

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

**CONFIGURACIÓN Y PRUEBAS DE VARIADORES DE FRECUENCIA Y
DISEÑO DE PANEL DE CONTROL EN CARRETAS ENROLLADORAS**

TECN-008

Proyecto Integrador

Previo a la obtención del Título de:

Tecnología superior en Mecatrónica

Autor (es):

Sharon Nicole Baque Rivera

Cindy Tatiana Asencio Chiquito

Guayaquil - Ecuador

2024

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a mis padres y hermanos por brindarme su apoyo y consejos siempre, a mi hija por ser mi fuente de alegría y mi mayor motivación para seguir adelante, a mi esposo y a mi suegra por su apoyo y espacio para que pudiera crecer profesionalmente. Gracias por creer en mí.

Tatiana Asencio Chiquito.

El presente proyecto se lo dedico a Dios, quien ha sido mi guía y me ha dado la fortaleza y sabiduría para superar cada desafío en este camino académico. A mi familia, en especial a mi hijo Matías, quien con su amor y alegría me impulsa a ser mejor cada día. A mis padres y hermanos por siempre confiar en mí y brindarme su apoyo a lo largo de la carrera.

A las empresas, que hicieron que este proyecto sea posible, brindándonos así la oportunidad de ser profesionales.

Sharon Baque Rivera

Agradecimientos

Queremos dar nuestros más sinceros agradecimientos a nuestras familias por darnos su apoyo y ser inspiración para seguir adelante y cumplir nuestras metas.

A nuestros tutores y compañeros técnicos de la empresa, quienes nos brindaron sus conocimientos, paciencia, dedicación y consejos a lo largo del desarrollo de este proyecto, a nuestros maestros de la universidad, quienes nos guiaron en cada materia con su compromiso; y a la empresa formadora que nos brindó esta gran oportunidad de superarnos, estimulando mi crecimiento profesional.

Al Msc. Celso Jiménez y Msc. Gabriel Martínez quienes guiaron el trabajo realizado y, gracias a sus consejos y conocimientos, este proyecto pudo llegar a un final exitoso.

Declaración Expresa

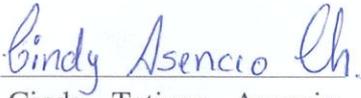
Nosotras, Sharon Nicole Baque Rivera y Cindy Tatiana Asencio Chiquito acordamos y reconocemos que:

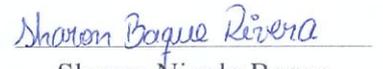
La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, miércoles 09 de octubre del 2024.


Cindy Tatiana Asencio
Chiquito


Sharon Nicole Baque
Rivera

Evaluadores

MSC. JIMÉNEZ CARRERA CELSO

DANIEL

Profesor de materia

MSC. MARTÍNEZ BARRE JOSÉ

GABRIEL

Tutor de proyecto

Resumen

El objetivo principal de este proyecto es mejorar la eficiencia y el rendimiento de las carretas enrolladoras de cables de acero en las grúas pórtico, que se presentan como una de las herramientas esenciales en el proceso de carga y descarga en la industria portuaria. Después de analizar todos los problemas que enfrentan las carretas, sugerimos la instalación de un variador de frecuencia (VFD) WEG CFW300, como solución tecnológica que ayudaría al control del motor y la maniobrabilidad de las carretas.

Se analizaron diferentes opciones, cada una con sus pros y contras, pero al final se optó por el CFW300 por su ahorro energético, calidad duradera y seguridad que aporta en entornos industriales. La configuración del variador de frecuencia se realizó siguiendo ciertas reglas, adaptándose a las necesidades de trabajo de las carretas. Este variador proporcionó un mejor control sobre la velocidad y la forma de girar de los motores, lo que se tradujo en una mayor flexibilidad en los movimientos y una reducción de los costes de funcionamiento y de energía.

Otro elemento básico del proyecto fue el diseño de un panel de control ergonómico y un pedestal robusto para el montaje de dicho panel, que garantizara la comodidad y seguridad del personal técnico que utilizaría el sistema. A partir de estas soluciones, se mejoró considerablemente la seguridad y productividad operacional, y se creó un modelo que podría replicarse en otras áreas del puerto. Esto demuestra que, con una adecuada integración de las tecnologías de control y el diseño de sistemas, se pueden optimizar los procesos industriales, mejorar la seguridad, reducir los costos y mejorar la eficiencia, además de ser muy cómodos para los operadores.

Palabras Claves: Variador de frecuencia, carretas enrolladoras, diseño ergonómico, productividad operacional.

Abstract

The main objective of this project is to improve the efficiency and performance of steel cable reel trolleys on gantry cranes, which are presented as one of the essential tools in the loading and unloading process in the port industry. After analyzing all the problems faced by the trolleys, we suggest the installation of a WEG CFW300 variable frequency drive (VFD) as a technological solution that would help control the motor and maneuverability of the trolleys.

Different options were analyzed, each with its pros and cons, but in the end, the CFW300 was chosen for its energy savings, durable quality, and safety in industrial environments. The configuration of the variable frequency drive was done following certain rules, adapting to the working needs of the trolleys. This drive provided better control over the speed and rotation of the motors, resulting in greater flexibility in movements and a reduction in operating and energy costs.

Another fundamental element of the project was the design of an ergonomic control panel and a robust pedestal for mounting the panel, ensuring the comfort and safety of the technical personnel who would use the system. These solutions significantly improved operational safety and productivity, and a model was created that could be replicated in other areas of the port. This demonstrates that with proper integration of control technologies and system design, industrial processes can be optimized, safety can be improved, costs can be reduced, and efficiency can be enhanced, all while being very comfortable for the operators.

Keywords: Variable frequency drive, reel trolleys, ergonomic design, operational productivity.

Índice general

Evaluadores	4
Resumen	I
Abstract	II
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	V
Simbología.....	VI
Índice de figuras.....	VII
Índice de tablas	VIII
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del Problema.....	4
1.3 Justificación del Problema	6
1.4 Objetivos.....	7
<i>1.4.1 Objetivo general.....</i>	<i>7</i>
<i>1.4.2 Objetivos específicos</i>	<i>7</i>
1.5 Marco teórico	8
<i>1.5.1 Introducción a los Variadores de Frecuencia (VDF)</i>	<i>8</i>
<i>1.5.2 Principios de funcionamiento</i>	<i>9</i>
<i>1.5.3 Componentes de un Variador de Frecuencia</i>	<i>11</i>
<i>1.5.4. Tipos de Variadores de Frecuencia</i>	<i>12</i>
<i>1.5.5. Aplicaciones Industriales</i>	<i>12</i>
<i>1.5.6. Ventajas del Uso de Variadores de Frecuencia</i>	<i>13</i>
<i>1.5.7. Desafíos en la Implementación.....</i>	<i>13</i>
Capítulo 2	15
2. Metodología	16
2.1 Alternativas de solución	16
2.2 Selección de la mejor alternativa	20

2.3	Diseño de panel de control y pedestal.....	21
2.4	El panel de control	21
2.5	Pedestal.....	22
3.	Resultados y análisis.....	24
3.1	Selección de Variador de Frecuencia.....	24
3.2	Instalación y Parametrización del Variador en el Tablero Eléctrico	25
3.3	Instalación Física	25
3.4	Ajustes Avanzados.....	26
3.5	Parámetros utilizados en los variadores de frecuencia según la necesidad de la operación.	28
3.6	Prueba y ajustes finales	29
3.7	Diseño de caja de panel de control con pedestal	30
Capítulo 4	34
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	35
4.1	Conclusiones.....	35
4.2	Recomendaciones	36
Referencias	37
Apéndice A - Planos.....	38

Abreviaturas

CA	Corriente Alterna
CC	Corriente continua
HMI	Human Machine Interface (interfaz hombre-máquina)
Hz	Hercio
Np	Número de polos
QC	Quay Cranes
RPM	Revoluciones por minuto
VDF	Variador de Frecuencia

Simbología

A	Amperios
Hz	Hertz
kW	Kilovatios
mm	Milímetros
s	Segundos
V	Voltios

Índice de figuras

Figura 1 <i>Carreta enrolladora en operaciones</i>	3
Figura 2 <i>Tambor de la carreta junto a su caja reductora y motor</i>	4
Figura 3 <i>Tablero de conexiones y los comandos de control</i>	5
Figura 4 <i>Ubicación del tablero eléctrico y pedal en la carreta</i>	6
Figura 5 <i>Funcionamiento de VDF</i>	11
Figura 6 <i>Ubicación de VDF en el tablero eléctrico de la carreta</i>	26
Figura 7 <i>Teclas de la HMI</i>	27
Figura 8 <i>Pruebas de funcionamiento de los VDF</i>	29
Figura 9 <i>Funcionamiento de carreta enrolladora de cable de acero</i>	29
Figura 10 <i>Diseño de la caja de panel de control</i>	30
Figura 11 <i>Diseño de pedestal en Inventor</i>	32
Figura 12 <i>Implementación de elementos como selectores, potenciómetros, botones de paro de emergencia y para freno</i>	33

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Consideraciones de alternativas 1</i>	17
Tabla 2	<i>Consideraciones de alternativa 2</i>	18
Tabla 3	<i>Consideraciones de alternativas 3</i>	19
Tabla 4	<i>Selección de alternativa</i>	20
Tabla 5	<i>Análisis de Selección</i>	24
Tabla 6	<i>Modo de operación en la HMI</i>	28
Tabla 7	<i>Parámetros utilizados</i>	28
Tabla 8	<i>Materiales de pedestal</i>	32

Capítulo 1

1.1 Introducción

Las empresas que están dentro del sector portuario son esenciales en el comercio global. Estas se encargan de la carga y descarga de contenedores en donde contienen las mercancías de distintas empresas, abriendo la posibilidad de movimiento entre países y continentes. Estas empresas se encargan de gestionar grandes volúmenes de carga, por lo que es importante la eficiencia en las operaciones. Sin embargo, estas empresas portuarias se enfrentan a grandes retos que pueden afectar la capacidad de operar de manera eficiente.

Dentro de la gestión de carga y descarga de contenedores desde el buque al muelle, las grúas de muelle desarrollan un papel importante; estas son conocidas como QC, por sus siglas en inglés (Quay Cranes). Son una pieza central del puerto, ya que estas grúas están diseñadas para cargar grandes cantidades de cargas de manera eficiente, logrando la fácil y rápida transferencia de contenedores desde el buque atracado a los vehículos de transporte en tierra.

Uno de los problemas que las empresas enfrentan dentro de la carga y descarga de la mercancía es que las grúas de muelle empiezan a tener deterioros en los cables debido a la cantidad de movimientos de izaje que estas realizan. Estos cables son fundamentales para manipular, de forma segura, los contenedores.

Existen varias maneras en las que se puede presentar el deterioro del cable de acero, esto puede ser en la rotura de hilos, desgaste por fricción o factores como las condiciones a las que están expuestas (salinidad en el aire o humedad). Además, estos tienen una vida útil que también depende del número de veces de uso.

Cada uno de estos factores hace que los cables sean más sensibles al fallo, poniendo en riesgo la seguridad de los trabajadores de la empresa.

Para solucionar el problema se realiza el proceso de cambio de cable. Este paso es crucial, ya que se debe realizar con eficiencia, sin retrasos y de manera segura, evitando paradas innecesarias. Se realiza a través de un plan adecuado con el uso de equipos especializados. El uso

de las carretas enrolladoras es crucial en este proceso, ya que están diseñadas para el correcto almacenamiento del cable, haciendo que el cambio sea de manera precisa y sin complicaciones; también evita el daño de los cables o incluso a que se lleguen a enredar lo que podría generar retrasos en el proceso.

Figura 1

Carreta enrolladora en operaciones



Al realizar este proyecto en las carretas enrolladoras de cables de acero se busca la optimización en el funcionamiento de las carretas que ya tienen implementado, mejorando su rendimiento a través de un variador de frecuencia (VDF). Al incorporar este elemento se puede tener un control más preciso de la velocidad de los motores de la carreta: uno está destinado para el enrollado y otro para desenrollar el cable de acero. De esta forma se mejora la operatividad del equipo, haciendo que sea fácil de maniobrar, eficiente y seguro.

Las acciones de mejora contemplan detalles de la configuración y parametrización de los VDF, la cual es una etapa crucial para garantizar un control eficaz de los motores. Además, incluye pruebas de funcionamiento para asegurar que todos los componentes funcionen de acuerdo con las especificaciones.

1.2 Descripción del Problema

En esta industria portuaria, los equipos y maquinarias desempeñan un gran papel en las operaciones que se realizan dentro, en este caso la carreta de enrolladora de cables de acero es fundamental para una correcta gestión de los cables de acero asegurando eficiencia y por supuesto, también es importante para la seguridad del personal técnico que realiza maniobras complejas. Uno de los ejemplos es el cambio de cables de acero en las grúas QC. A pesar de eso, siempre es posible mejorar su sistema de desempeño.

Las carretas son equipos que utilizan una variedad de componentes eléctricos y mecánicos, está compuesta por dos motores eléctricos, uno para cada tambor, estos están conectados a una caja reductora el cual transmite el movimiento a los tambores.

Figura 2

Tambor de la carreta junto a su caja reductora y motor



Actualmente, en la empresa formadora de la tecnología en Mecatrónica, existen dos carretas enrolladoras de cable de acero: estas son la OTH 27 y la OTH 28. Estas carretas cumplen con su función, pero presentan inconvenientes a la hora de ejecutar el proceso del cambio de cable. Los motores con los que trabaja o se alimenta a la carreta solo tienen un sentido de giro y poseen una sola velocidad que da apertura mediante un pedal de control. Esto hace que se limite la rapidez y que sea aún más complejo realizar el cambio de cable, además de generar un temple en el cable,

lo que estaría provocando daños prematuros a los cables de acero, reduciendo la vida útil del mismo.

Estas carretas contienen un tablero eléctrico en donde se encuentra también el mando de control, estos son selectores para controlar el freno, cambio de giro, pulsadores vacantes y un paro de emergencia. Estos tableros están ubicados en lugares que presentan riesgos en la seguridad del personal técnico en el momento de realizar la maniobra.

Figura 3

Tablero de conexiones y los comandos de control



1.3 Justificación del Problema

El sistema que actualmente presentan estas carretas tiene limitaciones significativas (tiene un solo sentido de giro y una sola velocidad) al momento de enrollar el cable y al no tener un control preciso de la velocidad genera una mayor tensión y desorganización del cable, además de presentar un riesgo por la ubicación del mando de control del equipo. La manera en la que funciona actualmente la carreta provoca interrupciones en medio del proceso y pudiendo causar un daño prematuro del cable. Además, representa un riesgo para la seguridad del personal técnico aumentando la complejidad de la maniobra.

El implementar mejoras en el sistema de las carretas facilitará su uso al personal técnico, agilizando la maniobra de cambios de cable y volverá los procedimientos más seguros.

Figura 4

Ubicación del tablero eléctrico y pedal en la carreta.



1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Optimizar el funcionamiento de las carretas enrolladoras de cables de acero mediante la incorporación de un variador de frecuencia (VDF), con mejor rendimiento, control y seguridad, con el fin de que las operaciones sean más simples en cambio de cables en las grúas de muelle.

1.4.2 Objetivos específicos

- Configurar los variadores de frecuencia (VFD) para un control preciso de la velocidad y sentido de giro de los motores.
- Realizar pruebas de funcionamiento para un correcto funcionamiento de las carretas de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas.
- Asegurar que las mejoras implementadas cumplan con las normativas de seguridad en las operaciones industriales del sector portuario.
- Diseñar un panel de control y pedestal ergonómicos para el fácil uso de la carreta.

1.5 Marco Teórico

Los motores eléctricos son fundamentales en las empresas y en nuestras vidas ya que controlan básicamente todo lo que necesitamos para el trabajo o actividades de ocio. Estos motores funcionan con la electricidad y para realizar su trabajo necesitan de una determinada energía eléctrica así proporcionan par y velocidad. La exigencia de un proceso y la velocidad del motor deben coincidir y usar una sola la energía necesaria. (outrun, 1995 - 2025).

Un motor eléctrico es una máquina que se encarga de convertir la energía eléctrica a energía mecánica, a través de fuerzas electromagnéticas que hacen posible girar una parte del motor.

Existen dos grandes grupos en los que se clasifican los motores:

- Motores (CC) Corriente continua.
- Motores (CA) Corriente alterna.

(industriales., s.f.)

En la actualidad los VDF han predominado en las industrias debido a su capacidad de adaptación y su amplia gama de usos, además de sus costos razonables. Podemos aplicar VDF en aquellas maniobras o procesos en donde se requiera ajustar o regular el flujo a diferentes cargas.

“Si las necesidades de la aplicación son de variar velocidad y controlar el par, las opciones son utilizar alguna solución mecánica, un motor especial (de corriente continua, servo, etc.), o un motor asíncrono jaula de ardilla con variador de frecuencia.” (Erazo, 2012)

1.5.1 Introducción a los Variadores de Frecuencia (VDF)

Un variador de frecuencia es un dispositivo electrónico destinado para controlar la velocidad, el par motor, y si es necesario, la rotación de motores eléctricos de corriente alterna (CA).

Su principal función es ajustar la frecuencia de paso de alimentación del motor, proporcionando una gestión precisa de movimientos mecánicos en procesos industriales. Son

esenciales para reducir costos operativos, mejorar la productividad en sistemas automatizados y aumentar la eficiencia energética.

Actualmente, los variadores de frecuencia se han vuelto un instrumento fundamental en los sistemas de automatización industrial, ya que permiten optimizar y adaptar procesos en base a la producción.

1.5.2 Principios de funcionamiento

El variador de frecuencia permite que la velocidad total se modifique desde 0 Rpm a la velocidad nominal del motor. Facilitando la falta de sobreintensidades debido a transitorios.

Las partes principales de los VDF son las siguientes:

Circuito rectificador: Recibe la energía alterna y la transforma en continua mediante un puente rectificador de diodos. Es decir que, mediante un rectificador, este puede ser un tipo de diodo o controlado por tiristores, transforma la corriente alterna en corriente continua pulsante, que luego se filtra para suavizar la señal y eliminar los picos de tensión.

Filtrado de corriente continua (CC): El filtrado se realiza después de la rectificación. Los condensadores se utilizan para suavizar la señal eliminando la ondulación y proporcionando una corriente continua más estable, este paso es importante para un buen funcionamiento del inversor.

Es decir, su función consiste en aliviar el impacto, reducir la tensión rectificada y minimizar la liberación de armónicos hasta la red.

Inversión: Un inversor convierte la corriente continua filtrada en corriente alterna. Los variadores actuales tienen IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor) para obtener pulsos de voltaje controlada, es decir sintetiza una señal de CA con la frecuencia y el voltaje deseado, al variar la frecuencia del motor. La relación entre la frecuencia y la velocidad del motor se da mediante la fórmula que indica en la ecuación 1

$$RPM = \frac{120 \times Hz}{Np}$$

Siendo:

RPM: Revoluciones Por Minuto

Hz: Hertz

Np: Número de Polos

Circuito de control: Prende y apaga los IGBT para realizar pulsos de tensión y frecuencias variables. Efectúa funciones de supervisión monitoreando corriente, voltaje, temperatura, etc., con interfaces de fácil empleo.

Los moduladores de frecuencia más utilizados son los PWM (Regulación del Ancho de los Pulsos), que utilizan en el circuito de entrada un conjunto de rectificadores de diodos.

El circuito tiene condensadores y bobinas para reducir el rizado del voltaje rectificado.

Asimismo, las bobinas contribuyen a reducir el contenido armónico de la corriente producida por el motor.

El VDF permite modificar la velocidad del motor ajustando tanto la frecuencia como el voltaje de salida. Para lograrlo, emplea un conjunto de procesos electrónicos que involucran tres etapas principales:

Rectificación de la corriente alterna: En esta etapa, la corriente alterna suministrada por la red eléctrica es convertida en corriente continua mediante un rectificador. Este proceso elimina las fluctuaciones propias de la corriente alterna.

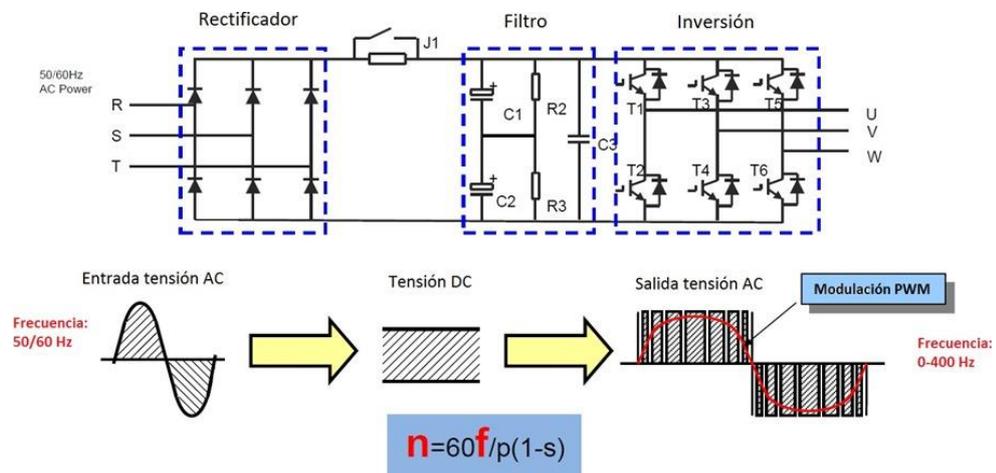
Modulación por ancho de pulso (PWM): En el enlace de corriente continua, el VDF utiliza una técnica conocida como PWM para generar una señal alterna simulada. Esta señal controla con precisión la frecuencia y la amplitud del voltaje, permitiendo un ajuste fino de la velocidad y el par del motor.

Conversión inversora: Finalmente, la corriente continua modulada es transformada nuevamente en corriente alterna, pero ahora ajustada en frecuencia y voltaje según las necesidades del sistema. Esto se realiza mediante un inversor compuesto por transistores de potencia.

Además, los VDF incorporan algoritmos avanzados de control que monitorean y ajustan continuamente las condiciones del motor, optimizando el rendimiento y minimizando las pérdidas energéticas.

Figura 5

Funcionamiento de VDF



Nota. Tomado del Manual de Variador de Frecuencia (Global, 2022)

1.5.3 Componentes de un Variador de Frecuencia

Los principales componentes de un VDF son:

- **Rectificador:** Convierte la corriente alterna (CA) en corriente continua (CC) mediante un conjunto de diodos o transistores controlados.
- **Filtro de enlace de CC:** Almacena energía y estabiliza la tensión de corriente continua eliminando fluctuaciones.
- **Inversor:** Convierte la corriente continua nuevamente en corriente alterna ajustando la frecuencia y el voltaje según los parámetros deseados.

- Controlador: Unidad electrónica o microprocesador que gestiona las operaciones del variador, ajustando la velocidad, el par y otras variables del motor.

Cada uno de estos componentes desempeña un papel crucial en el funcionamiento eficiente del variador, asegurando que las salidas sean precisas y adaptadas a los requerimientos del sistema.

1.5.4. Tipos de Variadores de Frecuencia

Existen diferentes tipos de VDF dependiendo de sus aplicaciones y principios de control:

1. VDF de voltaje-frecuencia constante (V/F): Utilizan una relación fija entre el voltaje y la frecuencia para mantener el rendimiento del motor en aplicaciones de velocidad variable.
2. VDF vectoriales: Proporcionan un control más preciso del par y la velocidad, lo que los hace adecuados para aplicaciones que requieren alto rendimiento dinámico.
3. VDF de control directo de par (DTC): Ofrecen un control rápido y preciso del par motor sin necesidad de sensores adicionales.

Estos tipos de VDF se seleccionan según los requerimientos específicos de la aplicación, ya sea en términos de precisión, dinámica o economía.

1.5.5. Aplicaciones Industriales

Los VDF son ampliamente utilizados en sectores como:

1. Manufactura: Control de bandas transportadoras, prensas y máquinas herramientas. La capacidad de regular la velocidad y el par de los motores en estos sistemas permite una producción más eficiente y flexible.
2. HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado): Regulación de ventiladores y bombas para optimizar el consumo energético, adaptándose a la demanda real del sistema.

3. Procesos industriales: Control de mezcladores, compresores y grúas, donde se requiere un ajuste preciso de la velocidad para evitar fallos mecánicos y mejorar la calidad del producto final.
4. Energía renovable: Ajuste de la velocidad en turbinas eólicas y sistemas de bombeo solar, mejorando la captación y distribución de energía.

La versatilidad de los VDF permite su implementación en una amplia gama de aplicaciones, aumentando la eficiencia y reduciendo costos.

1.5.6. Ventajas del Uso de Variadores de Frecuencia

- **Eficiencia energética:** Reducción significativa del consumo eléctrico al operar los motores a la velocidad necesaria.
- **Longevidad del equipo:** Reducción del desgaste mecánico gracias a un arranque suave.
- **Flexibilidad:** Adaptación fácil a diferentes requisitos de proceso.
- **Reducción de costos:** Disminución de costos operativos y de mantenimiento.
- **Control preciso:** Mejora en la calidad de los procesos gracias a un control ajustado de la velocidad y el par motor.

Estas ventajas hacen que los VDF sean indispensables en el entorno industrial moderno, donde la optimización de los recursos y la sostenibilidad son prioridades clave.

1.5.7. Desafíos en la Implementación

A pesar de sus beneficios, la implementación de los VDF también presenta ciertos desafíos:

- **Requerimientos técnicos:** La instalación y parametrización adecuadas requieren conocimientos especializados para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema.
- **Compatibilidad:** Es fundamental garantizar que el VDF sea compatible con el sistema eléctrico y mecánico existente, evitando problemas de integración.

- **Impactos armónicos:** Los VDF pueden generar distorsiones armónicas en la red eléctrica, lo que podría requerir la incorporación de filtros adicionales para mitigar estos efectos.

A pesar de estos desafíos, la inversión en VDF suele ser altamente rentable debido a sus beneficios a largo plazo. (Mohan, 2021) ((NEMA)., 2020)

Capítulo 2

2. Metodología

La metodología que se empleó en este proyecto se basó en un enfoque detallado y estructurado que permitió abordar de manera integral las necesidades técnicas y operativas.

Un análisis de los requerimientos técnicos permitió conocer las condiciones y desafíos que enfrentan las carretas enrolladoras de cable en grúas de pórtico. Se identificó las áreas claves en donde se podría intervenir y mejorar la eficiencia y rendimiento de las carretas.

2.1 Alternativas de solución

Se abordaron alternativas para abordar los problemas de configuración y control de las carretas. Se evaluaron los diferentes enfoques tecnológicos y arquitecturas de control. Cada una de las alternativas fue analizada con detalle, teniendo en cuenta la viabilidad, los beneficios y los costos que podrían aportar a la mejora del sistema.

Tabla 1*Consideraciones de alternativas 1*

Alternativa # 1. _ Implementar un motor especial con dos conexiones y dos velocidades fijas pero diferentes	
Pros	Contras
Simplicidad en el motor: Al tener dos velocidades fijas, el control del motor es sencillo.	Flexibilidad limitada: Si la aplicación requiere cambios de velocidad de forma dinámica, esta configuración no será adecuada.
Eficiencia energética: Se puede optimizar el rendimiento del motor en cada una de las configuraciones.	No adecuado para aplicaciones variables. Un motor con solo dos velocidades fijas no ofrece la versatilidad necesaria.
Durabilidad: Con un motor de velocidad fija, el desgaste puede ser más predecible y controlado.	Mayor tamaño y peso en algunos casos: El uso de mecanismos adicionales para cambiar entre las dos velocidades fijas puede agregar tamaño y peso al motor, dependiendo del diseño.
Mayor seguridad operativa: Es menos propenso a fallos inesperados debido a un control simple y estable.	Si las dos velocidades fijas no coinciden con las necesidades exactas de la aplicación en diferentes momentos, podría haber una pérdida de eficiencia debido a la imposibilidad de operar en una velocidad intermedia más adecuada.

Tabla 2*Consideraciones de alternativa 2*

Alternativa # 2. _ Arranque directo con el mismo motor	
Pros	Contras
Simplicidad: Es el método más simple para poner en marcha un motor, ya que no requiere de equipos adicionales complejos ni dispositivos electrónicos para controlar el arranque.	Alta corriente de arranque: al ser arranque directo la corriente de arranque puede ser entre 6 y 8 veces la corriente nominal del motor.
Bajo costo: En comparación con otros métodos, como el arranque estrella-delta, o con variadores de frecuencia.	Desgaste del motor y equipo: La corriente excesiva puede generar un mayor estrés mecánico y eléctrico.
Confiabilidad: Al no involucrar componentes adicionales, el sistema tiene menos partes susceptibles a fallos.	Impacto en la red eléctrica: puede afectar a la estabilidad de la red eléctrica, especialmente en instalaciones donde varios motores arrancan simultáneamente.
Requerimientos de espacio reducido: No se necesita un espacio adicional o sistemas de arranques más complejos.	No adecuado para motores grandes: En motores de gran potencia, el arranque directo puede ser inapropiado debido a la magnitud de la corriente de arranque.

Tabla 3*Consideraciones de alternativas 3*

Alternativa # 3. _ Variador de frecuencia	
Pros	Contras
Ahorro de energía: Permite ajustar la velocidad del motor según las necesidades.	Costo inicial elevado: Los costos pueden ser muy elevados al adquirir un variador.
Reduce costos operativos: Optimiza energía y rendimiento, disminuyendo costos de operación y mantenimiento.	Complejidad en la configuración: Se requieren conocimientos técnicos para su configuración, instalación y mantenimiento.
Control suave de arranque y parada: Previene picos de corriente aumentando la vida útil de componentes.	Interferencias electromagnéticas: Puede generar armónicos y ruidos eléctricos que afecten a otros equipos si no se tratan con filtros adecuados.
Mejora el control de velocidad: Ofrece un control más preciso de la velocidad.	Compatibilidad: No todos los motores son compatibles con cierto VDF.

2.2 Selección de la mejor alternativa

Se recurrió a una matriz para tomar decisión sobre las alternativas.

Tabla 4

Selección de alternativa

	Ponderación (%)	Alternativa # 1	Alternativa # 2	Alternativa # 3
Simplicidad	5	4	5	2
Eficiencia	10	7	5	9
Durabilidad	10	8	6	7
Seguridad operativa	40	6	5	9
Costo	25	8	9	4
Espacio	10	7	8	6
Total (100%)	100	6,4	6,4	6,9

Se seleccionó un VDF CFW300 de la marca WEG para la aplicación en cuestión, basándose en el análisis de los resultados obtenidos en la tabla 4. La elección de este variador se fundamentó principalmente en sus relaciones en eficiencia y seguridad operativa y versatilidad. Las especificaciones positivas del CFW300, se destacan en su capacidad para controlar motores de inducción de baja y media potencia, su fácil integración en sistemas de automatización debido a su comunicación con protocolos como Modbus RTU, su alta fiabilidad y durabilidad en condiciones exigentes de operación, y su amplia gama de configuraciones para adaptarse a diversas necesidades de control de velocidad y torque. Además, el CFW 300 tiene un diseño compacto y es energéticamente eficiente, lo que contribuye a una reducción significativa en el consumo de energía y extiende la vida útil del equipo.

Este tipo de variador es muy común en aplicaciones industriales, comerciales y de automatización, tiene un control preciso de la velocidad lo que permite ajustar de manera precisa la velocidad del motor, lo que es útil en aplicaciones que requieren un control de proceso específico.

El CFW300 ofrece un arranque suave y una parada controlada, lo que reduce el impacto mecánico y eléctrico, minimizando los picos de corriente durante el arranque y evitando el desgaste prematuro de los equipos.

A diferencia del arranque directo, el variador de frecuencia limita la corriente de arranque, lo que protege tanto el motor como la red eléctrica de picos de corriente elevados.

El CFW300 tiene varias funciones de protección integradas, como sobrecarga del motor, sobrecalentamiento, protección contra fallos de fase, bajo voltaje, entre otras. Estas funciones mejoran la seguridad y confiabilidad del sistema.

Tiene una interfaz de usuario amigable, con pantalla LCD para facilitar la programación y ajuste de parámetros. También es compatible con software de programación para su integración y monitoreo remoto.

Compensación del factor de potencia: ayuda a mejorar el factor de potencia en aplicaciones donde el motor trabaja a carga parcial, lo que puede resultar en una reducción de costos operativos.

Compatibilidad con motores estándar: Puede ser utilizado con motores de inducción estándar de baja y media potencia sin necesidad de modificaciones importantes en el motor.

2.3 Diseño de panel de control y pedestal

El panel de control y su pedestal fueron diseñados para proporcionar una solución funcional y ergonómica, integrándose en carretas, de esta manera, el personal técnico puede controlar de manera eficiente el funcionamiento de los motores y sistemas de freno. El panel incluye selectores de cambio de giro para cada uno de los dos motores, botón de paro de emergencia, potenciómetros para el ajuste de velocidad y botones para el control de freno.

2.4 El panel de control

Se diseñó utilizando el software AutoCAD, asegurando una presentación precisa de sus dimensiones y los siguientes componentes:

Selectores de cambio de giro: Se instalaron selectores para el cambio del sentido de giro de los motores de la carreta, estos selectores estarán ubicado en una posición accesible, siendo claramente identificables por el personal técnico para evitar confusión en la operación.

- Botón de paro de emergencia: Se incorporó un botón de paro, ubicado en una zona visible y fácil de accionar en caso de situaciones imprevistas.
- Potenciómetros: Se agregó potenciómetros para el ajuste de velocidad de los motores ofreciendo un control preciso según la necesidad de la maniobra.
- Botones para el freno: Se incluirán botones específicamente para activar el sistema de freno de las carretas, permitiendo al operador detener el movimiento.

La disposición de estos componentes se optimizará para garantizar una operación intuitiva, con etiquetas claras que indiquen la función de cada control.

2.5 Pedestal

Este es esencial para mantener el panel de control en una ubicación estable y accesible. Se diseñó para soportar el panel de control garantizando que pueda ser lo suficientemente robusto para soportar el peso del panel y resistir el entorno industrial en el que se utilizará. La altura y el ángulo del pedestal se ajustaron para que el operador acceda fácilmente a todos los controles sin esfuerzo. Además, se prestó atención a la estabilidad para evitar cualquier riesgo de caída o desajuste durante la operación.

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

3.1 Selección de Variador de Frecuencia

El WEG CFW 300 fue seleccionado debido a su eficiencia, versatilidad y compatibilidad con los requisitos del sistema de carreta enrolladora.

Tabla 5

Análisis de Selección

Sus principales ventajas incluyen	
Control avanzado	Los modos de operación escalar y vectorial proporcionan control de velocidad y par de alta precisión.
Rango de potencia utilizable	Cubre requisitos de motor de 0.25 a 7.5 HP, perfectamente adaptado a los requisitos del motor.
Durabilidad y seguridad	Incluye protección contra sobrecargas, sobrecalentamiento y fluctuaciones de voltaje, que son fundamentalmente en entornos operativos hostiles.

La implementación del variador de frecuencia CFW 300 en la carreta enrolladora de cable de acero resultó en:

- Mayor durabilidad de los componentes mecánicos.
- Reducción significativa en los costos operativos y energéticos.
- Incremento de la seguridad y la productividad en las operaciones de mantenimiento correctivos.
- Esta solución representa un modelo exitoso y replicable para otras áreas del puerto, promoviendo la eficiencia y sostenibilidad operativa.

3.2 Instalación y Parametrización del Variador en el Tablero Eléctrico

La instalación y parametrización del variador CFW 300 se realizó siguiendo las directrices del fabricante y adaptándose a los requerimientos específicos de la carreta enrolladora. Los pasos principales fueron:

3.3 Instalación Física

Montaje del variador dentro del tablero eléctrico utilizando rieles DIN para asegurar un soporte estable.

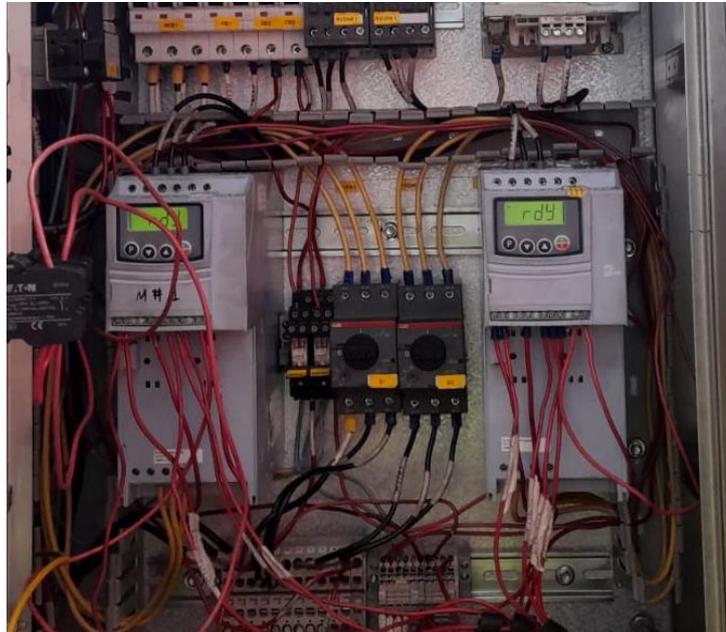
Conexión del variador a la red eléctrica trifásica (380 V) y al motor de la carreta.

Cableado de los dispositivos de protección (fusibles y disyuntores) y guardamotores.

Ubicación de VDF en el tablero eléctrico de la carreta.

Figura 6

Ubicación de VDF en el tablero eléctrico de la carreta



3.4 Ajustes Avanzados

Activación de las funciones de protección contra sobrecarga y sobrecalentamiento.

Programación de una frecuencia fija para operaciones específicas, como el enrollado continuo a baja velocidad.

Pasos iniciales para la configuración básica del variador CFW300:

1. Conexión eléctrica

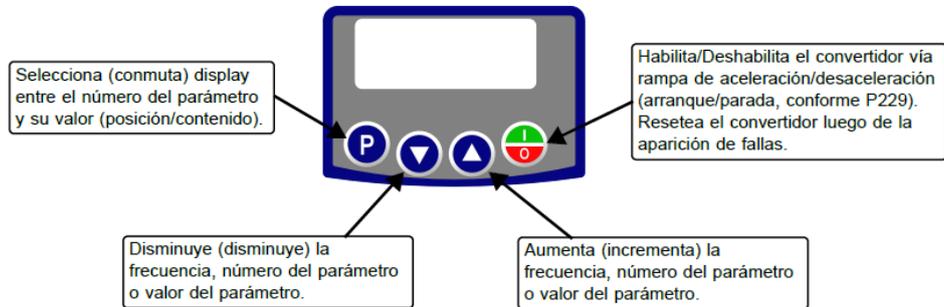
Se conectó la alimentación trifásica a las terminales de entrada (R/L1, S/L2, T/L3) del variador, verificando que coincidan con el voltaje especificado en el manual.

Se conectó el motor a las salidas del variador (U, V, W) siguiendo el esquema de conexión. Verificando que los cables estén firmemente ajustados.

2. Encendido y acceso al panel

Se encendió el variador y se esperó a que el panel muestre el estado inicial (generalmente “OFF” o un estado de espera,

Se usaron los botones del panel frontal para navegar en el menú de configuración.

Figura 7*Teclas de la HMI*

Nota. Figura tomada de manual de variadores de frecuencia CFW300

Tabla 6*Modo de operación en la HMI*

Tras la energización con éxito, presionar la tecla para seleccionar los parámetros.	
El número del parámetro será mostrado en la pantalla; para buscar el parámetro deseado se puede hacer presionando las teclas   y una vez ubicado, acceder a darle valor al parámetro con la tecla  .	
Después de ingresar al parámetro deseado se procede a darle un nuevo valor, usar las teclas   , y una vez seleccionado el valor presionar la tecla  para seleccionarlo.	

(Menezes, 2021)

3.5 Parámetros utilizados en los variadores de frecuencia según la necesidad de la operación.

Tabla 7*Parámetros utilizados*

Parámetro.	Función	Rango de Valores	Ajuste de parám.	Prop.
P231	Función Señal AI1	0 = Ref. Veloc	0	cfg
P235	Filtro Entrada AI1	0 -10	0,00s	
P263	Función Entrada DI1	1 = Gira/Para	1	cfg
P264	Función Entrada DI2	8 sentido Giro	8	cfg
P275	Función de la salida DO1	11 = Run		
Ajustes de parámetros avanzados				
P400	Tensión Nominal Motor	460 V		
P401	Corriente Nom. Motor	9.75 A		
P402	Rotación Nom. Motor	1.750 rpm		
P403	Frecuencia Nom. Motor	60 Hz		
P404	Potencia Nom. Motor	11 = 5,50 (4,00kW)	HP	Conforme el modelo del convertidor
				Cfg, VVW

3.6 Prueba y ajustes finales

Se realizaron pruebas al vacío para cada motor, verificando el comportamiento de los variadores al cambiar la velocidad y el sentido de giro.

Figura 8

Pruebas de funcionamiento de los VDF



Figura 9

Funcionamiento de carreta enrolladora de cable de acero



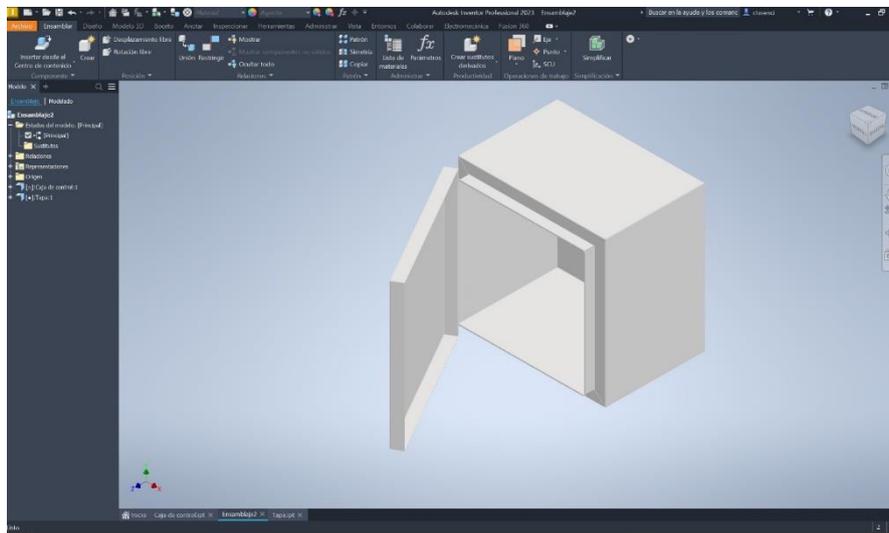
3.7 Diseño de caja de panel de control con pedestal

El proceso de diseño se llevó a cabo en las siguientes etapas:

Diseño de panel de control: Se comenzó con el diseño 2D del panel, ubicando los selectores, botones, potenciómetros y demás componentes. Después, se creó un modelo 3D del panel para evaluar su ergonomía y funcionalidad. Se verificaron las dimensiones de los controles y se aseguró que el espacio entre ellos sea suficiente para un manejo cómodo.

Figura 10

Diseño de la caja de panel de control



1. Diseño del pedestal: Simultáneamente, se diseñó el pedestal en Inventor, con énfasis en su estabilidad y la adecuada ubicación del panel de control. Se tomó en cuenta las características de espesor.
2. Simulación y revisión: Se realizó una simulación en Inventor para comprobar la correcta integración de todos los componentes, tanto del panel como del pedestal, verificando la alineación y funcionalidad. Se ajustaron los diseños para cumplir con los requisitos de espacio, accesibilidad y seguridad.

Se analizó el diseño y se centró en varios aspectos claves como la funcionalidad, ergonomía y viabilidad de fabricación.

Funcionabilidad: El modelo que se diseñó en el Inventor mostró que la disposición de los componentes cumplía con las necesidades operativas de las carretas. La ubicación de los componentes fue optimizada para garantizar un control rápido y eficiente durante la operación, minimizando el tiempo de respuesta en situaciones críticas.

Seguridad: Al integrar un botón de paro de emergencia y un pedal de seguridad del sistema es clave para mejoras de la seguridad de las carretas, asegurando que el operador pueda detener los motores de manera rápida en caso de emergencia. Cabe aclarar que el pedal ya estaba implementado en la carreta, en este proyecto implemento el pedal en el pedestal junto con la caja del panel de control.

Ergonomía: Se tuvo en cuenta la facilidad del acceso y uso de los controles, ubicando los botones y selectores para permitir una operación intuitiva, buscando evitar la fatiga al personal técnico durante largos turnos de trabajo.

Viabilidad de fabricación: Tras realizar los ajustes finales del diseño, se verificó que los componentes seleccionados se ajustaran a las dimensiones y capacidades de los motores utilizados en las carretas, mostrando que el diseño es factible de fabricar utilizando materiales comunes y accesibles, tanto como en costos.

El pedestal fue diseñado con los siguientes materiales:

Tabla 8*Materiales de pedestal*

Cantidad	Material	Medida
2	Tubos redondos	3/4*1/8*120mm
1	Plancha de acero negro (Soporte de caja)	30*30*2mm
1	Plancha de acero negro (Plancha rectangular)	25*40*2mm

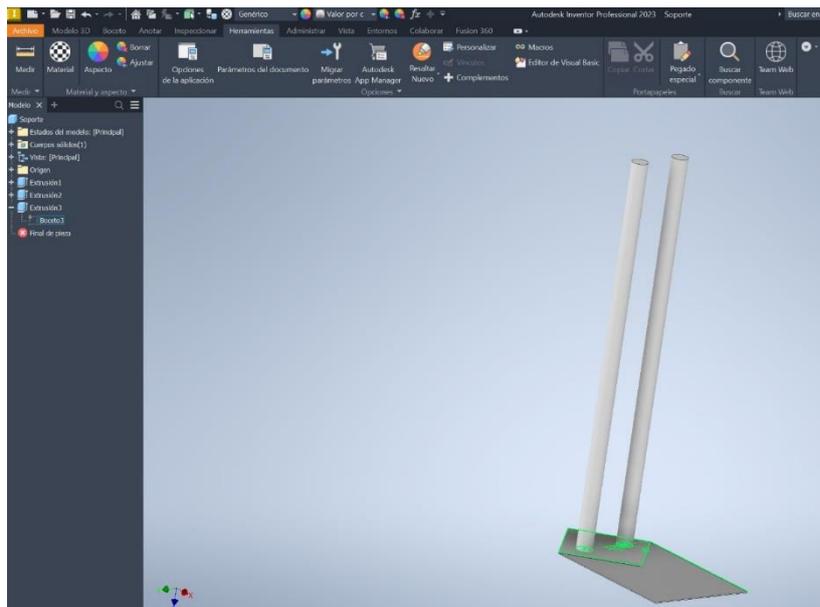
Figura 11*Diseño de pedestal en Inventor*

Figura 12

Implementación de elementos como selectores, potenciómetros, botones de paro de emergencia y para freno.



Capítulo 4

4. Conclusiones y recomendaciones

En este proyecto se ha puesto en práctica todos los conocimientos y habilidades aprendidos u obtenidos a lo largo de la carrera en Mecatrónica. Se han integrado sistemas electrónicos, mecánicos y de control, lo que nos permitió enfrentar este desafío de mejorar la eficiencia de las carretas enrolladoras de cables de acero de manera integral con la implementación de variadores de frecuencia, poniendo en práctica lo aprendido en control electrónico y automatización, garantizando un mejor y fácil manejo de la maniobra en el cambio de cable en las grúas pórtico.

Gracias a la interacción en la empresa formadora con el personal técnico, se pudo tener claro los problemas que son existentes durante las maniobras de cambios de cable, lo que nos permitió comprender el objetivo del proyecto al optimizar la función de las carretas, haciéndolo más fácil al usar y seguro para el personal técnico y, de cierta manera, evitar daño a los cables de acero.

4.1 Conclusiones

- Al tener una correcta configuración en los VDF, se logró tener un mejor control en la velocidad de los motores según las necesidades que la maniobra requiera, lo que hace que las maniobras sean más flexibles, además de reducir retrasos.
- Realizar las pruebas de funcionamiento fue clave para asegurarnos de que el sistema eléctrico funcione como se deseaba, evitando que existan fallas al momento de una maniobra, ya que se pudo detectar y corregir errores para que las carretas funcionen de manera eficiente y segura.
- Se logró cumplir con las normativas de seguridad al implementar VDF, mejorando el funcionamiento de las carretas junto con el diseño de la caja del panel de control y el pedestal, minimizando riesgo en medio de la maniobra. Además de asegurar la vida útil de los componentes evitando fallos de fase o sobrecarga del motor gracias a las protecciones incorporadas de los VDF.

- Al incorporar un pedestal a la caja de panel de control, se permitió una buena ergonomía y un fácil uso del sistema de las carretas, y al tener acceso a los botones o selectores, el personal técnico puede tener acceso rápido en caso de situaciones imprevistas.

4.2 Recomendaciones

Es recomendable que se monitoree el funcionamiento de los VDF para tener un óptimo funcionamiento del sistema de función de las carretas, con los datos que se obtengan se pueden realizar ajustes, evitando retrasos o daños de elementos.

Es importante también que se implemente un mantenimiento de los elementos eléctricos como limpieza, ajustes de cables o revisión de configuraciones en los VFD.

El personal técnico debe utilizar las funciones que ofrece el VDF WEG CFW300, como la función de diagnóstico con la que cuenta para tener una detección de errores o problemas, así identificarán inconvenientes que puedan convertirse en fallos.

Referencias

Artículo en línea

Global, C. (17 de 05 de 2022). *Variadores de frecuencia*. Obtenido de https://www.voltimum.es/sites/www.voltimum.es/files/fields/attachment_file/presentacion_variador_de_frecuencia_voltimum_17-05-2022.pdf

LTDA., W. D.-A. (2024). *Convertidor de Frecuencia CFW300 V3.2X*. Obtenido de <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hfc/h44/WEG-CFW300-manual-de-programacion-10007849714-es.pdf>

Mohan, N. U. (2021). *Power Electronics: Converters, Applications, and Design (4ta ed.)*. Wiley. (NEMA)., N. E. (2020). *Adjustable Speed Drive Systems - Application Guide*. NEMA.

outrun, A. E. (1995 - 2025). *ABB*. Obtenido de <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>

Tesis/trabajos de grado

Erazo, A. A. (2012). “*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.*”. Riobamba - Ecuador.

Videos

Menezes, D. (16 de diciembre de 2021). *IDEIA TUBE*. [Video].

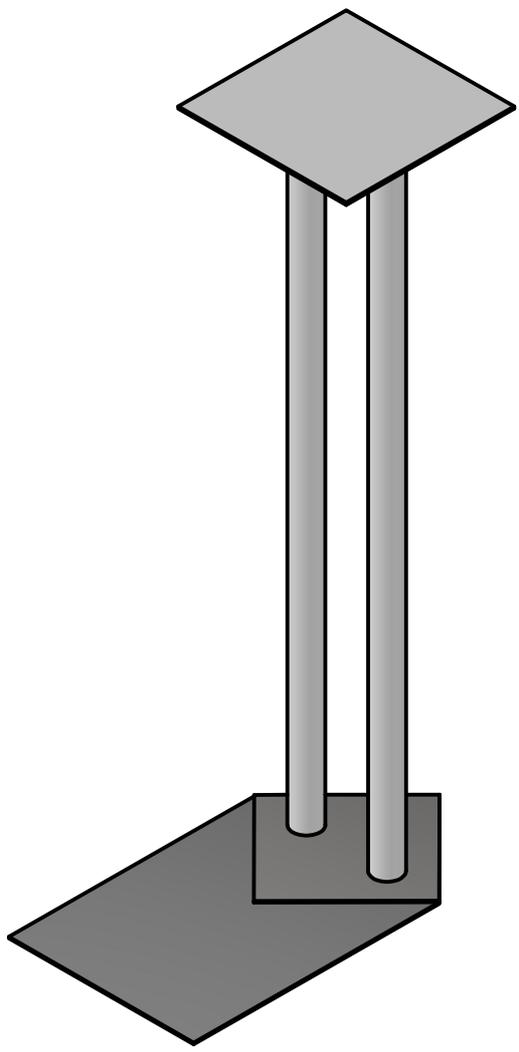
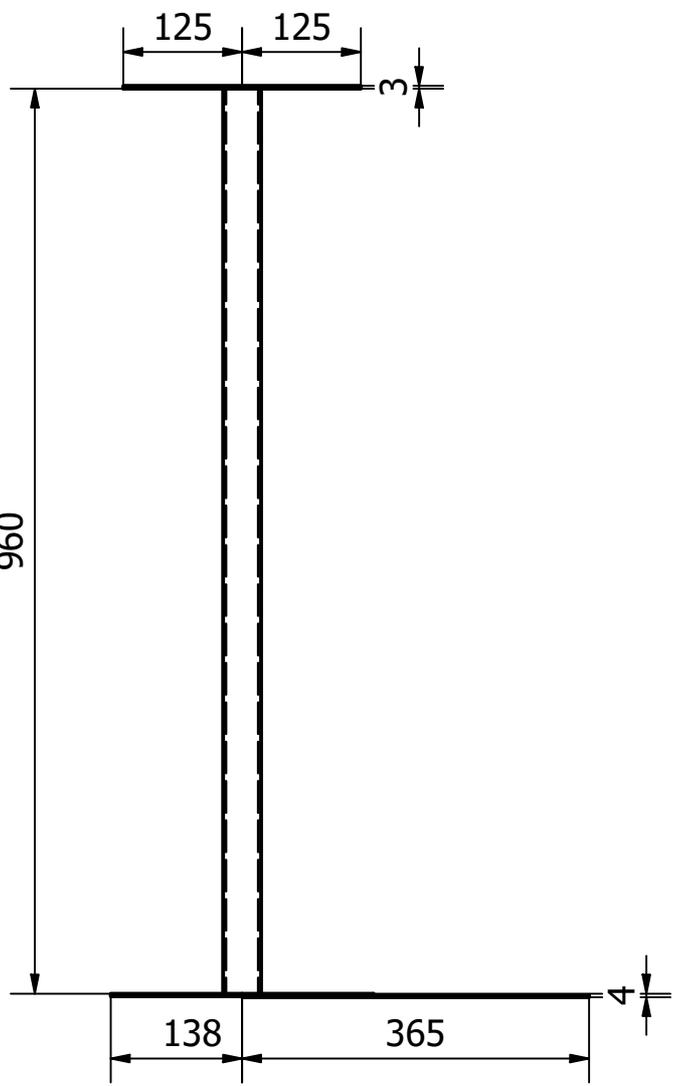
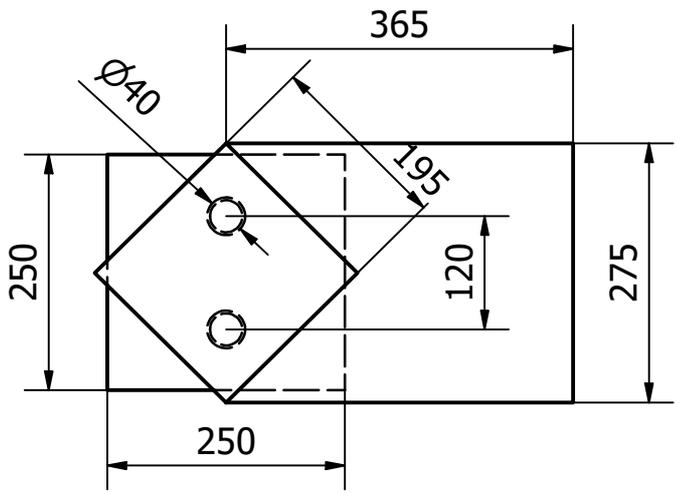
YouTube https://www.youtube.com/watch?v=g66yZY1_oLE

Apéndice A - Planos



LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Soporte



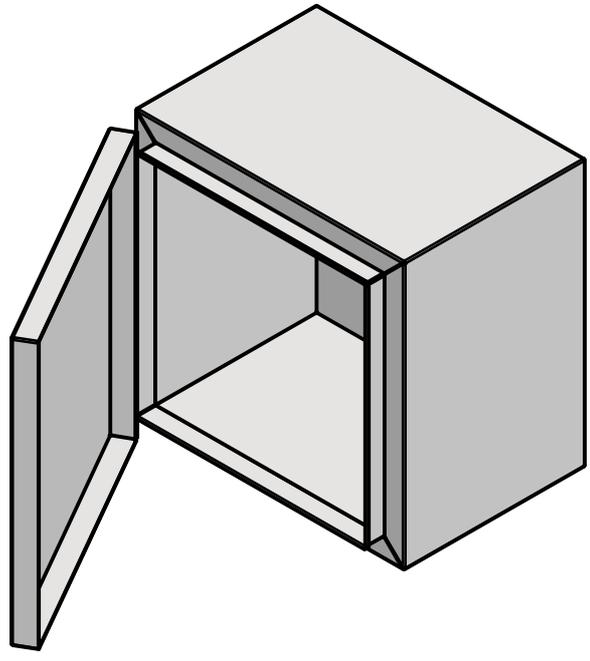
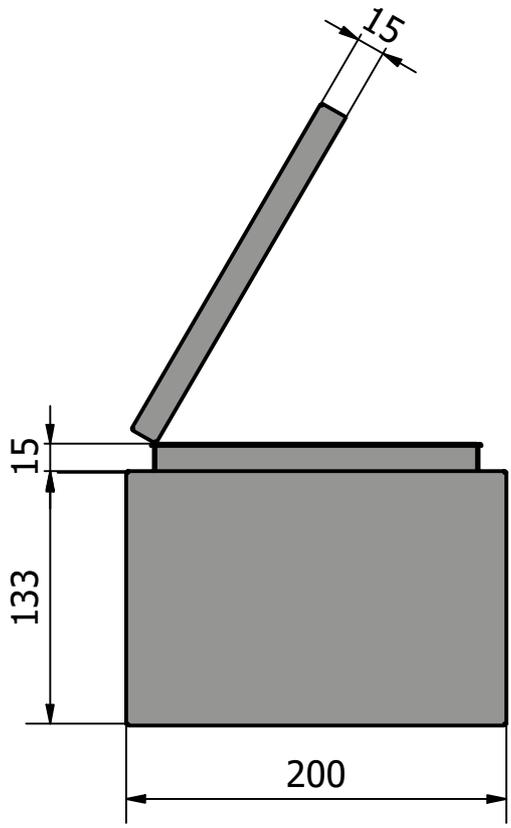
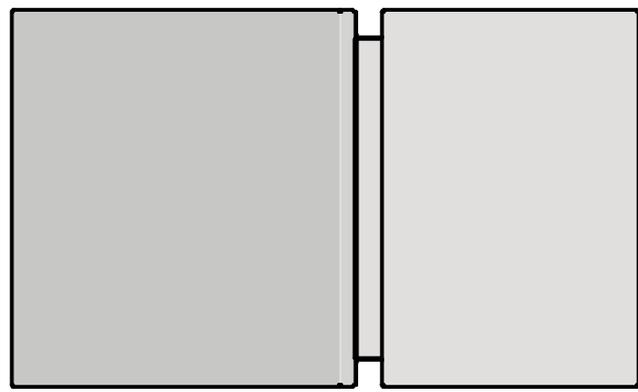
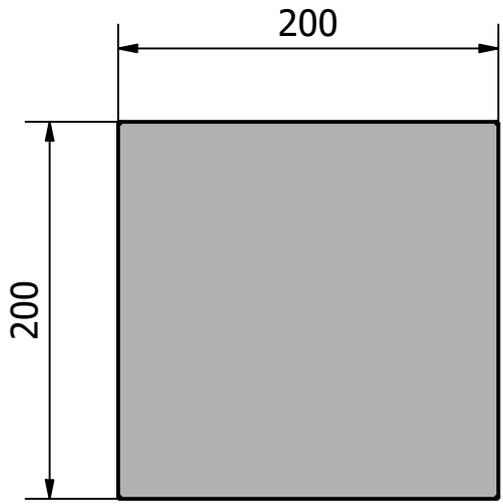
Diseño de Tatiana Asencio	Revisado por Sharon Baque	Aprobado por Richard Moreno	Fecha	Fecha 23/01/2025	
ESPOL			Proyecto de Titulacion		
			Plano de Soporte	Edición 1.0	Hoja 1 / 1





LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Caja de control



Diseño de Sharon Baque	Revisado por Tatiana Asencio	Aprobado por Richard Moreno	Fecha	Fecha 23/01/2025
---------------------------	---------------------------------	--------------------------------	-------	---------------------

ESPOL - DPW	Proyecto de Titulacion		
	Plano de Caja	Edición 1.0	Hoja 1 / 1

