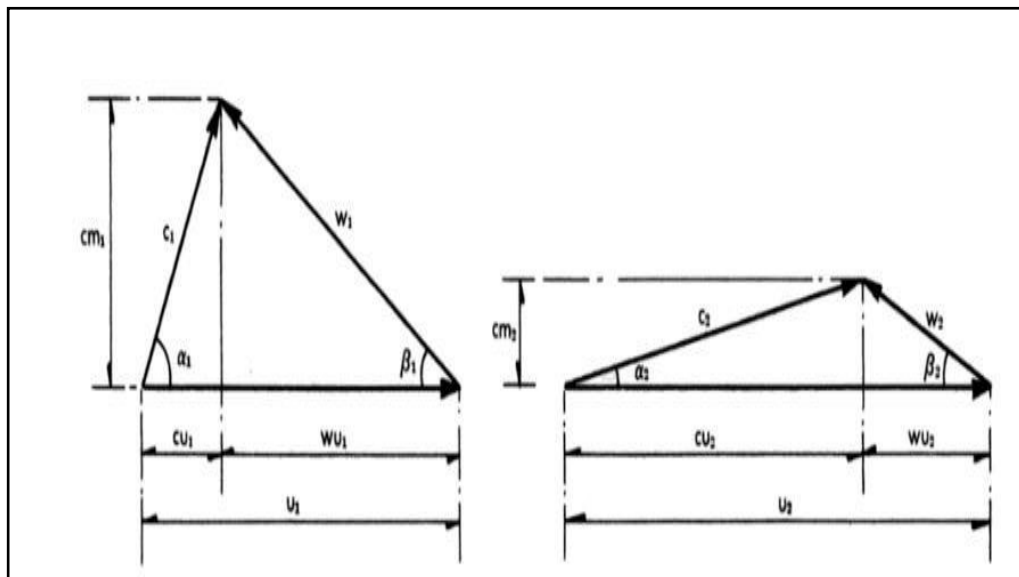
ANEXOS

Gráfico 12 Comparación de un sistema de presión normal y un sistema de presión constante.



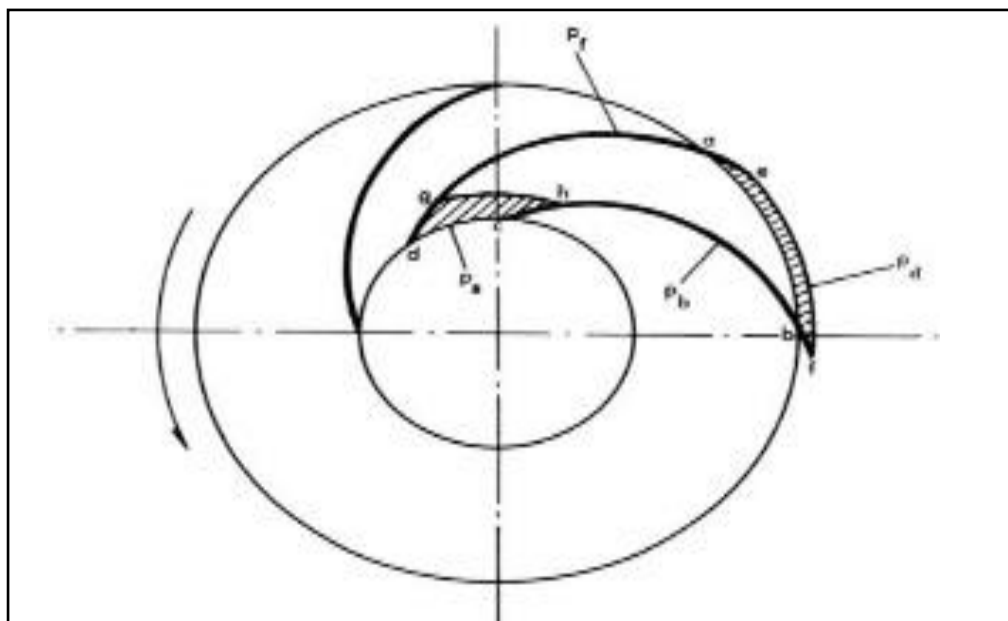
Fuente: (Hydraulic Institute, 2011)

Gráfico 13 Triángulos de velocidad.



Fuente: (Hydraulic Institute, 2011)

Gráfico 14 Fuerzas del impulsor.



Fuente: (Hydraulic Institute, 2011)

Imagen 16 Autor instalando bomba tipo matrimonio.



Fuente: SEAPORTS S.A.

Imagen 17 Mantenimiento de bomba tipo matrimonio.



Fuente: SEAPORTS S.A.

Imagen 18 Pistola de presión



Fuente: SEAPORTS S.A.

Imagen 19 Limpieza interna del contenedor



Fuente: SEAPORTS S.A.

Imagen 20 Bitácora de lavado de contenedores 1

LAVADO DE CTR INTERIOR								
# del contenedor	Lavador	Resp de Tech	Observ	Sello roto	Sello nuevo	Hr/Ingreso	Hr/Salida	
1	BEAU 972 183 3	Alonso	Alonso	OK	386821	389239	08:00	10:42
2	BEAU 428 182 5	"	"	OK	381812	389240	08:00	10:39
3	BEAU 983 334 8	"	"	OK	386523	389241	08:00	10:39
4	BEAU 320 060 0	"	"	OK	389389	389242	08:00	10:39
5	BEAU 800 868 7	"	"	OK	389385	389243	08:00	10:32
6	BEAU 320 050 0	"	"	OK	384831	389244	08:00	10:29
7	BEAU 310 630 1	"	"	OK	---	389245	08:00	10:21
8	BEAU 423 451 1	"	"	OK	386736	389246	08:00	10:25
9	BEAU 423 526 5	"	"	OK	---	389247	10:45	12:17
10	BEAU 430 020 9	"	"	OK	386467	389248	10:47	12:18
11	BEAU 425 743 4	"	"	OK	---	389249	10:50	12:18
12	BEAU 118 960 9	"	"	MSC	---	389250	10:52	12:13
13	BEAU 920 623 9	"	"	MSC	---	389251	10:54	12:08
14	BEAU 539 002 3	"	"	MSC	---	389252	10:57	12:06
15	BEAU 839 235 4	"	"	OK	386569	389253	10:59	12:03
16	BEAU 946 531 1	"	"	OK	386628	389254	11:02	12:00
17	BEAU 400 978 5	"	"	OK	---	389255	11:25	16:05
18	BEAU 802 424 9	"	"	OK	389397	389256	11:27	16:02
19	BEAU 330 010 0	"	"	OK	389396	389257	11:30	15:59
20	BEAU 800 198 5	"	"	OK	389395	389258	11:32	15:56
21	BEAU 311 074 0	"	"	OK	389394	389259	11:34	15:53
22	BEAU 215 254 1	"	"	OK	389393	389260	11:37	15:51
23	BEAU 428 023 0	"	"	OK	389392	389261	11:40	15:48
24	BEAU 430 043 9	"	"	OK	389391	389262	11:43	15:45
25	BEAU 213 443 6	"	"	OK	389390	389263	11:47	15:42
26	BEAU 320 093 0	"	"	OK	389389	389264	11:50	15:39
27	BEAU 333 333 3	"	"	OK	389388	389265	11:52	15:36
28	BEAU 210 361 3	"	"	OK	389401	389266	11:56	15:33
29	BEAU 210 103 4	"	"	OK	389400	389267	11:59	15:30
30	BEAU 426 103 2	"	"	OK	389391	389268	12:02	15:27
31	BEAU 800 223 5	"	"	OK	389404	389269	12:05	15:24
32	BEAU 430 088 2	"	"	OK	389406	389270	12:08	15:21
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								
41								
42								

Encargado Alonso Fecha 3-7-24 Turno 1

Fuente: SEAPORT S.A.

Imagen 21 Bitácora de lavado de contenedores 2

LAVADO DE CTR INTERIOR						
# del contenedor	Lavador	Insp de Techo	Observ	Sello roto	Sello nuevo#	Ingreso/Salida
1	MNU 2111073	Mesa	Viga		387100	387101 00:00 02:00
2	DFW 308022	"	"	HSC	387101	387102 00:00 02:00
3	ANOU 9877556	"	"		387102	387103 00:00 04:59
4	ANOU 9876392	"	"		387103	387104 00:00 04:59
5	FEW 9825660	"	"		387104	387105 00:00 04:56
6	ANOU 9821362	"	"		387105	387106 00:00 04:59
7	DFW 4291945	"	"		387106	387107 00:00 04:56
8	DFW 7231495	"	"		387107	387108 00:00 04:50
9	SEBU 9463561	Mesa	Mesa	SOL	387108	387109 00:00 03:49
10	FEW 9682617	"	"	SOL	387109	387110 00:00 03:49
11	DFW 6492462	"	"	SOL	387110	387111 00:00 03:49
12	DFW 7721114	"	"	Una Roca	387111	387112 00:00 03:47
13	FEW 9721145	"	"		387112	387113 00:00 03:46
14	DFW 4262056	"	"		387113	387114 00:00 03:39
15	FEW 4106630	"	"		387114	387115 00:00 03:36
16	DFW 3324730	"	"		387115	387116 00:00 03:35
17	SEBU 9837674	Viga	Viga		387116	387117 00:00 03:08
18	DFW 5474472	"	"		387117	387118 00:00 03:07
19	DFW 2600911	"	"		387118	387119 00:00 03:06
20	DFW 3331908	"	"		387119	387120 00:00 03:07
21	FEW 4420435	"	"	SOL	387120	387121 00:00 03:06
22	DFW 8150175	"	"		387121	387122 00:00 04:59
23	DFW 8002220	"	"		387122	387123 00:00 04:59
24	DFW 3110286	"	"		387123	387124 00:00 04:56
25	DFW 4271936	Mesa	Viga		387124	387125 00:00 06:03
26	ANOU 4100940	"	"	C.A	387125	387126 00:00 05:53
27	ANOU 4293359	"	"		387126	387127 00:00 05:40
28	DFW 5723200	"	"	C.A	387127	387128 00:00 05:28
29	DFW 2104710	"	"		387128	387129 00:00 05:05
30	DFW 8122903	"	"		387129	387130 00:00 04:53
31	DFW 7140588	"	"		387130	387131 00:00 04:50
32	DFW 3600190	"	"		387131	387132 00:00 04:42
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						

Encargado MOA Fecha 6/7/24 Turno # 2
 Mesa, Viga

Fuente: SEAPORT S.A.

Imagen 22 Bitácora de lavado de contenedores 3

LAVADO DE CTR INTERIOR						
# del contenedor	Lavador	Insp de Techo	Observ	Sello roto	Sello nuevo#	Ingreso/Salida
1	DFW 9131576	Mesa	Mesa		387132	387133 00:00 04:15
2	DFW 5430978	"	"		387133	387134 00:00 04:24
3	DFW 5430972	"	"		387134	387135 00:00 04:24
4	DFW 5420926	"	"		387135	387136 00:00 04:24
5	DFW 5420926	"	"	DANADO	387136	387137 00:00 04:33
6	DFW 5420926	"	"		387137	387138 00:00 04:34
7	DFW 9324520	"	"		387138	387139 00:00 04:33
8	DFW 3200259	"	"		387139	387140 00:00 04:34
9	DFW 4430220	Mesa	Mesa		387140	387141 00:00 03:05
10	DFW 5061047	"	"		387141	387142 00:00 03:04
11	DFW 3103518	"	"		387142	387143 00:00 03:04
12	DFW 6012074	"	"		387143	387144 00:00 03:11
13	DFW 6012074	"	"		387144	387145 00:00 03:14
14	DFW 3234128	"	"		387145	387146 00:00 04:03
15	DFW 4690913	"	"		387146	387147 00:00 04:04
16	DFW 2131325	"	"		387147	387148 00:00 04:06
17	DFW 4000488	"	"		387148	387149 00:00 04:13
18	DFW 9121319	"	"		387149	387150 00:00 04:13
19	DFW 3039099	"	"		387150	387151 00:00 04:08
20	DFW 5421029	"	"		387151	387152 00:00 04:04
21	DFW 5425603	"	"		387152	387153 00:00 03:35
22	DFW 5394565	"	"		387153	387154 00:00 03:34
23	DFW 4300716	"	"		387154	387155 00:00 03:27
24	DFW 8120747	"	"		387155	387156 00:00 03:24
25	DFW 5430670	"	"		387156	387157 00:00 03:28
26	DFW 9143024	"	"		387157	387158 00:00 03:28
27	DFW 4142949	"	"		387158	387159 00:00 03:34
28	DFW 3100546	"	"		387159	387160 00:00 04:05
29	DFW 4000823	"	"		387160	387161 00:00 04:04
30	DFW 4256396	"	"		387161	387162 00:00 04:04
31	SEBU 9837674	"	"		387162	387163 00:00 04:04
32	DFW 9322273	"	"		387163	387164 00:00 04:05
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						

Encargado MOA Fecha 7/7/24 Turno # 2
 Mesa - Mesa

Fuente: SEAPORT S.A.