

Dirección Área de Conocimiento Industria y Producción

“Propuesta técnico-financiera de automatización del circuito de potencia y control para la puesta en marcha de los motores eléctricos de los Silos de maíz de la empresa EMPREMAR ubicada en el municipio de Corinto, departamento de Chinandega, que permita el ahorro energético en la facturación”.

Trabajo monográfico para optar al título de Ingeniero Eléctrico

Elaborado por:

Br. Carlos Lenin
Centeno Herrera

Carnet 2017-0200S

Br. Norlan Isaac
Martínez Martínez

Carnet 2017-0221S

Ing. Carlos Abraham
Pérez Méndez

junio de 2025
Managua, Nicaragua

Resumen

La presente tesis: "Propuesta técnico-financiera de automatización del circuito de potencia y control para la puesta en marcha de los motores eléctricos de los Silos de maíz de la empresa EMPREMAR ubicada en el municipio de Corinto, departamento de Chinandega, que permita el ahorro energético en la facturación", se basa en un proceso investigativo, analítico y cuantitativo, el cual realiza el análisis de las cargas de los motores instalados en la empresa EMPREMAR y la determinación de las condiciones de consumos de carga, estableciendo las cargas críticas que inciden en el consumo y la facturación mensual, determinando que los motores de los elevadores son los que requieren la propuesta de automatización del sistema de potencia y control.

De las condiciones técnicas previas se encuentra la propuesta de instalar variadores de velocidad y cálculo de los ahorros asociados a su implementación, determinando los beneficios económicos para la empresa.

También incluye el análisis técnico-financiero de la implementación.

A la presente tesis contiene adjunta un disco CD-ROM, con archivos digitales que competen a este trabajo.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
JUSTIFICACIÓN	6
OBJETIVOS	7
Objetivo general.....	7
Objetivos específicos:	7
I. MARCO TEÓRICO	8
1- Automatización	10
2- Circuito de potencia y control de un motor eléctrico	10
2.1 Circuito de Potencia.....	10
2.2 Circuito de mando o control	10
3- Componentes de un circuito de potencia.....	10
4- Tipos de arranque.....	12
5- Criterios para la selección del sistema de control	12
CAPÍTULO I. Esquema de Fuerza y Control de un Motor Trifásico	13
1.1 Componentes - Diagrama de Control y Fuerza de un motor trifásico	13
1.2 Motor Trifásico	16
1.3 - Cálculo de la corriente en motores eléctricos	16
1.4 - Cálculo de corriente de cortocircuito en motores	16
1.5 - Cálculo de corriente de cortocircuito en transformadores	17
1.6 - Corriente total del circuito en la barra	17
1.7 - Centro de Control de Motores (CCM)	17
CAPÍTULO II. Dimensionamiento de un CCM.....	19
2.1 Capacidad Interruptiva.....	19
2.2 Corriente Nominal	19
2.3 Contactores.....	20
2.3.1 En corriente alterna	20
2.3.2 En corriente continua.....	20
2.4 Protección contra sobrecargas	21

Comentado [INM1]: Imprimir todas las páginas de los índices incluyendo los de figura y tablas

CAPÍTULO III. Estado actual del circuito de control y potencia de EMPREMAR ..	21
3.1 Estado actual del centro de control de motores	22
3.2 Elementos eléctricos de control y fuerza.....	23
3.3 Ventajas técnicas de utilizar VFD en equipos de transporte	24
3.4 Estado actual del sistema	25
3.5 Modelo de los motores existentes de EMPREMAR	25
CAPÍTULO IV. Carga de motores y consumo energético de EMPREMAR	26
4.1 Censo de Carga Elevadores	26
4.2 Diagrama Unifilar motores elevadores EMPREMAR realizado con software DlgSILENT PowerFactory V15.1	28
4.3 Resultados de corrida de flujo con software DlgSILENT PowerFactory	29
4.4 Selección de conductores eléctricos por ampacidad	29
4.5 Valores de carga.....	31
4.6 Curva de carga de los motores	31
4.7 Consumo Energético en referencia al año 2024	32
4.8 Histórico de Consumo de Energía (kWh).....	32
4.9 Gráfica demanda máxima en potencia (kW)	33
4.10 Porcentaje de carga de los motores	34
4.11 Pliego Tarifario	35
CAPÍTULO V. Tecnología aplicables a los CCM.....	36
5.1 Clasificación del CCM	36
5.2 Tipos de arrancadores para motores eléctricos	38
5.3 Díagrama de CCM	40
CAPÍTULO VI. Cálculos de los elementos del centro de control de motores para los silos de los motores y propuesta de rediseño.	40
6.1 Selección del Interruptor Principal	40
6.2 Cálculo de cortocircuito total,	41
6.2.1 Corriente por motor.....	41
6.2.2 Cálculo de corriente de cortocircuito para 9 motores de 40 Hp	42
6.2.3 Cálculo de corriente de cortocircuito en transformadores.....	42
6.2.4 Corriente total del circuito en la barra	42
6.3 Selección de equipos con cargas críticas	42

6.4 Selección de elementos de protección, arranque y control.....	43
6.5 Cálculo de cortocircuito basados en software DlgSILENT PowerFactory....	44
6.6 Especificaciones del Gabinete CCM	45
6.6.1 Configuración de las Celdillas.....	45
6.6.2 Sistema de Barraje	46
6.7 Integración del Variador de velocidad	46
6.8 Referencia de variador de velocidad marca Schneider electric	47
6.9 Protección contra corrientes transitorias por motor.....	49
6.10 Protección por fallas asimétricas	49
6.11 Protección contra corrientes transitorias principal.....	50
6.12 Certificación de Red de Tierra y Sistema de Pararrayos para Protecciones Atmosféricas en Silos EMPREMAR	50
6.13 Dimensiones del CCM	51
6.14 Diagrama simulado con CADE SIMU V4.2	52
CAPÍTULO VII. Cálculo del Ahorro Energético y Análisis Financiero del Rediseño del Sistema de Control de motores-EMPREMAR	52
7.1 Uso dinámico del variador de velocidad	52
7.2 Eficiencia energética.....	53
7.3 Calculo con rediseño	54
7.4 Análisis ahorro promedio anual proyectado	54
7.5 Observación al estudio.....	55
7.6 Evaluación Financiera.....	55
7.7 Flujo neto	56
7.8 Precio de cada elemento de protección y control	58
7.9 Resumen Costos de Inversión	59
7.10 Flujo neto del rediseño	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	60
Conclusiones	60
Recomendaciones	61
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXO.....	64

Índice de Figuras

<i>Figura 1</i>	1
<i>Figura 2</i>	4
<i>Figura 3</i>	5
<i>Figura 4</i>	5
<i>Figura 5</i>	13
<i>Figura 6</i>	14
<i>Figura 7</i>	14
<i>Figura 8</i>	15
<i>Figura 9</i>	15
<i>Figura 10</i>	16
<i>Figura 11</i>	18
<i>Figura 12</i>	22
<i>Figura 13</i>	23
<i>Figura 14</i>	23
<i>Figura 15</i>	25
<i>Figura 16</i>	28
<i>Figura 17</i>	31
<i>Figura 18</i>	31
<i>Figura 19</i>	32
<i>Figura 20</i>	33
<i>Figura 21</i>	34
<i>Figura 22</i>	35
<i>Figura 23</i>	39
<i>Figura 24</i>	40
<i>Figura 25</i>	43
<i>Figura 26</i>	44
<i>Figura 27</i>	44
<i>Figura 28</i>	45
<i>Figura 29</i>	47
<i>Figura 30</i>	48
<i>Figura 31</i>	49
<i>Figura 32</i>	49
<i>Figura 33</i>	50
<i>Figura 34</i>	51
<i>Figura 35</i>	52
<i>Figura 37</i>	56
<i>Figura 36</i>	56
<i>Figura 38</i>	57
<i>Figura 39</i>	57

Índice de Tablas

Tabla 1 26

Tabla 2 29

Tabla 3 30

Tabla 4 31

Tabla 5 32

Tabla 6 34

Tabla 7 59

Tabla 8 59

Dedicatoria

Con profundo respeto, cariño y gratitud, deseamos dedicar este trabajo monográfico a aquellas personas y pilares fundamentales que han sido parte esencial de este proceso académico y personal.

Primeramente, a Dios, fuente infinita de sabiduría, fortaleza y amor. A Él le agradecemos por habernos acompañado en cada paso de este camino, por brindarnos claridad en los momentos de incertidumbre, ánimo cuando sentimos desfallecer, y por permitirnos avanzar con fe y determinación. Sin Su guía divina, nada de esto habría sido posible.

A nuestros amados padres, quienes con su ejemplo de responsabilidad, compromiso y amor incondicional nos han formado no solo como estudiantes, sino como seres humanos. Gracias por estar presentes en cada paso, por su apoyo inquebrantable y por enseñarnos que con esfuerzo y humildad se logran grandes cosas.

//A mi esposa, mi compañera de vida, por su comprensión, paciencia y por ser mi apoyo constante. Gracias por alentarme incluso en los momentos más difíciles y por creer en mí cuando yo mismo dudaba. Tu amor y tu presencia han sido una fuente de fuerza invaluable a lo largo de este recorrido. A mi hija, mi más grande inspiración. Aunque aún pequeña, tu sonrisa, tu inocencia y tu luz han sido el motor que me impulsa a seguir adelante y superarme cada día. Este logro también es para ti, como símbolo del ejemplo que quiero dejarte. // **(Br. N. Martínez)**

A nuestros docentes, quienes han dejado huellas imborrables en este proceso educativo. A cada uno de ellos les expresamos nuestros más sinceros agradecimientos por compartir sus conocimientos, por su paciencia, exigencia y dedicación. Ustedes no solo enseñan contenidos, sino también valores, perseverancia y pasión por aprender.

Esta dedicatoria es una muestra de nuestra gratitud y reconocimiento a todos quienes nos han acompañado en este camino. Este trabajo no es solo un logro académico, sino un reflejo del amor, apoyo y enseñanza que hemos recibido de ustedes.

Con todo nuestro cariño y respeto, muchas gracias.

Agradecimiento

Agradecemos, en primer lugar, a Dios, por ser nuestra fuente constante de fortaleza, sabiduría y serenidad a lo largo de este proceso. Su presencia nos dio claridad en los momentos de duda y ánimo en los días más exigentes. Sin Su guía, este camino habría sido mucho más difícil.

A nuestras familias, por su apoyo incondicional y por acompañarnos con paciencia y comprensión en cada etapa. A nuestros padres, por inculcarnos desde siempre los valores del esfuerzo, la dedicación y la responsabilidad. Gracias por confiar en nuestras capacidades para alcanzar esta meta y por el apoyo constante.

Agradecemos también a nuestros lugares de trabajo, por brindarnos el espacio, la comprensión y la posibilidad de equilibrar nuestras responsabilidades laborales con este desafío académico. El respaldo recibido fue clave para poder alcanzar este objetivo.

Y, de manera muy especial, a nuestro tutor de monografía, por su dedicación, orientación y compromiso durante todo este proceso. Su guía oportuna, sus observaciones acertadas y su paciencia fueron fundamentales para la culminación exitosa de este trabajo. Gracias por acompañarnos con profesionalismo y vocación en cada paso del camino.

A todos ustedes, muchas gracias por su apoyo y por ser parte de este logro.

¡¡¡Dios los bendiga!!!

Introducción

El presente proyecto de investigación está orientado al tema de automatización del sistema de potencia y control para la puesta en servicio de los motores eléctricos del proceso productivo de los silos de maíz de la empresa EMPREMAR, ubicada en el municipio de Corinto, kilómetro 143 carretera Chinandega hacia Corinto, Comarca El Realejo, Chinandega.

Silos de maíz EMPREMAR

Figura 1



Fuente: Propia

La capacidad instalada de la empresa es de:

- 18 silos de almacenamiento.
- 6 fosas de recepción.
- Departamento de laboratorio (Análisis y Control de Granos).
- 2 básculas debidamente certificadas por el MTI.

El almacenamiento de granos básicos requiere condiciones adecuadas que aseguren su conservación hasta su comercialización y consumo final. Para este propósito, se utilizan silos de almacenamiento, los cuales son contenedores de gran tamaño, regularmente de forma vertical, que pueden cerrarse herméticamente. Estos dispositivos están diseñados para preservar productos, principalmente alimentos, bebidas, granos y forraje (ACURA, 2023).

En la industria de almacenamiento de granos, los silos juegan un papel fundamental. No obstante, al ser almacenados, los granos inician un proceso de deterioro que está estrechamente relacionado con el tiempo y las condiciones del entorno. Para conservar la calidad inicial del producto, se implementa un sistema de aireación. Sin embargo, esta ventilación, en muchas ocasiones, puede resultar excesiva o contraproducente, especialmente cuando permite la entrada de humedad no deseada.

Con el objetivo de mejorar la eficiencia en el manejo y transporte interno de granos, se incorpora el uso de variadores de velocidad en el sistema de elevadores de los silos. Estos dispositivos permiten un control preciso de la velocidad del conjunto motor elevador, ajustándose a variables como el tipo de grano, el volumen de carga y las condiciones operativas del sistema. Esta tecnología favorece una operación más eficiente y flexible, al tiempo que optimiza el consumo energético, reduce el desgaste mecánico de los equipos y minimiza los riesgos asociados a un transporte excesivo o inadecuado de los granos.

En este contexto, se plantea una propuesta técnico-financiera dirigida a la empresa EMPREMAR, orientada a la mejora del sistema de arranque de los motores eléctricos instalados en los silos de maíz. La iniciativa busca garantizar tanto la calidad en el almacenamiento del grano como la optimización del consumo energético del sistema. Específicamente, se contempla la selección e implementación de nueve motores eléctricos (elevadores) que corresponden a cargas críticas en el proceso de carga y despacho de los silos. Actualmente, estos motores no cuentan con un sistema de arranque eficiente, lo cual genera un impacto negativo tanto en el rendimiento operativo como en el costo de facturación eléctrica de la empresa.

Antecedentes

El primer silo moderno, tipo torre, hecho de madera, se construyó en 1873 en la granja de Fred L. Hatch, en Illinois, Estados Unidos y probó ser exitoso con el almacenamiento de granos de maíz (ACURA, 2023).

Los silos sirven para conservar y guardar el grano de forma óptima durante largos periodos de tiempo. Los silos de almacenamiento usualmente cuentan con sistemas para controlar la humedad y temperatura, lo cual permite asegurar una calidad óptima del producto y controlar las plagas. Además, disminuyen los costos de maniobra del grano al ser un sistema completamente mecanizado (CGN, 2024).

Están fabricados con lámina galvanizada corrugada y normalmente tienen una forma cilíndrica. Cuentan con capacidades que varían desde 3 toneladas hasta 25,000 toneladas, con dimensiones según la capacidad requerida en planta. La base de los silos puede ser cónica o plana para agilizar la salida del grano.

Una planta de almacenamiento de silos generalmente está constituida por:

- Uno o varios silos con sistemas de medición de temperatura, aireación y barredor de descarga.
- Equipo para el transporte mecanizado del grano
- Equipos de prelimpieza para granos.
- Equipos para el secado de granos
- Báscula para pesaje de entrada y salida de producto (Camiones y equipo graneleros)
- Laboratorio de análisis y control de calidad del grano
- Área de maniobras para la carga y descarga
- Área de mantenimiento del equipo.

El almacenamiento de los recursos fue importante en todas las sociedades antiguas porque tenía que ver con la conservación de recursos determinantes para la vida humana. La supervivencia es la inquietud primaria de todo grupo doméstico y el almacenamiento fue una de las varias estrategias económicas que las antiguas unidades domésticas empleaban para preservar el excedente de su producción y protegerse de la

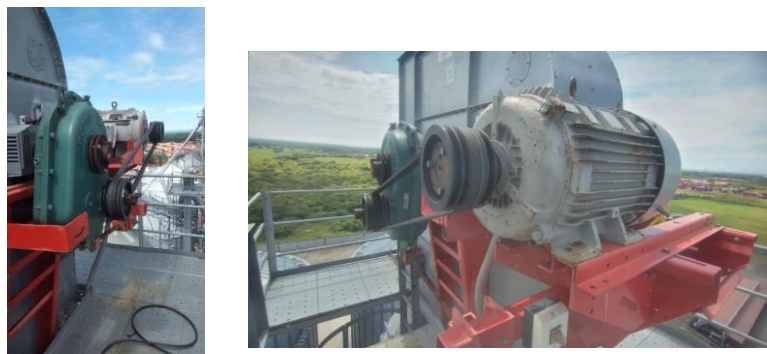
escasez. En consecuencia, el almacenaje se encuentra en todos los niveles de complejidad cultural, desde las bandas de cazadores recolectores hasta los Estados complejos (Bookedition, s.f.).

En la antigüedad, el grano se almacenaba en los graneros o se transportaba por las vías fluviales (a veces incluso se exportaba a otros países). En los graneros se utilizaban mangostas para proteger el almacén de los ratones (más que los gatos, que se consideraban poco fiables) (History, 2024). En los sistemas de almacenamiento de granos, los motores de los elevadores presentan problemas como fallas frecuentes, sobrecalentamiento y arranques bruscos que generan altos picos de corriente y esfuerzos mecánicos innecesarios. Estas condiciones reducen la eficiencia operativa, aumentan el consumo energético y elevan los costos de facturación eléctrica. La falta de control moderno impide ajustar la velocidad del motor según la carga real del sistema. Por ello, se propone integrar variadores de velocidad (VFD) en los elevadores, lo cual permite arranques suaves, regulación de velocidad, menor desgaste y ahorro energético, mejorando significativamente la confiabilidad y eficiencia del proceso.

Condiciones actuales del sistema de arranque y control de los silos.

Motores eléctricos de los silos (Ver fig. 2,3,4)

Figura 2



Fuente: Propia

Transportador - Elevador

Figura 3



Fuente: Propia

Panel de Control

Figura 4



Fuente: Propia

Justificación

Los elevados costos operacionales asociados al almacenamiento de granos básicos han impulsado una búsqueda constante de eficiencia energética y de mejoras en los equipos utilizados, con el objetivo de incrementar la productividad en las empresas privadas.

En este contexto, la presente investigación tiene como propósito desarrollar una propuesta técnico financiera para la automatización y control del sistema de puesta en servicio de los motores eléctricos de los silos de maíz de la empresa EMPREMAR.

La propuesta se enfocará específicamente en los nueve motores que operan los elevadores, realizando una evaluación detallada de los equipos actualmente instalados y considerando la posible implementación de nuevas tecnologías de alta eficiencia.

Esto permitirá identificar oportunidades de ahorro energético y contribuir a la reducción de los costos asociados al consumo y facturación de energía eléctrica en la empresa EMPREMAR.

Objetivos

Objetivo General:

- Rediseñar el circuito de potencia y control para la automatización de los motores eléctricos de los Silos de maíz de la empresa EMPREMAR-Corinto, proponiendo el uso de equipos de alta eficiencia energética.

Objetivos específicos:

- Estudiar y analizar el sistema eléctrico actual de potencia y control de los motores eléctricos de los Silos de maíz.
- Recopilar y analizar los datos de los parámetros eléctricos del sistema de potencia y control de los motores eléctricos de los Silos de maíz.
- Estudiar y analizar las diferentes tecnologías de ahorro energético aplicables a los sistemas de potencia y control para el arranque de motores eléctricos.
- Establecer una propuesta de diseño para la automatización del sistema de potencia y control de los motores eléctricos de los Silos de maíz de la empresa EMPREMAR.
- Calcular el ahorro de energía al implementar la nueva propuesta de diseño del sistema de potencia y control de los motores eléctricos de los Silos de maíz.
- Evaluar técnica y financieramente su viabilidad de implementación.

I. Marco Teórico

El motor eléctrico constituye uno de los elementos fundamentales en un sistema de accionamiento y es ampliamente utilizado en equipos industriales. Esta máquina de rotación eléctrica, en la mayoría de los casos, opera con corriente alterna (CA). El primer prototipo de motor eléctrico capaz de funcionar con corriente alterna fue desarrollado y construido por el ingeniero Nikola Tesla, quien lo presentó ante el American Institute of Electrical Engineers en el año 1888.

El motor de inducción, también conocido como motor asíncrono, es un tipo de motor eléctrico que en la actualidad se emplea en diversas aplicaciones, incluyendo vehículos eléctricos. Antes de abordar sus aplicaciones prácticas, es importante comprender su definición y principio de funcionamiento.

El funcionamiento del motor de inducción se basa en el principio de inducción mutua de Faraday. Al aplicar corriente alterna trifásica a las bobinas inductoras del estator, se genera un campo magnético giratorio cuya frecuencia es equivalente a la de la energía alterna suministrada al motor. Este campo magnético giratorio, al interactuar con el rotor en reposo, induce una corriente eléctrica en el mismo, generando un segundo campo magnético. Este segundo campo tiende a seguir el movimiento del campo del estator, lo que produce un par motor (o torque) que provoca la rotación del rotor. Este fenómeno se conoce como principio de inducción mutua.

Los principios físicos que explican el funcionamiento del motor eléctrico se derivan de la ley de Ampère y la ley de Faraday. La ley de Ampère establece que un conductor eléctrico situado en un campo magnético experimentará una fuerza si la corriente que circula por él tiene un componente perpendicular a dicho campo. En consecuencia, al invertirse la dirección de la corriente o del campo magnético, la fuerza resultante también cambiará de dirección.

Por su parte, la ley de Faraday indica que, si un conductor se desplaza dentro de un campo magnético, cualquier componente del movimiento que sea perpendicular a dicho campo generará una diferencia de potencial (voltaje) entre los extremos del conductor. Esta diferencia de potencial puede inducir una corriente eléctrica si el conductor forma parte de un circuito cerrado.

Cuando una corriente eléctrica fluye a través de un conductor, se genera un campo magnético alrededor de este. Si el conductor se encuentra en proximidad a un imán permanente, el campo magnético temporal generado por la corriente interactuará con el campo del imán. Esta interacción puede dar lugar a fuerzas de movimiento que contribuyen al funcionamiento del motor, conforme a los principios físicos previamente descritos.

El motor de inducción de corriente alterna es, esencialmente, una máquina eléctrica de velocidad constante. La velocidad del campo magnético giratorio que se produce en el estator se denomina velocidad síncrona. Esta velocidad, representada como

$n_s = 120f/p$	(1)
----------------	-------

Donde:

n_s : Velocidad síncrona del estator, en rpm

f : Frecuencia de la red en Hz.

p : Número de polos de la máquina.

Y en el caso de la velocidad de rotación del rotor se define como:

$n_r = n_s(1 - s)$	(2)
--------------------	-------

Donde:

n_r = velocidad rotación del rotor, en rpm

S : deslizamiento del motor.

Donde:

$s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$	(3)
-----------------------------	-------

1- Automatización

La automatización se refiere al uso de tecnologías para llevar a cabo tareas con una intervención humana mínima. Aunque puede implementarse en cualquier sector que implique tareas repetitivas, es especialmente común en industrias como la manufactura, la robótica, la automoción y los sistemas tecnológicos empresariales, como el software para toma de decisiones (Hat, 2024).

2- Circuito de potencia y control de un motor eléctrico

“En el contexto de la automatización, el circuito eléctrico de un motor se divide en dos secciones fundamentales: el circuito de potencia y el circuito de mando o control”

2.1 Circuito de Potencia

El circuito de potencia tiene como función principal suministrar la energía eléctrica al motor. Opera con niveles de voltaje y corriente elevados, que dependen de las características del motor y la carga que este debe mover. Está compuesto por dispositivos como contactores, relés, fusibles e interruptores automáticos, todos ellos orientados a garantizar un funcionamiento seguro y eficiente del sistema (MOTORBA, 2023).

2.2 Circuito de mando o control

Este circuito es responsable de administrar las órdenes de arranque, parada y control de velocidad del motor. Funciona con bajos niveles de voltaje, generalmente 24VDC o 120VAC. A través de botones pulsadores, interruptores, sensores o controladores de velocidad, se generan señales que activan el circuito de potencia y determinan el comportamiento del motor (MOTORBA, 2023).

3- Componentes de un circuito de potencia

El circuito de potencia está compuesto por los siguientes componentes:

- **Contactores:** Dispositivos electromecánicos encargados de conectar o desconectar el motor de la fuente de alimentación.
- **Fusibles:** Elementos de protección que interrumpen el circuito en caso de sobrecarga o cortocircuito.
- **Interruptores de circuito:** Dispositivos de protección que actúan en situaciones de sobrecorriente.
- **Relés térmicos y dispositivos de protección adicionales:** Detectan condiciones anormales de operación como sobrecargas prolongadas, activando mecanismos de seguridad para evitar daños al motor.

“En la actualidad, existen varias soluciones ampliamente utilizadas para automatizar el arranque y el control de motores eléctricos, dependiendo de las necesidades específicas de cada aplicación”

- **Contactor de potencia**

Permite un arranque directo o arranque estrella-triángulo. Es una solución sencilla y económica, adecuada para aplicaciones que no requieren un control preciso del par motor o de la corriente de arranque.

- **Arrancador Suave (Soft Starter)**

Regula la tensión suministrada al motor durante el arranque, reduciendo los picos de corriente y el esfuerzo mecánico sobre los componentes.

- **Variador de Velocidad o Frecuencia (VFD, Variable Frequency Drive)**

Controla tanto la frecuencia como la tensión entregada al motor, permitiendo un ajuste fino de la velocidad y del par según las necesidades de operación.

- **Servo (servomotor y controlador)**

Ofrece un control preciso de la posición y velocidad del eje del motor. Requiere motores especiales con codificadores que envían información continua al sistema de control.

4- Tipos de arranque

Dependiendo del método de control elegido y considerando factores como la inercia de la aplicación y la potencia requerida, pueden aplicarse distintos tipos de arranques:

- **Arranque directo:** mediante contactor, útil para motores pequeños y aplicaciones sencillas.

Arranque estrella-triángulo: adecuado para motores de gran tamaño, donde es necesario limitar la corriente de arranque.

- **Arranque progresivo:** mediante arrancador suave, que reduce el desgaste mecánico.
- **Arranque controlado por frecuencia:** utilizando variadores de frecuencia para adaptar la velocidad a las condiciones de carga.

5- Criterios para la selección del sistema de control

Para una selección óptima del sistema de control de un motor eléctrico, se deben considerar los siguientes aspectos:

Tipo de aplicación

- (por ejemplo: elevadores, cintas transportadoras, ventiladores, bombas).
- Requerimiento de inversión de giro
- Potencia y par necesarios.
- Nivel de inercia de la carga (especialmente si se requiere parada rápida o bloqueo).
- Número de ciclos diarios u operativos.
- Posibles expansiones futuras o cambios en la potencia instalada.
- Presupuesto y tiempo disponible para la implementación.

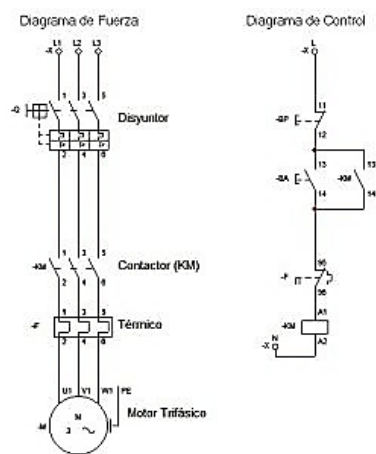
Una adecuada evaluación técnica y económica garantizará la elección de la solución más eficaz y sostenible a largo plazo.

CAPÍTULO I. Esquema de Fuerza y Control de un Motor Trifásico

Un sistema de control y fuerza de motores eléctricos está conformado por dos secciones que interactúan de manera conjunta: el circuito de potencia o fuerza y el circuito de mando o control (CARACTERÍSTICA, 2024). Ambos cumplen funciones esenciales en el manejo seguro y eficiente de los motores eléctricos.

Diagrama de fuerza y control¹

Figura 5



1.1 Componentes Principales un Diagrama de Control y Fuerza de un motor trifásico

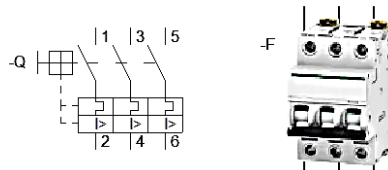
Tanto el circuito de potencia como el de control incorporan elementos específicos que permiten el funcionamiento correcto de un sistema de maniobra para un motor. La sección de fuerza o potencia, como su nombre lo indica, es la encargada de manejar toda la carga energética del sistema. Esta sección suele incluir los siguientes componentes:

¹ Fuente: <https://masam.cuautitlan.unam.mx/dycme/ce/arranque-y-paro-de-un-motor-trifasico/>

Disyuntor o interruptor termomagnético: Es el primer elemento del circuito de potencia. Su función es interrumpir el paso de corriente eléctrica cuando esta supera un valor límite preestablecido, protegiendo así el sistema frente a sobrecargas o cortocircuitos.

Interruptor Termomagnético

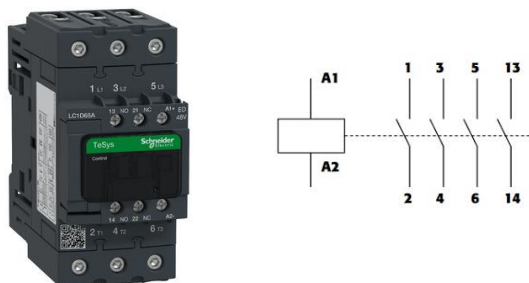
Figura 6



1.1.1 Contactor: Es un dispositivo electromecánico esencial para la maniobra del equipo eléctrico. Permite controlar grandes corrientes mediante señales de baja potencia, gracias a un electroimán interno que acciona mecánicamente los contactos. Existen versiones que funcionan a 24V en corriente continua y otras a 110V en corriente alterna, dependiendo de las especificaciones del fabricante.

Contactor

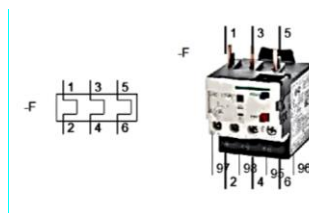
Figura 7



1.1.2 Relé térmico: Este componente actúa como dispositivo de protección para el motor eléctrico, detectando situaciones de sobrecarga y evitando daños por sobrecalentamiento. Su función es preservar la vida útil del motor industrial mediante una desconexión oportuna.

Relé térmico

Figura 8



1.1.3 Pulsadores e interfaces hombre-máquina: Los pulsadores, interruptores y demás elementos de control permiten la interacción del operario con el sistema. Estos dispositivos se conectan al circuito de mando, que a su vez gobierna el circuito de fuerza y el comportamiento del motor.

Pulsadores

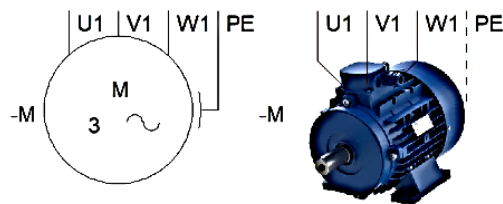
Figura 9



1.1.4 Motor eléctrico: Es el componente final del sistema, donde se transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Pueden ser monofásicos o trifásicos, aunque el principio de funcionamiento y control en ambos casos es similar.

1.2_Motor Trifásico²

Figura 10



1.3 - Cálculo de la corriente en motores eléctricos³

$$1Hp = 0.746 kW \text{ (4)}$$

$$P_N = \sqrt{3} \times V_{ll} \times I_{motor} \times h \times \cos\theta ; I_{motor} = \frac{P_N}{\sqrt{3} \times V_{ll} \times h \times \cos\theta} \text{ (5)}$$

$$I_{total} = n_{motores} \times I_{motor} \text{ (6)}$$

- PN: Potencia nominal activa (W)
- Imotor: Corriente del motor (A)
- Raíz 3: 1.73
- VLL: Voltaje de línea (V)
- cosj: Factor de potencia
- h: Eficiencia nominal (%)
- Itotal: Corriente Max (A)
- n - Motores: Cantidad de motores

1.4 - Cálculo de corriente de cortocircuito en motores

$$I_{CC} = 5 \times I_{total} \text{ (7)}$$

² Fuente: <https://unacaracteristica.com/diagramas-de-control-y-fuerza>

³ <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:782b04d0-82f4-488a-936b-514cd8bb5d5f/version:1677056836/artemimpresioncatalogosimotics.pdf>

- Icc: Corriente de cortocircuito (kA)
- Factor de contribución: (5)
- Itotal: Corriente Max (A)

1.5 - Cálculo de corriente de cortocircuito en transformadores⁴

$$I_{cc_{trafo}} = \frac{I_{base}}{\%Z} ; I_{base} = \frac{S_{trafo}}{\sqrt{3} \times V_{LL}} \quad (8)$$

- Icc trafo: Corriente de cortocircuito del transformador (kA)
- I base: Corriente nominal del transformador (A)
- S trafo: Potencia aparente, Voltio/Amperios (VA)
- %Z: Impedancia del transformador (Ω)
- V: Voltaje de línea (V)

1.6 - Corriente total del circuito en la barra

$$I_{cc_{total}} = I_{cc_{trafo}} + I_{cc_{motores}} \quad (9)$$

- Icc total: Corriente Máxima en la barra (kA)
- Icc trafo: Corriente de cortocircuito transformador (kA)
- Icc motores: Corriente de cortocircuito por todos los motores (kA)

1.7 - Centro de Control de Motores (CCM)⁵

Un Centro de Control de Motores es un tablero que tiene como funciones principales las de alimentar, controlar y proteger circuitos cuyas cargas, generalmente, son motores. Los CCM son una combinación de varios tableros de control, que controlan varios circuitos o motores, en un solo tablero general (RISOUL, 2025).

⁴ <https://evernewtransformer.com/>

⁵ Fuente: <https://www.dirind.com/pro/centro-control-motores-8px-2000.html>

Figura 11



Un CCM se organiza jerárquicamente de menor a mayor en los siguientes componentes:

- **Sillets:** Unidades que alimentan las cargas y donde se alojan los equipos de control de las mismas.
- **Columnas:** Columnas verticales que constan de un bus vertical alimentado por el bus de potencia horizontal, las cuales alojan un número de sillets dependiendo del espacio.
- **Grupo de embarque:** Es un grupo de hasta 3 columnas juntas.

- **Bus vertical:** Barras verticales que van a lo largo de la altura de cada columna del CCM. Son alimentadas por el bus horizontal.
- **Bus horizontal de potencia:** Barras de cobre que atraviesan horizontalmente por la parte de en medio a todo el CCM, alimentando así a las barras verticales que a su vez alimentarán a cada una de las cargas alojadas en las mismas.

CAPÍTULO II. Dimensionamiento de un CCM

En este capítulo se expone el proceso de dimensionamiento de los elementos principales que conforman un Centro de Control de Motores (CCM). Para ello, se considera el cumplimiento de normativas técnicas y recomendaciones establecidas por organismos como el NEC (National Electrical Code) y fabricantes de equipos eléctricos. El procedimiento inicia con la correcta selección de interruptores automáticos o breakers.

Para la selección de todo tipo de interruptor se deben tener en cuenta básicamente dos aspectos que son (Gutiérrez, 2000):

2.1 Capacidad Interruptiva

Representa el nivel de corriente de cortocircuito que puede circular por un ramal en el momento de una falla. El interruptor debe ser capaz de interrumpir esta corriente sin sufrir daños mecánicos o térmicos. La selección del interruptor debe considerar esta magnitud, ya que durante una falla pueden generarse elevados esfuerzos electrodinámicos que podrían comprometer la integridad del equipo (Gutiérrez, 2000).

2.2 Corriente Nominal

Es la máxima corriente que este puede conducir de manera continua con sus contactos cerrados, sin experimentar deterioro o pérdida de funcionalidad. Según el artículo 430-110 del NEC, para motores con tensiones inferiores a 600 V, el dimensionamiento del interruptor debe ajustarse mediante un factor que varía entre

1.15 y 7 veces la corriente nominal del motor, dependiendo del tipo de arranque y aplicación (Gutiérrez, 2000).

2.3 Contactores

La selección de contactores se realiza con base en la categoría de empleo, la cual determina la intensidad máxima que el dispositivo debe establecer o interrumpir según la naturaleza del motor y el tipo de maniobra que realizará (Electric, 2024). Estas categorías definen el comportamiento esperado del contactor ante situaciones como arranques, frenados o inversiones de giro.

2.3.1 En corriente alterna

AC-1

Para cargas no inductivas o ligeramente inductivas, con un factor de potencia ≥ 0.95 . Ejemplo: calefacción eléctrica.

AC-2

Para motores de anillos rozantes. El contactor soporta una corriente de arranque 2.5 veces superior a la corriente nominal. También debe abrir esta corriente bajo tensiones similares a la tensión de red.

AC-3

Para motores de jaula de ardilla durante el funcionamiento normal. El contacto establece una corriente de arranque entre 5 y 7 veces la corriente nominal del motor. Esta categoría es adecuada para cintas transportadoras, ventiladores, bombas.

AC-4

Para aplicaciones con frenado por inversión, avance lento o trabajo cíclico. El contactor corta corrientes elevadas a tensiones cercanas a la nominal, lo cual implica un corte severo. Ejemplos: grúas, imprentas, trefiladoras.

2.3.2 En corriente continua

DC-1

Esta categoría se aplica a todos los tipos de dispositivos de carga de corriente continua con una constante de tiempo (L/R) inferior o igual a 1 ms.

DC-3

Esta categoría se aplica al arranque, frenado por contracorriente y avance de motore.

- derivación constante de tiempo y 2 ms.
- Al cerrarse, el contactor genera la corriente de arranque, que es 2.5 veces la corriente nominal del motor.

2.4 Protección contra sobrecargas

Según el artículo 430-32 del NEC (2023), en aplicaciones de trabajo continuo, la protección contra sobrecarga de los motores debe dimensionarse en función de la corriente a plena carga especificada en la placa de características del motor. Se establecen los siguientes criterios:

Para motores con factor de servicio ≥ 1.15 , el dispositivo de sobrecarga debe ajustarse al 125% de la corriente de placa.

Para todos los demás motores, se considera el 115% de dicha corriente.

Esta normativa busca garantizar que los motores puedan operar de forma eficiente y segura, incluso bajo condiciones variables de carga, sin comprometer su integridad ni provocar paradas intempestivas.

CAPÍTULO III. Estado actual del circuito de control y potencia de EMPREMAR

Debido a los años de uso que data de 2012, hace 13 años estos gabinetes de control y fuerza en conjunto a elementos de maniobra, han sido los pioneros en el flujo efectivo para las operaciones sencillas de marcha y paro de cada uno de los motores eléctricos, pero el uso de nuevas tecnologías impulsa a tomar nuevas decisiones de configuración de los equipos con cargas críticas evidentes en temas de demanda y consumo de energía, con el fin de favorecer al ahorro energético en siguientes facturas, etc., estado actual del gabinete de control. Ver Página 22,23 (figura 12,13,14).

3.1 Estado actual del centro de control de motores

Figura 12



Fuente: Propia EMPREMAR

Los elementos eléctricos de potencia, son elementos discretos instalados en un fondo falso metálico debidamente soportado.

3.2 Elementos eléctricos de control y fuerza

Figura 13



Fuente: Propia EMPREMAR

Puntos de conexión Fuente:

Figura 14



Propia EMPREMAR



Dadas las condiciones actuales del sistema de control de motores en la empresa EMPREMAR, y con el objetivo de aumentar la seguridad, confiabilidad y eficiencia energética, se plantea el rediseño del sistema eléctrico de conexión de los motores, implementando sistemas integrados con tecnología moderna, específicamente mediante el uso de variadores de velocidad (VFD, por sus siglas en inglés).

Esta propuesta tiene como finalidad que los variadores asuman el control de las cargas existentes, optimizando la operación y generando beneficios económicos directos, como la reducción del consumo energético, lo que repercutirá favorablemente en los costos operativos y en la disminución del valor de la factura eléctrica mensual.

3.3 Ventajas técnicas de utilizar VFD en equipos de transporte

El uso eficiente de variadores de velocidad proporciona una mejora significativa en la operación de cintas transportadoras, sinfines y elevadores, ya que estos equipos muestran un rendimiento superior al ser controlados mediante VFD. Entre los beneficios técnicos más destacados se encuentran:⁶

- Arranque suave del motor, evitando golpes mecánicos que pueden dañar componentes críticos del sistema.
- Ajuste dinámico de la velocidad de transporte en función del caudal requerido, lo que permite adaptar el sistema a distintas condiciones de operación.
- Facilidad de automatización y sincronización, permitiendo una integración más eficiente entre los distintos equipos del proceso productivo.
- Arranque suave del motor, evitando golpes mecánicos que pueden dañar componentes críticos del sistema.
- Ajuste dinámico de la velocidad de transporte en función del caudal requerido, lo que permite adaptar el sistema a distintas condiciones de operación.
- Facilidad de automatización y sincronización, permitiendo una integración más eficiente entre los distintos equipos del proceso productivo.

⁶ https://new.abb.com/drives/es/eficiencia-energetica?utm_source

3.4 Estado actual del sistema

Tal como se ha descrito en los apartados anteriores y se observa en las figuras N.º 11, N.º 12 y N.º 13, el sistema actual de control de motores en EMPREMAR está constituido por una variedad de unidades electrónicas y eléctricas tradicionales, las cuales operan de manera conjunta, pero sin una integración avanzada que permita un control dinámico y eficiente del consumo.

3.5 Modelo de los motores existentes de EMPREMAR

SIEMENS NEMA⁷ Premium Eficiencia 40HP 4P 324T 3F 230/460V 60Hz – GP100 - Con patas

Figura 15



⁷ <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:782b04d0-82f4-488a-936b-514cd8bb5d5f/version:1677056836/artemipresioncatalogosimotics.pdf>

Características según placa Pagina 25 - Figura 15

De Inducción Trifásico
 Norma ANCE NEMA PREMIUN
 Potencia 40 HP/29.84kW
 Voltaje 230/460 V
 Número de Polos 4
 Grado de Protección IP54
 Velocidad de rotación 1,780 rpm
 Deslizamiento 1.12%
 Corriente 92/46A
 Corriente de arranque 289.8A
 Momento de Inercia: 118lb/ft
 Factor de servicio 1.15
 Eficiencia 94.1%

CAPÍTULO IV. Carga de motores y consumo energético de EMPREMAR

En el diagrama unifilar siguiente se muestra el esquema de conexión de los nueve motores de inducción de los elevadores.

4.1 Censo de Carga Elevadores

Tabla 1

CENSO DE CARGA EMPREMAR											
Tipo de Instalación				Industrial: carga critica elevadores							
Item	Cant	Equipos a Instalar Descripción	Hilos	Carga Monofásica				Carga Trifásica			
				Vn (V)	In (A)	P (kW)	Total (kW)	Vn (V)	In (A)	P (kW)	Total (kW)
'10	1	MOTOR ELECTRICO ELEVADOR #5	4			0.00	0.00	460	46.00	29.84	29.84
'18	1	MOTOR ELECTRICO ELEVADOR #6	4			0.00	0.00	460	46.00	29.84	29.84
'39	1	MOTOR ELECTRICO ELEVADOR #3	4			0.00	0.00	460	46.00	29.84	29.84
'44	1	MOTOR ELECTRICO ELEVADOR #1	4			0.00	0.00	460	46.00	29.84	29.84
'45	1	MOTOR ELECTRICO ELEVADOR #2	4			0.00	0.00	460	46.00	29.84	29.84
'46	1	MOTOR ELECTRICO ELEVADOR #4	4			0.00	0.00	460	46.00	29.84	29.84
'122	1	MOTOR ELECTRICO PRELIMPIA ELEVADOR ENTRADA	4			0.00	0.00	440	46.00	29.84	29.84
'123	1	MOTOR ELECTRICO PRELIMPIA ELEVADOR SALIDA	4			0.00	0.00	440	46.00	29.84	29.84
'169	1	MOTOR ELECTRICO ELEVADOR #7	4			0.00	0.00	460	46.00	29.84	29.84
Potencia Total a Instalar				kW Monofásicos Instalados				kW Trifásicos Instalados			
				Factor de Demanda				Factor de Demanda			
				kW Monofásicos Máximos				kW Trifásicos Máximos			
				Factor de Carga				Factor de Carga			
				kW Monofásicos Promedio				kW Trifásicos Promedio			
				Factor de Potencia				Factor de Potencia			
				kVA Monofásicos Promedio				kVA Trifásicos Promedio			
				Potencia Total Instalada				268.56			

Demanda Simultánea Máxima = 268.56 kW

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} V \times f_p \times \eta} = \frac{268.56 \text{ kW}}{\sqrt{3} \times 460 \text{ V} \times 0.86 \times 0.94} = 417.45 \text{ A}$$

Cada uno de los motores trifásicos instalados en los elevadores posee una potencia de 40 HP, equivalentes a 29.84 kW de potencia útil. Según ficha técnica posee una eficiencia operativa del 94%, se determina que la potencia de entrada absorbida desde la red eléctrica por cada motor es de 31.74 kW, lo cual representa la potencia activa necesaria para mantener su funcionamiento bajo carga nominal.

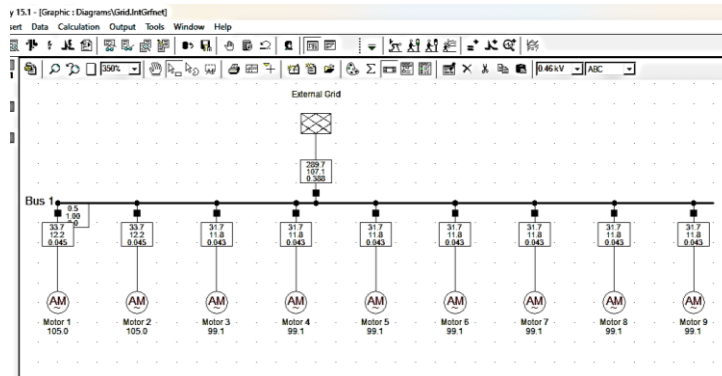
Con el propósito de validar la operación del sistema en condiciones reales, se ha realizado una simulación de flujo de potencia considerando los nueve motores en funcionamiento simultáneo. Esta simulación fue llevada a cabo mediante el uso del software especializado PowerFactory, en su versión V15.1.

PowerFactory, desarrollado por DlgSILENT, es una de las aplicaciones más reconocidas y utilizadas a nivel mundial para el análisis y simulación de sistemas eléctricos de potencia, tanto en entornos de generación, transmisión como distribución. Su capacidad de modelado detallado y análisis dinámico lo convierte en una herramienta confiable para estudios eléctricos complejos.

El programa de cálculo DlgSILENT constituye una herramienta computacional avanzada de diseño asistido por ingeniería, destinada al análisis de sistemas eléctricos de potencia en entornos comerciales, industriales y de gran escala. Su integración en este estudio permite obtener resultados precisos respecto al comportamiento de la red bajo diferentes condiciones de carga, facilitando la toma de decisiones técnicas fundamentadas para el dimensionamiento y la protección del sistema eléctrico.

4.2 Diagrama Unifilar motores elevadores EMPREMAR realizado con software DigSILENT PowerFactory V15.1

Figura 16



Fuente: Propia

Muestra de una corrida de flujo al diagrama unifilar con software (DigSILENT PowerFactory) donde se integran los 9 motores y como resultados se obtiene la siguiente tabla:

4.3 Resultados de corrida de flujo con software DigSILENT PowerFactory

Comentado [INM2]: Esta hoja imprimir de nuevo

Tabla 2

DigSILENT PowerFactory 15.1 - [Graphic: Diagrams\Grids\Grid01]				
File Edit View Insert Data Calculation Output Tools Window Help				
Grid Summary				
Load Flow Calculation				
AC Load Flow, balanced, positive sequence				
Automatic Tap Adjust of Transformers No				
Automatic Model Adaptation for Convergence No				
Consider Reactive Power Limits No				
Max. Acceptable Load Flow Error for Nodes 1.00 kVA				
Model Equations 0.10 %				
Grid: Grid System Stage: Grid Study Case: Study Case Annex: / 1				
Grid: Grid Summary				
No. of Substations 0 No. of Busesbars 1 No. of Terminals 0 No. of Lines 0				
No. of 2-w Trfs. 0 No. of 3-w Trfs. 0 No. of syn. Machines 0 No. of asyn.Machines 9				
No. of Loads 0 No. of Shunts 0 No. of SVS 0				
Generation = 0.00 MW 0.00 kvar 0.00 kVA				
External Infeed = 299.44 MW 109.08 kvar 317.75 kVA				
Inter Grid Flow = 0.00 MW 0.00 kvar				
Load P(U) = 0.00 MW 0.00 kvar 0.00 kVA				
Load P(Uh) = 0.00 MW 0.00 kvar 0.00 kVA				
Load P(Uh-U) = 0.00 MW 0.00 kvar				
Motor Load = 299.44 MW 109.08 kvar 317.75 kVA				
Grid Losses = 0.00 MW 0.00 kvar				
Line Charging = 0.00 MW 0.00 kvar				
Compensation ind. = 0.00 kvar				
Compensation cap. = 0.00 kvar				
Installed Capacity = 0.00 MW				
Spinning Reserve = 0.00 MW				
Total Power Factor: Generation = 0.00 [-]				
Load/Motor = 0.00 / 0.94 [-]				
DSIGT/info - A calculation relevant object was changed!				
DSIGT/info - The calculation results have been deleted				

Como se puede observar a partir de los resultados obtenidos en la corrida de flujo realizada por el software **DigSILENT PowerFactory**, la demanda de corriente nominal máxima del sistema asciende a un valor determinado en amperios, considerando que cada uno de los nueve motores trifásicos posee un consumo individual de 43 amperios. A su vez, la demanda máxima de potencia activa calculada es de 289.7 kW, resultado que incorpora en su evaluación la eficiencia nominal de los motores, tal como se muestra en (Página 28) - Figura. 16.

4.4 Selección de conductores eléctricos por ampacidad

Bajo estas condiciones de carga, se ha determinado que el alimentador principal encargado de suministrar energía a los nueve motores debe ser un conductor de cobre tipo THHN con una sección de 500 MCM. Este tipo de conductor presenta características térmicas y eléctricas que permiten soportar con seguridad la corriente requerida, conforme a lo indicado en la franja de color rojo de la Tabla 3. Esta selección garantiza

un funcionamiento eficiente y seguro del sistema, minimizando pérdidas y evitando sobrecalentamientos en condiciones de operación continua.

Comentado [INM3]: Esta hoja imprimir de nuevo

Calibre THHN 500MCM 90°C a 430 Amp

Ampacidad soterrada en canalización 430 amperios.

Tabla 3

Cable de cobre tipo THHN/THWN-2 GR II 600V 90 °C												
Tamaño o designación	Área nominal de la sección transversal	Número de hilos	Espesor nominal del aislamiento	Espesor nominal de nylon	Diámetro exterior aproximado	Peso total aproximado	Capacidad de conducción de corriente ¹					
							Canalización ²			Al aire libre ³		
AWG/kcmil	mm²		mm	mm	mm	kg/100 m	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
14	2.082	19	0.38	0.10	2.9	3	15	20	25	-	-	-
12	3.307	19	0.38	0.10	3.4	4	20	25	30	-	-	-
10	5.260	19	0.51	0.10	4.3	6	30	35	40	-	-	-
8	8.367	19	0.76	0.13	5.7	10	40	50	55	-	-	-
6	13.30	19	0.76	0.13	6.7	15	55	65	75	-	-	-
4	21.15	19	1.02	0.15	8.5	24	70	85	95	105	125	140
2	33.62	19	1.02	0.15	10.1	36	95	115	130	140	170	190
1	42.41	19	1.27	0.18	11.6	46	110	130	145	165	195	220
1/0	53.48	19	1.27	0.18	12.7	56	125	150	170	195	230	260
2/0	67.43	19	1.27	0.18	13.9	70	145	175	195	225	265	300
3/0	85.01	19	1.27	0.18	15.2	87	165	200	225	260	310	350
4/0	107.2	19	1.27	0.18	16.7	108	195	230	260	300	360	405
250	126.7	37	1.52	0.20	18.5	128	215	255	290	340	405	455
300	152	37	1.52	0.20	19.9	152	240	285	320	375	445	500
350	177.3	37	1.52	0.20	21.3	177	260	310	350	420	505	570
400	202.7	37	1.52	0.20	22.5	201	280	335	380	455	545	615
500	253.4	37	1.52	0.20	24.7	249	320	380	430	515	620	700
600	304.0	61	1.78	0.23	27.3	298	350	420	475	575	690	780
750	380.0	61	1.78	0.23	30	369	400	475	535	655	785	885
1000	506.7	61	1.78	0.23	34	488	455	545	615	780	935	1055

Nota: Las dimensiones y pesos están sujetos a tolerancias de manufactura.
1. Ampacidad.
2. Basada en la tabla 310-15(b) (16) de la NOM-001-SEDE para una temperatura ambiente de 30 °C.
3. Basada en la tabla 310-15(b) (17) de la NOM-001-SEDE para una temperatura ambiente de 30 °C.

En el caso específico de los conductores utilizados para la alimentación individual de cada uno de los motores, se ha seleccionado el conductor de cobre tipo THHN calibre N.º 6 AWG, el cual presenta características técnicas adecuadas para soportar la corriente correspondiente a un motor de 40 HP. Esta elección se fundamenta en su capacidad de conducción térmica y su resistencia eléctrica bajo condiciones normales de operación.

Las especificaciones detalladas de este conductor pueden observarse en la franja de color amarillo de la Tabla 3 - página 30, donde se indican los valores de corriente admisible, tipo de aislamiento, temperatura máxima de operación y demás parámetros eléctricos relevantes para su correcta aplicación en sistemas trifásicos de potencia media. Esta selección permite garantizar la seguridad, eficiencia y durabilidad del

sistema de cableado, reduciendo riesgos de sobrecalentamiento y pérdidas eléctricas en la operación continua de los motores.

Calibre #6 a 90°C 75 Amp

Ampacidad 75 amperios en canalización soterrada.

A continuación, Representación gráfica horaria de la carga en amperios de un día típico variable.

4.5 Valores de carga

Tabla 4

Hora	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Amperios	41.75 A	83.49 A	62.62 A	83.49 A	83.49 A	62.62 A	166.98 A	229.60 A	313.09 A	271.35 A	333.97 A	250.47 A	125.24 A	146.11 A	313.09 A	417.46 A	367.36 A	417.46 A	292.22 A	83.49 A	187.86 A	104.36 A	83.49 A	62.62 A

Fuente: Propia - medidor de corriente SQUARE D PM200

Figura 17



Tabla 4 y figura 17,18 referencia de perfil de corrientes máximas (Imax).

4.6 Curva de carga de los motores

Figura 18



Fuente: propia

4.7 Consumo Energético en referencia al año 2024

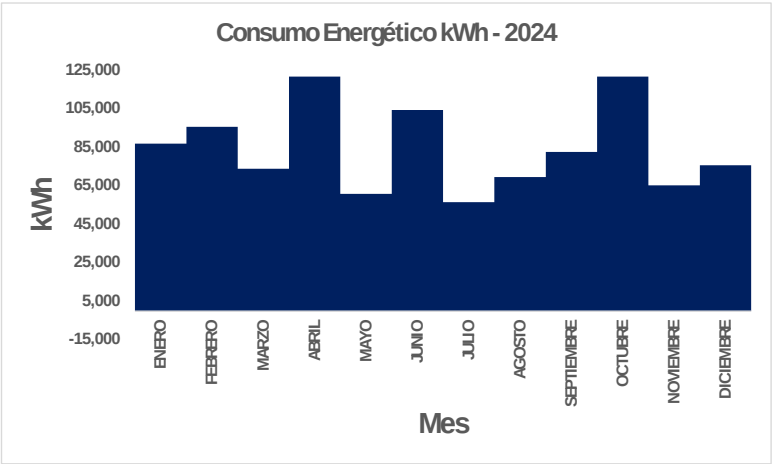
Tabla 5

Consumo de Energía Año 2024	
Mes	kWh
ENERO	87,071
FEBRERO	95,778
MARZO	74,010
ABRIL	121,899
MAYO	60,950
JUNIO	104,485
JULIO	56,596
AGOSTO	69,657
SEPTIEMBRE	82,717
OCTUBRE	121,899
NOVIEMBRE	65,303
DICIEMBRE	75,752
PROMEDIO ENERGIA X MES	84,676 kWh

Fuente: Propia

4.8 Histórico de Consumo de Energía (kWh)

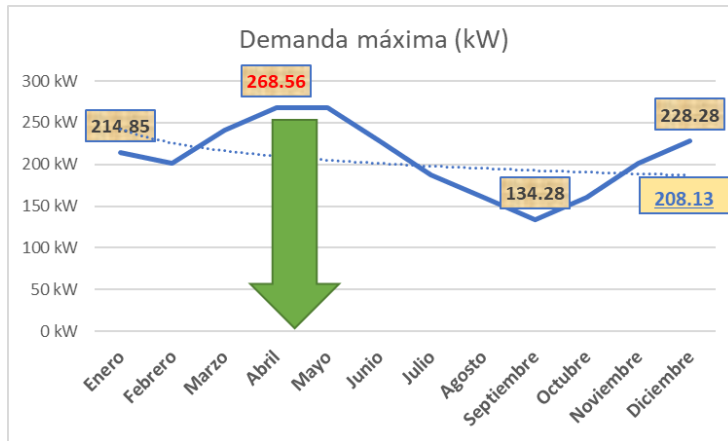
Figura 19



Fuente: Propia

4.9 Grafica demanda máxima en potencia (kW)

Figura 20



Según los datos presentados en la Tabla N.º 5 y la Figura 20, se obtuvo un consumo promedio de energía eléctrica de 84,676 kWh correspondiente al periodo comprendido entre enero y diciembre del año 2024. Asimismo, se registró una demanda promedio mensual de 208.13 kW, cifra que refleja el comportamiento general del sistema eléctrico durante el año.

La empresa EMPREMAR se prevé pueda realizar sus operaciones bajo la tarifa binómica de media tensión T-4D, estructura tarifaria que considera tanto la energía consumida (kWh) como la demanda máxima registrada (kW), lo que hace aún más relevante el análisis de la carga y su distribución entre los distintos equipos instalados.

En este contexto, se ha realizado un estimado del porcentaje de carga eléctrica por operación, tomando como base la demanda de potencia expresada en caballos de fuerza (HP). En dicho análisis se representan todos los equipos de la planta, permitiendo determinar la participación relativa de cada uno en la demanda total del sistema.

Tal como se observa en la Página 34 - Figura 21, los motores eléctricos de los elevadores representan la mayor carga crítica, con un margen del 44% respecto al total de equipos, consolidándose como el grupo de mayor impacto en la demanda eléctrica general de la empresa. Esta información resulta esencial para la toma de decisiones en cuanto a mejoras de eficiencia, automatización y gestión de la demanda.

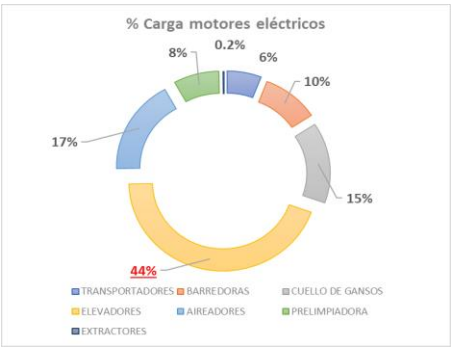
Comentado [INM4]: Esta hoja imprimir de nuevo

4.10 Porcentaje de carga de los motores

Tabla 6

% DE CARGA - MOTORES ELECTRICOS			
EQUIPOS	CANT	POT(HP)	%
TRANSPORTADORES	12	10	6%
BARREDORAS	18	10	10%
CUELLO DE GANSOS	8	15	15%
ELEVADORES	9	40	44%
AIREADORES	54	5	17%
PRELIMPIADORA	1	20	8%
EXTRACTORES	12	0.34	0.2%
TOTAL - HP/%			100%

Figura 21



4.11 Pliego Tarifario

Figura 22



INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ENERGÍA

ENTE REGULADOR

TARIFAS ACTUALIZADAS A ENTRAR EN VIGENCIA EL 1 DE OCTUBRE DE 2024

AUTORIZADAS PARA LAS DISTRIBUIDORAS DISNORTE Y DISSUR

MEDIA TENSION (VOLTAJE PRIMARIO EN 13.8 Y 24.9 kV)					
TIPO DE TARIFA	APLICACIÓN	TARIFA		CARGO POR	
		CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	ENERGÍA (C\$/kWh)	POTENCIA (C\$/kW-mes)
GENERAL MAYOR	Carga contratada mayor de 25 kW para uso general (Establecimientos Comerciales, Oficinas Públicas y Privadas Centro de Salud, Hospitales, etc)	T-2D	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL		
			Todos los kWh	6.3886	
			kW de Demanda Máxima		938.6339
		T-2E	TARIFA BINOMIA CON MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL		
			Verano Punta	10.3991	
			Invierno Punta	10.3991	
			Verano Fuera de Punta	7.1861	
			Invierno Fuera de Punta	7.1861	
			Verano Punta		1,045.1413
			Invierno Punta		1,045.1413
			Verano Fuera de Punta		0.0000
INDUSTRIAL MEDIANA	Carga contratada mayor de 25 y hasta 200 kW para uso Industrial (Talleres, Fábricas, etc.)	T-4D	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL		
			Todos los kWh	5.2843	
			kW de Demanda Máxima		601.6152
		T-4E	TARIFA BINOMIA CON MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL		
			Verano Punta	7.7477	
			Invierno Punta	7.7477	
			Verano Fuera de Punta	5.1503	
			Invierno Fuera de Punta	5.1503	

A partir de los valores establecidos en el pliego tarifario correspondiente a la tarifa T-4D de media tensión, y considerando el consumo energético promedio anual del año 2024, que asciende a 84,676 kWh, se procede a calcular el valor económico estimado de la facturación eléctrica bajo las condiciones actuales de operación.

Los valores unitarios utilizados en el cálculo son los siguientes:

- Precio de la energía = C\$ 5.2843 /kWh
- Precio de la demanda = C\$ 601.6152 /kW

Y el valor económico sería:

- Demanda promedio mensual = 208.13 kW x C\$ 601.6152/kW = C\$ 125,214.17
- Energía promedio mensual = 84,676 kWh x C\$ 5.2843kWh = C\$ 447,453.38
- Total, promedio mensual demanda más energía sería de **C\$ 572,667.55**

Este valor corresponde a las condiciones actuales sin mejora del sistema de potencia y control de los motores de la empresa EMPREMAR.

Este valor representa el costo mensual en promedio del estimado de la factura eléctrica bajo las condiciones actuales de operación del sistema de potencia y control de motores en la empresa EMPREMAR, sin haber implementado aún ninguna mejora tecnológica o medida de eficiencia energética. Esta información servirá como línea base para la evaluación económica de futuras inversiones en automatización y optimización energética.

CAPÍTULO V. Tecnología aplicables a los CCM

Los Centros de Control de Motores Eléctricos (CCM) representan componentes esenciales en entornos industriales y comerciales, donde la gestión segura, eficiente y centralizada de motores eléctricos es prioritaria. Estos centros permiten no solo un control preciso del funcionamiento de los motores, sino también una protección integral de los mismos, contribuyendo de manera significativa a la optimización del rendimiento operativo y la reducción de riesgos eléctricos (Industria, 2025).

Estructura básica de un Centro de Control de Motores (CCM): está constituido por un gabinete metálico compartimentado, dividido en secciones verticales independientes y aisladas entre sí. El recinto de estos gabinetes posee clasificación NEMA o IP, lo que garantiza protección ante contaminantes sólidos y líquidos. En entornos adversos con presencia de polvo o temperaturas elevadas esta característica es crítica para asegurar su funcionamiento continuo.

5.1 Clasificación del CCM

- Baja tensión: controlan motores de 230 V a 1000 V.
- Alta tensión: operan con motores de 1000 V hasta 15 kV.

La distribución de energía se realiza mediante un bus horizontal trifásico principal y un bus vertical para cada compartimento. Las capacidades típicas de los buses

horizontales oscilan entre 600 A y 4000 A, mientras que los buses verticales se clasifican comúnmente entre 600 A y 1500 A. Además, se integran buses de neutro y tierra como parte estándar del diseño.

Cada sección del CCM alberga subcompartimentos destinados a la canalización de cables, alojamiento de equipos de control y distribución de energía.

Aumento de la eficiencia con el uso de los CCM: Los CCM contribuyen a la mejora de la eficiencia operativa mediante la centralización de funciones de control y protección, lo que permite reducir tiempos de mantenimiento y reparación. Esta integración favorece la optimización del espacio físico, al disminuir la cantidad de equipos eléctricos distribuidos en planta.

Mejora de la seguridad con el uso de los CCM: La centralización del sistema en los CCM permite una disminución del número de paneles eléctricos y conductores, reduciendo significativamente el riesgo de fallas eléctricas. Además, incorporan sistemas de protección avanzados, como:

- Protección térmica por sobrecarga.
- Protección contra cortocircuitos.
- Protección contra fallas a tierra.

Estas funcionalidades elevan los estándares de seguridad del sistema eléctrico industrial.

Mayor Confiabilidad con el uso de los CCM: La confiabilidad de los procesos industriales mejora gracias al uso de CCM, ya que minimizan el tiempo de inactividad asociado a fallas en motores eléctricos. Su diseño puede incluir componentes redundantes y sistemas de respaldo, garantizando la continuidad operativa ante eventos no deseados, como cortes de energía o averías en equipos clave (Industria, 2025).

Tecnologías de CCM para baja tensión: Los CCM de baja tensión integran los siguientes componentes básicos:

- Contactor o controlador de estado sólido.
- Relés de sobrecarga.
- Fusibles o interruptores automáticos.
- Interruptores de desconexión.

La energía trifásica es conducida hacia cada controlador mediante conectores separables, y los motores se conectan a través de terminales específicos. Opcionalmente, se pueden incluir:

- Transformadores de control.
- Indicadores luminosos (lámparas piloto).
- Interruptores selectores.
- Bloques de terminales adicionales.
- Relés de sobrecarga (bimetálicos o electrónicos).
- Fusibles y breakers de distintas capacidades.

Por su clasificación, los CCM pueden ser del tipo:

Convencional: Compuesto por secciones verticales compartimentadas, fijadas entre sí, y montadas en el piso. Cada unidad de control cuenta con una puerta individual y puede ser de tipo fija o extraíble.

Inteligente: Emplea dispositivos electrónicos avanzados (PLC, arrancadores suaves, VFD, etc.) con funciones de protección, control, monitoreo y comunicación, integrados mediante redes industriales como Ethernet/IP, Modbus, Profinet, CC-Link, Profibus, entre otras.

5.2 Tipos de arrancadores para motores eléctricos

Arranque directo (Directo en línea): Es el método más básico. Conecta el motor directamente a la línea sin regulación de voltaje inicial.

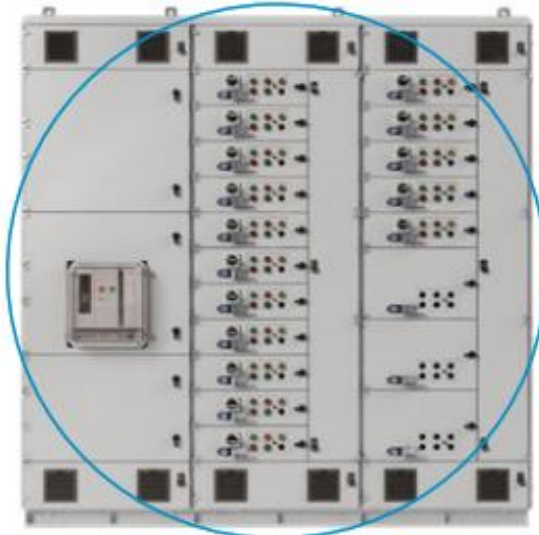
Arrancador suave: Regula gradualmente el voltaje de entrada, lo que permite un arranque y parada controlados, minimizando esfuerzos mecánicos.

Variador de velocidad (VFD): Permite un control preciso de la velocidad y aceleración del motor, adaptando su funcionamiento a los requerimientos de la carga, con importantes beneficios en eficiencia energética y reducción de desgaste mecánico (Industria, 2025).

Referencia tecnológica de la marca WEG de CCM⁸

CCM marca WEG

Figura 23

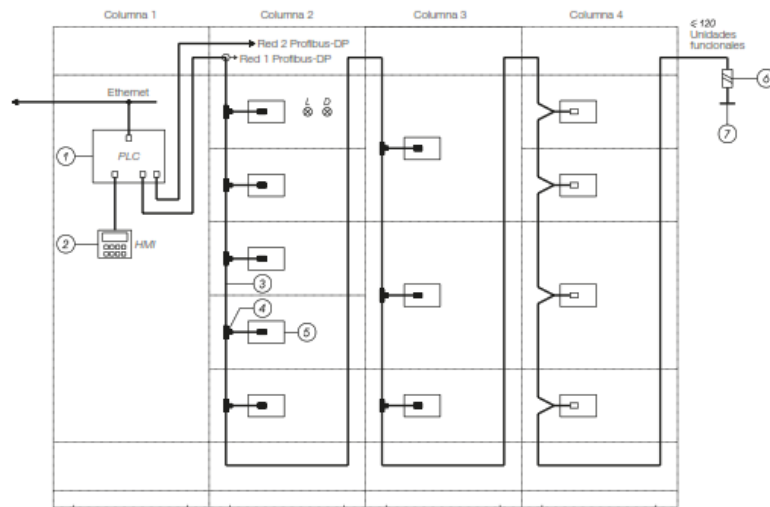


⁸ Fuente: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h43/h8f/WEG-ccm-centros-de-control-de-motores-de-baja-tension-50070397-es.pdf>

5.3 Diagrama de CCM

Figura 24

Ejemplo de CCM Inteligente con Red Profibus



Fuente: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h43/h8f/WEG-ccm-centros-de-control-de-motores-de-baja-tension-50070397-es.pdf>

CAPÍTULO VI. Cálculos de los elementos del centro de control de motores para los silos de los motores y propuesta de rediseño.

En este capítulo se realiza el dimensionamiento de los componentes fundamentales del Centro de Control de Motores (CCM), específicamente: el interruptor termomagnético principal, el contactor y el relé térmico. Estos elementos forman parte integral del gabinete de control y fuerza, el cual debe ser seleccionado conforme a criterios técnicos y normativos que aseguren la confiabilidad, protección y eficiencia operativa del sistema.

6.1 Selección del Interruptor Principal

La elección del interruptor termomagnético principal del CCM se basa en la corriente nominal total simultánea de los nueve motores trifásicos, que corresponde a un

valor de 414 amperios. Siguiendo las recomendaciones técnicas para protección en sistemas de potencia, se utiliza un factor de seguridad de 5 veces la corriente nominal para calcular la capacidad interruptiva del breaker.

$I_{\text{breaker}} = 5 \times I_n = 5 \times 414 \text{ A} = 2070 \text{ A}$ Corriente nominal. ver placa en Página 25 – Figura 15. Según catálogo de fabricante selecciona el valor principal de 2500 A.

Este valor representa la corriente de cortocircuito máxima esperada que el interruptor debe soportar sin sufrir daños estructurales ni pérdida de funcionalidad. De acuerdo con los catálogos técnicos de fabricantes especializados, se selecciona un interruptor principal estándar de capacidad igual o superior, optando por una unidad de 2500 amperios que proporciona un margen de seguridad adicional y cumple con los requisitos normativos de protección.

Esta selección permite proteger eficazmente tanto el alimentador principal como los equipos aguas abajo en el CCM, considerando escenarios de sobrecarga severa o cortocircuito.

6.2 Cálculo de cortocircuito total,

La recopilación de datos técnicos es extraída de placa característica de un motor eléctrico SIEMENS de 40Hp, que se observa en la (página 25). Figura (15)

6.2.1 Corriente por motor

$$kW = 40 \text{ Hp} \times 0.746 \text{ kW} = 29.84 \text{ kW}$$

$$I_{\text{motor}} = \frac{P_N \times 1000}{\sqrt{3} \times V_{LL} \times \text{fp} \times \eta} ; I_{\text{motor}} = \frac{(29.84 \text{ kW} \times 1000)}{(1.73 \times 460 \text{ V} \times 0.86 \times 0.94)} = 46.33 \text{ A}$$

$$I_{\text{total}} = n_{\text{motores}} \times I_{\text{motor}} ; I_{\text{total}} = 9 \times 46.33 \text{ A} = 417 \text{ A}$$

6.2.2 Cálculo de corriente de cortocircuito para 9 motores de 40 Hp

$$I_{cc} = 5 \times I_{total}; I_{cc} = 5 \times 417 \text{ A} = 2084.81 \text{ A}/1000 \approx 2 \text{ kA}$$

6.2.3 Cálculo de corriente de cortocircuito en transformadores (Z=5.5%)⁹

$$I_{base} = \frac{S_{trafo} \times 1000}{\sqrt{3} \times V_{ll}} = I_{base} = \frac{(450 \text{ kVA} \times 1000)}{(1.73 \times 460 \text{ V})} = 565.46 \text{ A}$$

$$I_{cc_{trafo}} = \frac{I_{base}}{\%Z}; I_{cc_{trafo}} = \frac{565.46 \text{ A}}{0.05} = 11,309.2 \text{ A}/1000 \approx 11.3 \text{ kA}$$

6.2.4 Corriente total del circuito en la barra

$$I_{cc_{total}} = I_{cc_{trafo}} + I_{cc_{motores}} = I_{cc_{total}} = 11.3 \text{ kA} + 2 \text{ kA} \approx 13.3 \text{ kA}$$

6.3 Selección de equipos con cargas críticas

Para la selección de los elementos de protección y factores de seguridad eléctricas se consideraron las cargas críticas de La empresa EMPREMAR destacando los 9 motores para los elevadores dentro del el sistema de control y fuerza para ello se requiere de un Centro de Control para motores o CCM, con barras principales de 2500 amperios.

⁹ <https://studylib.net/doc/27342480/ieee-c57.12.34-2022-reqs.-for-3-phase-distribution-transf...?utm>

6.4 Selección de elementos de protección, arranque y control

Para el cálculo de la capacidad interruptiva se desarrolla un cortocircuito trifásico en la barra de conexión de los motores y se obtiene una corriente de cortocircuito total (Icc total) 13.3 kA, para ello se seleccionó un interruptor principal trifásico a 2500 A y 65 kA¹⁰

Figura 25



Easypact de interruptor MVS 2500 A
65 kA 220-440 V 3 P Fijo - manual

MVS25H3MF2L

Principal	
Gama	EasyPact (E ²)
Nombre del Producto	MVS25HA
Nombre Corto del Dispositivo	MVS25H
Tipo de Producto o Componente	Interruptor automático
Aplicación del Dispositivo	Distribución Eléctrica Residencial y Comercial
Número de Polos	3P
descripción de polos protegidos	3ø
corriente nominal (In)	2500 A en 40 °C
tipo de red	AC
[Ue] tensión asignada de empleo	690 V AC 50/60 Hz acorde a IEC 60947-2
código de poder de corte	H
apto para seccionamiento	Si acorde a IEC 60947-2
categoría de empleo	B
unidad de control	ETSS
tecnología de unidad de disparo	Electrónico
calibre de la unidad de disparo	2500 A

Para cada uno de los motores el interruptor termomagnético estará basado en su corriente de arranque de (6.3 veces I arranque) según catalogo SIEMENS¹¹ = 289.8 Amperios, en este caso se seleccionó el valor comercial de 300 A hasta 800A con capacidad interruptiva de 18kA. Ver (Figura 25).

¹⁰ https://electric-house.com/en/schneider-acb-breaker-easypact-mvs-2500a-50ka-3p-fixed-electrical-cb-et5s.html?srsltid=AfmBOoqjkC15Yy8_txXV1ssdyIJ4G7anfAHx4togqpOzakBM8_kgI2H

¹¹ <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:782b04d0-82f4-488a-936b-514cd8bb5d5f/version:1677056836/artempresioncatalogosimotics.pdf>

Figura 26

Ficha técnica del producto

Especificaciones



Interrupor electrónico PowerPacT M, de 300A a 800A, 3 polos, 18kA a 600V, I-Line

MSA3600E10

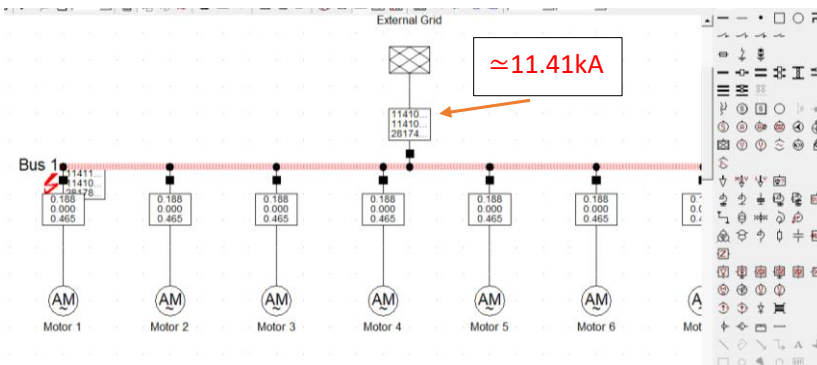
Principal

gama	PowerPacT
nombre del producto	PowerPacT M
tipo de producto o componente	Interrupor automático
aplicación del dispositivo	Distribución

6.5 Cálculo de cortocircuito basados en software DigSILENT PowerFactory

Comentado [INM5]: Esta hoja imprimir de nuevo

Figura 27



Fuente: Propia.

Hay que tomar en cuenta la corriente de cada interruptor por motor seleccionamos para cada motor un contactor de 65 A, tipo AC-3, 60 Hz. En el caso del relé térmico seleccionamos un relé térmico clase 10, considerando la corriente nominal de cada motor que es de 46 amperios.¹² Observe Página 45 – Figura 28

¹² https://www.se.com/cl/es/product/download-pdf/LRD3357?filename=Schneider+Electric_Rel%25C3%25A9s-de-Sobrecarga-T%25C3%25A9rmica-TeSys-Deca_LRD3357.pdf

Figura 28



Contactor TeSys D 3P AC-3 440V
65A Bobina 220 VAC

LC1D65AM7



Relé de Sobrecarga Térmica TeSys
LRD 37-50A Clase 10A

LRD3357

Principal

Gama	TeSys TeSys Deca
Gama de producto	TeSys Deca
Tipo de Producto o Componente	Conector
Nombre Corto del Dispositivo	LC1D
aplicación del contactor	Control del motor Carga resistiva
Categoría de empleo	AC-4 AC-1 AC-3 AC-3a
Número de Poles	3P
[Ue] tensión asignada de empleo	Circuito de alimentación, estado 1 <= 690 V CA 2S, 400 Hz Circuito de alimentación, estado 1 <= 300 V DC
[Ie] corriente asignada de empleo	80 A (at <= 60 °C) at <= 440 V CA AC-1 for circuito de alimentación 65 A (at <= 60 °C) at <= 440 V CA AC-3 for circuito de alimentación 65 A (at <= 60 °C) at <= 440 V CA AC-3a for circuito de alimentación
Tensión del circuito de control [Uc]	220 V CA 50/60 Hz

Principal

Gama	TeSys
Nombre del Producto	TeSys LRD TeSys Deca
Tipo de Producto o Componente	Reles de sobrecarga térmica diferencial
Nombre Corto del Dispositivo	LRD
aplicación del relé	Protección del motor
Compatibilidad Del Producto	LC1D95 LC1D80
Tipo De Red	CC AC
clase de disparo por sobrecarga	Clase 10A conforme a IEC 60947-4-1
rango de ajustes de protección térmica	37...50 A

Todos estos elementos son integrados en el centro de control de motores, junto con el variador de velocidad para cada motor, el cual se selecciona bajo los siguientes criterios:

6.6 Especificaciones del Gabinete CCM

El gabinete del Centro de Control de Motores será del tipo autosoportado, con protección NEMA 1, equivalente al grado de protección IP30 según norma IEC, adecuado para ambientes interiores con presencia limitada de polvo. Estará fabricado en lámina cold rolled de calibre 14, debidamente pintada con acabado en color gris industrial, y tendrá una altura estándar de 230 cm.

6.6.1 Configuración de las Celdillas

Cada celdilla del CCM estará dispuesta en un solo frente fijo, permitiendo una fácil operación, mantenimiento y seguridad. En la puerta del ducto frontal estarán ubicados los bornes de conexión, donde se realizará la interconexión de todos los componentes de fuerza y control. Además, el diseño contempla dos espacios de reserva para futuras ampliaciones del sistema.

6.6.2 Sistema de Barraje

El sistema de barras (barraje) será vertical, construido en cobre electrolítico de alta pureza, montado sobre soportes de resina epóxica, con una capacidad de soportar cortocircuitos de hasta 25 kA. El sistema contará con aislamiento a tierra de hasta 3000 V (AC) y una capacidad nominal de 2500 A, adecuada para la carga simultánea de los nueve motores. La columna dispondrá además de una barra inferior de tierra, donde se conectarán todos los conductores de tierra de los equipos instalados.

6.7 Integración del Variador de velocidad

Cada motor del sistema será controlado mediante un variador de velocidad (VFD), también montado dentro del CCM. Los variadores se seleccionaron bajo las siguientes especificaciones técnicas:

- Voltaje nominal: 460 VCA
- Potencia: 50 HP
- Corriente mínima de operación: 74.5 A
- Velocidad máxima ajustable: 1800 rpm
- Tipo de carga: Constante (ideal para cintas transportadoras y elevadores)
- Protocolo de control: Señal analógica de 4-20 mA y digital 0-10 V que puede ser controlada mediante PLC

La integración de estos variadores no solo permite un arranque y parada suave de los motores, sino que optimiza el consumo energético y reduce el desgaste mecánico de los componentes, contribuyendo a una operación más eficiente y segura del sistema de transporte y elevación.

6.8 Referencia de variador de velocidad marca Schneider electric¹³

Figura 29



variable speed drive, Altivar Process
ATV600, ATV650, 37kW, 50hp, 380,
480V, IP55, UL type12, disconnect
switch

ATV650D37N4EU

**8.577,80 dólares
estadounidenses**

Comprar en línea

¹³ <https://www.se.com/us/en/product/ATV650D37N4EU/variable-speed-drive-altivar-process-atv600-atv650-37kw-50hp-380-480v-ip55-ul-type12-disconnect-switch/>

Referencia de variador de velocidad integrado en el CCM¹⁴

Figura 30

Main	
Range of Product	Altivar Process ATV600
Product Specific Application	Process and utilities
Product or Component Type	Variable speed drive
Variant	With disconnect switch
Device short name	ATV650
Mounting Mode	Wall mount
Communication Port Protocol	Modbus TCP Modbus serial Modbus serial
[Us] rated supply voltage	380...480 V - 15...10 %
[Us] rated supply voltage	380...480 V
Relative symmetric mains voltage tolerance	10 %
Relative symmetric network frequency tolerance	5 %
nominal output current	74.5 A
IP degree of protection	IP55
Prospective line Isc	50 kA
Base load current at high overload	61.5 A
Base load current at low overload	74.5 A

¹⁴ <https://www.se.com/us/en/product/ATV650D37N4EU/variable-speed-drive-altivar-process-atv600-atv650-37kw-50hp-380-480v-ip55-ul-type12-disconnect-switch/>

6.11 Protección contra corrientes transitorias a 40kA, instalado en circuito general

MODELO: SF-40-480D-SE 480VAC, 3PH, 3W+G

Figura 33

MCG Surge

MODEL: SE Series, SF-40

200kA/phase model

The new SE series provides high current, industrial grade protection in a rugged, yet compact powder coated, steel enclosure. This ultra small series comes standard with the latest thermally protected protection components which are able to divert high repetitive surge currents. All components are monitored by a comprehensive LED status display. This line is compliant to stringent international surge testing standards. Comes with our 20-year "No Nonsense" warranty.

Standout Feature: Compact with thermally-protected MOVs and extensive LED monitoring

Features:

- High repetitive surge current capacity
- Redundant - multiple fused surge paths per phase/line
- IEEE CAT C/B/A all built into one unit
- Thermally-protected, high capacity varistors with individual status monitoring
- 10 gauge, 1m leads are standard
- Space saving, powder coated steel enclosure
- LED status display

Options:

- Relay for remote monitoring
- Comprehensive LED display
- DIN rail mount



peak = 200kA per phase

IEC-61643-11
Type 2 Tested & 10/350 Tested

20-Year Warranty

MIL STD 220a (50 Ohm)	120VAC	220VAC	240VAC	277VAC	347VAC	480VAC
-30db	25kHz	25kHz	25kHz	50kHz	50kHz	50kHz
-40db	125kHz	180kHz	180kHz	100kHz	100kHz	100kHz
-50db	210kHz	210kHz	210kHz	180kHz	170kHz	170kHz
-60db	250kHz	250kHz	250kHz	200kHz	190kHz	190kHz

Made in the
USA

CE

6.12 Certificación de Red de Tierra y Sistema de Pararrayos para Protecciones Atmosféricas en Silos EMPREMAR

Este documento presenta los resultados correspondientes a la certificación del sistema de puesta a tierra y protección contra descargas atmosféricas (pararrayos) en los silos EMPREMAR No. 17 y No. 18. La información fue obtenida a partir de las últimas mediciones realizadas en el año 2023, conforme a los protocolos establecidos por normativas internacionales.

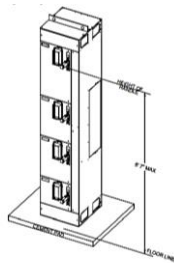
De acuerdo con los registros técnicos referenciados en los Anexos Página 70 y 71, se determinó que los valores de resistencia de tierra física se encuentran por debajo de 0.4 ohmios, cifra considerablemente inferior al límite máximo de 5 ohmios establecido por la NFPA 70 (Código Eléctrico Nacional - NEC) y la IEEE 142 (Green Book), los cuales regulan los requisitos mínimos para sistemas de puesta a tierra en instalaciones industriales.

Comentado [INM6]: Esta hoja imprimir de nuevo

El cumplimiento de estos parámetros confirma que el sistema de tierra física instalado en los silos mencionados proporciona una ruta efectiva y segura para la disipación de corrientes de falla y descargas eléctricas de origen atmosférico, garantizando la protección de personas, equipos e infraestructura crítica. Asimismo, la instalación del sistema de pararrayos cumple con los estándares técnicos necesarios para asegurar una cobertura adecuada frente a eventos eléctricos transitorios externos.

6.13 Dimensiones del CCM

Figura 34

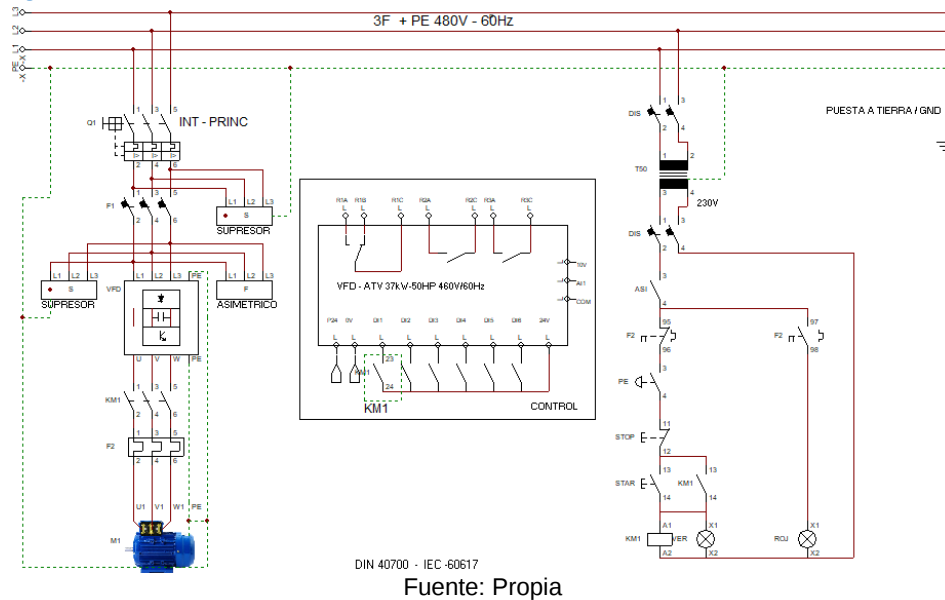


¹⁷En el presente documento, se observa el esquema de cableado de fuerza y control de cada motor, utilizando un variador de velocidad (Esquema realizado con el Software CADE SIMU V4.2) ver Página 52- Figura 35

¹⁷ Fuente: <https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/2100-in012-es-p.pdf>

6.14 Diagrama simulado con CADE SIMU V4.2

Figura 35



CAPÍTULO VII. Cálculo del Ahorro Energético y Análisis Financiero del Rediseño del Sistema de Control de motores-EMPREMAR

7.1 Uso dinámico del variador de velocidad

- Ahorro Energético mediante el Uso de Variadores de Velocidad en los Sistemas de Carga y Despacho de silos de Maíz
- El ahorro energético generado por la implementación de Variadores de Velocidad (VFD) en los sistemas de carga y despacho de silos de maíz se basa principalmente en la regulación eficiente de la velocidad de los motores eléctricos que accionan transportadores, sinfines, elevadores, compuertas y ventiladores.
- Un variador de velocidad controla tanto la frecuencia como el voltaje suministrado al motor, permitiendo ajustar su velocidad de giro de acuerdo con la demanda real del proceso, en lugar de operar constantemente a máxima velocidad. Esto resulta especialmente beneficioso cuando el silo no requiere operar a plena capacidad,

como en casos de carga o descarga parcial, ya que el motor puede funcionar a velocidades reducidas, generando una disminución significativa en el consumo eléctrico.

- Para el caso estudiado, se considera una reducción mínima del 30% en la regulación de velocidad, equivalente a operar a una frecuencia de aproximadamente 42 Hz. Esta operación está permitida por el sistema de ventilación forzada del motor, que evita el sobrecalentamiento durante la operación a velocidades reducidas.

7.2 Eficiencia energética

Los variadores de frecuencia ajustan eficazmente velocidad y potencia del motor según la demanda, lo que genera ahorros energéticos de entre 20 % y 70 %, especialmente en bombas, elevadores o ventiladores. Los beneficios están respaldados por firmas como ABB y estudios académicos y de casos reales en diversos sectores.¹⁸

El cálculo del ahorro energético del rediseño del sistema de potencia y control de los motores de los silos de la empresa EMPREMAR se fundamenta en la diferencia entre la potencia de entrada a plena carga del motor y la potencia requerida con el uso del variador de frecuencia. La potencia mecánica de salida de cada motor es de 40 HP (29.84 kW) a 60 Hz, con una eficiencia nominal¹⁹ del 94.1%, por lo que la potencia de entrada a plena carga se calcula como:

$Pe = Ps/h$	(10)
-------------	-------------

$$Pe = (29.84 \text{ kW})/0.941 = 31.71 \text{ kW}$$

Con la aplicación del variador de frecuencia esta potencia de entrada se estima una reducción mínima en un 30%, es decir la potencia de entrada sería:

$PeVDF = 30\%Pe$	(11)
------------------	-------------

¹⁸ <https://new.abb.com/drives/es/eficiencia-energetica?utm>

¹⁹ <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:782b04d0-82f4-488a-936b-514cd8bb5d5f/version:1677056836/artemipresioncatalogosimotics.pdf>

$$PeVFD = 0.7 \times 31.71 \text{ kW} = 22.20 \text{ kW}$$

Comentado [INM7]: Esta hoja imprimir de nuevo

Entonces el ahorro de energía será de:

$$\Delta \text{Ahorro} = 31.71 \text{ kW} - 22.20 \text{ kW} = 9.51 \text{ kW Por cada motor}$$

Esto implica una reducción equivalente en la demanda de potencia y en el consumo energético mensual. Tomando como referencia el consumo energético promedio actual de 84,676 kWh/mes, el consumo estimado con variadores de velocidad sería: obtenido en la Página 32 - tabla 5,

7.3 Cálculo con rediseño

- Energía actual sin rediseño = 84,676 kWh/mes

El nuevo valor con variador de velocidad se estima:

- Energía promedio con variador = $0.7 \times 84,676 \text{ kWh/mes} = 59,273 \text{ kWh/mes}$
- Demanda promedio con variador = $0.7 \times 208.13 \text{ kW} = 145.69 \text{ kW/mes}$

El monto monetario de los nuevos valores de consumo energético con el rediseño sería:

- Demanda = $145.69 \text{ kW} \times \text{C\$ } 601.6152/\text{kW} = \text{C\$ } 87,649.32$
- Energía = $59,273 \text{ kWh} \times \text{C\$ } 5.2843/\text{kWh} = \text{C\$ } 313,216.31$
- Total, mensual demanda más energía sería de **C\$ 400,865.63**

Estos valores están asociados a la tarifa Industrial menor binómica T4-D.

Comparado con el costo mensual actual sin rediseño de C\$ 572,667.55, la implementación del variador de velocidad representa un ahorro mensual de:

$$\text{Ahorro mensual} = (\text{Sin VFD, } \underline{\text{C\$ } 572,667.55}) - (\text{Con VFD, } \underline{\text{C\$ } 400,865.63}) \approx \text{C\$ } 171,801.92$$

7.4 Análisis ahorro promedio anual proyectado

Ahorro promedio anual = $\text{C\$ } 171,801.92 \times 12 \approx \text{C\$ } 2,049,623.04$ que con una tasa de cambio por dólar de 36.62 C\$/dólar, equivalen a: **$\approx \$ 55,970.04$**

7.5 Observación al estudio

"El análisis de demanda ha sido desarrollado considerando exclusivamente los motores eléctricos de los elevadores, en atención a su carácter de cargas críticas. Para llevar a cabo un estudio integral de todas las cargas del sistema, es necesario evaluar el régimen de arranque de cada equipo de forma individual y aplicar las correcciones correspondientes según su nivel crítico"

7.6 Evaluación Financiera

La evaluación financiera de la presente investigación contempla los siguientes costos e inversiones asociados al proyecto de implementación y rediseño del Centro de Control de Motores (CCM) y variadores de velocidad:

- a. Costos de inversión del CCM (Gabinete): Incluye la adquisición del gabinete metálico, buses de cobre, dispositivos de control y protección integrados.
- b. Costos materiales para cableado: Considera los materiales eléctricos necesarios para la conexión y distribución de energía y control dentro del sistema.
- c. Costos de las protecciones: Engloba la compra de interruptores termomagnéticos, contactores, relés térmicos, fusibles y demás elementos de protección eléctrica.
- d. Costos de mano de obra: Corresponde a la instalación del CCM, cableado, instalación del variador de velocidad, así como la implementación de protecciones eléctricas.
- e. Costos de inversión del variador de velocidad: Incluye el equipo variador de frecuencia, junto con sus accesorios y dispositivos asociados.
- f. Cálculo del Valor Actual Neto (VAN): El VAN es un indicador financiero que mide la rentabilidad de una inversión, trayendo al valor presente los flujos de caja futuros esperados, descontados a una tasa que refleje el costo de capital o tasa

mínima atractiva de rendimiento. La fórmula para calcular el VAN es la siguiente (ECONOMIPEDIA, 2024):

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \tag{12}$$

Un VAN positivo indica que la inversión generará ganancias superiores a la tasa mínima requerida, siendo financieramente viable.

Donde:

F_t son los flujos de dinero en cada periodo t

I_0 es la inversión realiza en el momento inicial ($t = 0$)

n es el número de periodos de tiempo

k es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión, para este caso un 12% anual

7.7Flujo neto

Que lo conforman los incisos: a, b, c, d, e y f de la evaluación financiera, en este caso tomamos como referencia:

Centro de Control de Motores

Figura 37

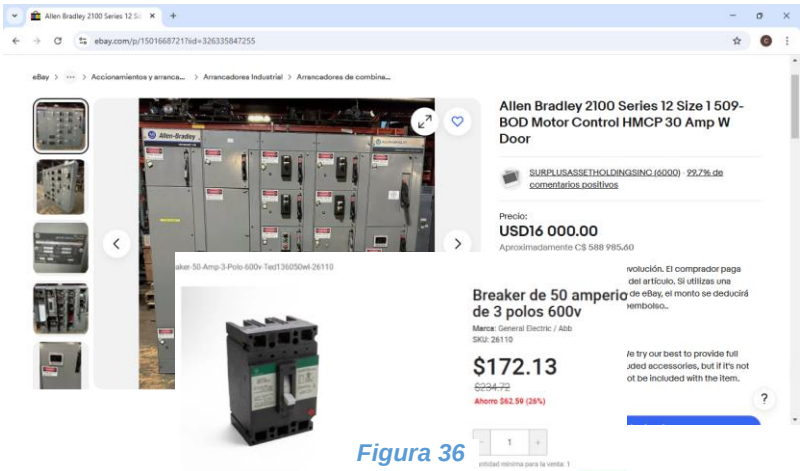


Figura 36

Figura 38

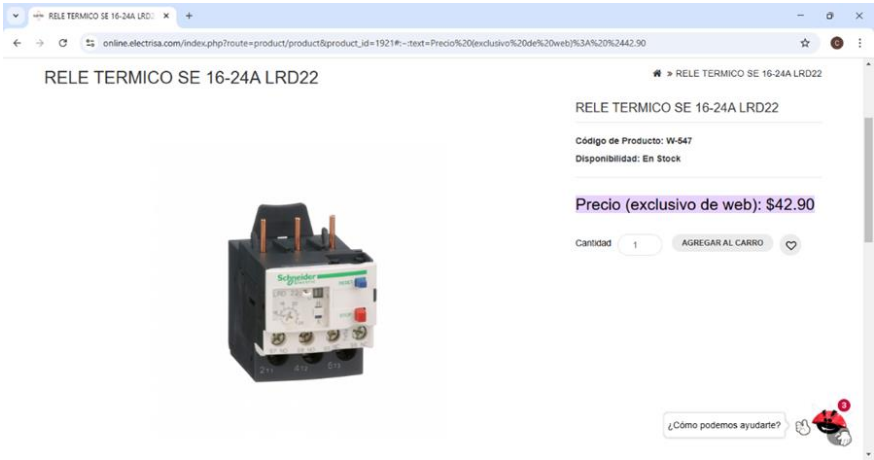
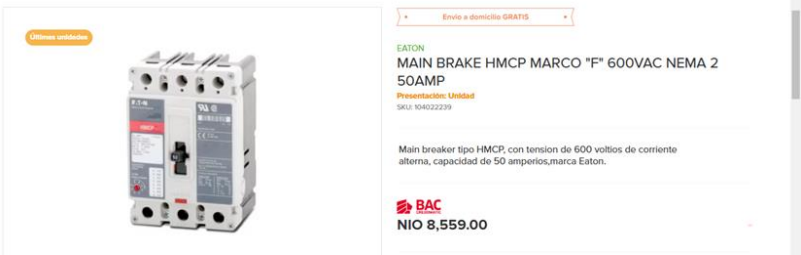


Figura 39



7.8 Precio de cada elemento de protección y control

- Variador de velocidad de cada motor \$8,577.80
- Total, para los 9 motores = \$ 77,200.20
- Contactor, precio para cada motor \$899.12
- Para los 9 motores = \$ 8,092.08
- Costo de cada relé térmico \$ 42.9
- Para los 9 motores \$ 386.10
- Protector de voltaje = \$ 321.51
- para 9 motores = \$ 2,893.66
- Supresor de picos = \$ 361.25
- para 9 motores = \$ 3251.25
- Supresor de picos principal = \$ 548.62
- Para el Centro de Control de Motores \$ 16,000.00
- Costo del interruptor termomagnético principal = \$ 2,605.00
- Costo de cada interruptor termomagnético por motor \$ 172.13
- Total, para los 9 motores = \$ 1,549.17

Para tener referencia de cómo se calcula la tasa de descuento a partir de la tasa de interés anual fijada por el banco central, que es del 10.43 % vigente al mes de mayo de 2025, en este caso particular se consideró el 12%.

En la siguiente tabla se muestra el resumen de los costos de inversión del rediseño:

7.9 Resumen Costos de Inversión

Tabla 7

PRESUPUESTO ARRANQUE DE LOS NUEVE MOTORES				
ITEM	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO US	CANTIDAD	PRECIO TOTAL US
1	VARIADOR DE VELOCIDAD	\$ 8,577.80	9	\$ 77,200.20
2	CONTACTOR P/MOTOR	\$ 899.12	9	\$ 8,092.08
3	RELE TERMICO P/MOTOR	\$ 42.90	9	\$ 386.10
4	PROTECTOR DE VOLTAJE P/MOTOR	\$ 321.51	9	\$ 2,893.59
5	SUPRESOR DE PICOS P/MOTOR	\$ 361.25	9	\$ 3,251.25
6	SUPRESOR DE PICO PRINCIPAL	\$ 548.62	1	\$ 548.62
7	CENTRO DE CONTROL DE MOTORES	\$ 16,000.00	1	\$ 16,000.00
8	INTERRUPTOR PRINCIPAL	\$ 2,605.00	1	\$ 2,605.00
9	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO P/CADA MOTO	\$ 172.13	9	\$ 1,549.17
10	MANO DE OBRA PUESTA EN MARCHA	\$ 11,400.00	1	\$ 11,400.00
11	CABLEADO + ELEMENTOS DE CONTROL	\$ 7,300.00	1	\$ 7,300.00
TOTAL INVERSIÓN US				\$ 131,226.01

Fuente: Propia

Y finalmente detallamos el flujo neto del rediseño:

7.10 Flujo neto del rediseño

Tabla 8

FLUJO NETO											
DESCRIPCION	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
INVERSIÓN	\$ -131,226.01										
COSTOS DE O Y M	-	\$ 6,561.30	\$ 6,561.30	\$ 6,561.30	\$ 6,561.30	\$ 6,561.30	\$ 6,561.30	\$ 6,561.30	\$ 6,561.30	\$ 6,561.30	\$ 6,561.30
AHORRO DE ENERGIA	-	\$55,970.04	\$55,970.04	\$55,970.04	\$55,970.04	\$55,970.04	\$55,970.04	\$55,970.04	\$55,970.04	\$55,970.04	\$55,970.04
FLUJO NETO	\$ -131,226.01	\$49,408.74	\$49,408.74	\$49,408.74	\$49,408.74	\$49,408.74	\$49,408.74	\$49,408.74	\$49,408.74	\$49,408.74	\$49,408.74
TASA DE DESCUENTO (i)	12%										
i+1=	-	112%	112%	112%	112%	112%	112%	112%	112%	112%	112%
(i+1) ⁿ =	1.12	1.2544	1.4049	1.5735	1.7623	1.9738	2.2107	2.4760	2.7731	3.1058	
ANUALIDADES	\$ -131,226.01	\$44,114.95	\$39,388.34	\$35,168.16	\$31,400.15	\$28,035.85	\$25,032.01	\$22,350.00	\$19,955.36	\$17,817.29	\$15,908.29
VAN=	\$ 147,944.39										
TIR	21%										

Se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) positivo de \$147,944.39 dólares y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 21%, lo que indica que el proyecto de rediseño del sistema de control y potencia de los motores es financieramente viable y rentable. Estos resultados reflejan que los beneficios económicos generados principalmente por el ahorro energético, superan los costos de inversión y hacen atractiva su implementación desde el punto de vista económico.

Conclusiones y Recomendaciones.

Conclusiones

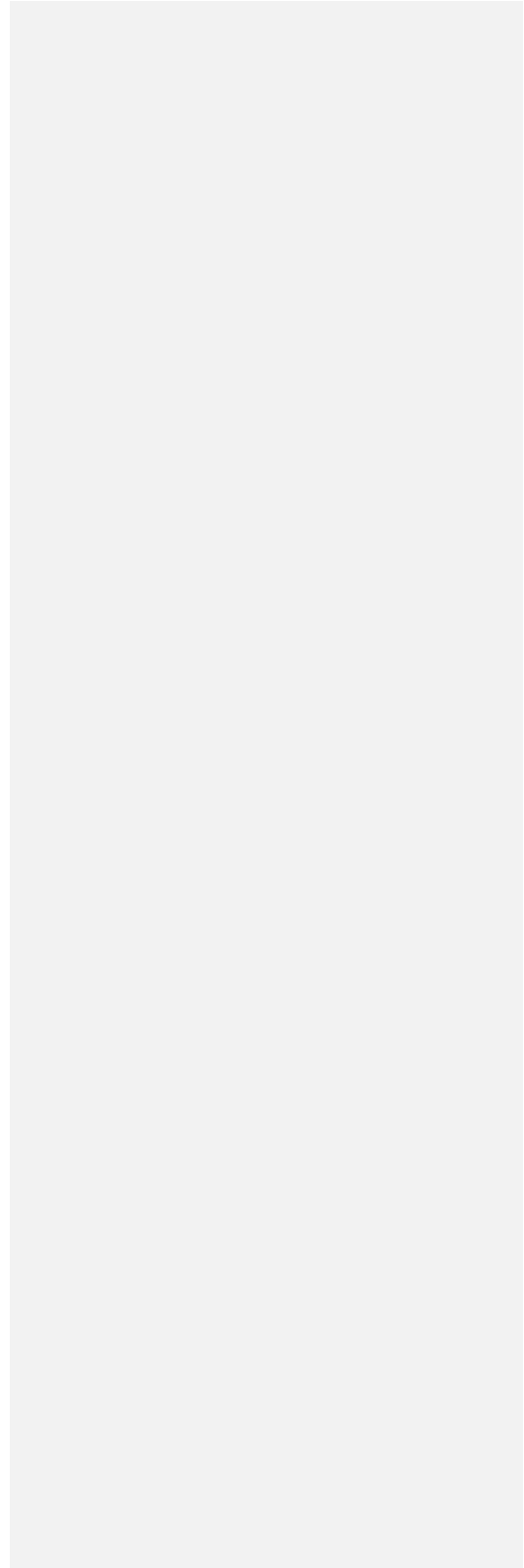
- Con el rediseño del circuito de potencia y control para el arranque y operación de los motores eléctricos de la empresa EMPREMAR, la implementación de variadores de velocidad permitió una reducción significativa en el consumo de energía. Esta mejora representa un ahorro económico importante, lo cual contribuye a la competitividad de la empresa al disminuir sus costos operativos.
- El rediseño también incrementó la confiabilidad del sistema eléctrico ante posibles fallas, especialmente en los motores de los silos, ya que los equipos fueron seleccionados y dimensionados con base en las condiciones reales de operación, garantizando un funcionamiento seguro y eficiente.
- Tras el análisis de los parámetros eléctricos en condiciones reales, se seleccionaron equipos y sistemas de protección con altos estándares de confiabilidad, asegurando una operación continua y segura del sistema.
- El estudio evalúa diversas tecnologías de eficiencia energética aplicables al arranque de motores eléctricos, seleccionando aquellas que ofrecían el mayor rendimiento y beneficio económico para la empresa, al reducir significativamente el consumo eléctrico mensual.
- El análisis técnico-operativo permitió establecer una propuesta de rediseño adaptada a las necesidades específicas de EMPREMAR, orientada a optimizar el sistema de potencia y control de los motores, y a mejorar la eficiencia en el proceso de producción de maíz.
- Según los cálculos realizados, la aplicación de variadores de velocidad genera un ahorro energético mensual mínimo del 30%. Además, la evaluación financiera del proyecto arrojó un Valor Actual Neto (VAN) positivo de \$147,944.39 dólares y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 21%, lo que demuestra la viabilidad técnica y económica del rediseño propuesto.

Recomendaciones

- Es fundamental que la empresa EMPREMAR inicie de manera prioritaria la evaluación e implementación de una segunda fase de mejora: la transición hacia un sistema de suministro energético basado en fuentes renovables para todas sus instalaciones. Esta medida no debe verse como una opción a largo plazo, sino como una necesidad estratégica inmediata. La adopción de energía renovable no solo permitirá reducir aún más los costos operativos y la dependencia de fuentes tradicionales, sino que también alineará a la empresa con las tendencias globales en responsabilidad ambiental, cumplimiento normativo y sostenibilidad empresarial.
- Las empresas industriales pequeñas y medianas en Nicaragua es necesario realicen una evaluación técnica exhaustiva de las condiciones actuales de sus sistemas eléctricos, en especial aquellos que involucran arranque y operación de motores eléctricos. Esta revisión debe estar orientada a verificar que los sistemas de potencia y control cuenten con equipos modernos, eficientes y con tecnología de ahorro energético comprobada. La falta de esta evaluación pone en riesgo la eficiencia operativa, incrementa los costos energéticos y limita la competitividad en un entorno cada vez más exigente en términos de sostenibilidad y eficiencia.

Bibliografía

- 1 ACURA. (2023). Obtenido de <https://grupoacura.com/es/blog/que-es-un-silo/>
- 2 Bookedition. (s.f.). Obtenido de <https://books.openedition.org/cemca/9042>
- 3 CARACTERISTICA. (2024). Obtenido de <https://unacaracteristica.com/diagramas-de-control-y-fuerza>
- 4 CGN. (2024). Obtenido de <https://www.gcnmecanizaciones.com.mx/silos-de-almacenamiento>
- 5 ECONOMIPEDIA. (2024). Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>
- 6 Electric, S. (2024). Obtenido de <https://www.se.com/es/es/faqs/FA406721/>
- 7 Gutiérrez, E. (2000). Obtenido de <https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/1d6e11f4-a951-4f59-8c7b-445a8ea9e447/content>
- 8 Hat, R. (2024). Obtenido de <https://www.redhat.com/es/topics/automation#:~:text=La%20automatizaci%C3%B3n%20consiste%20en%20usar,lleven%20a%20cabo%20tareas%20repetitivas.>
- 9 Hernandez Sampieri, R. (s.f.). *Metodología de la Investigación* (6ta Edición ed.). Mc Graw Hill.
- 10 History, W. (2024). Obtenido de <https://www.worldhistory.org/trans/es/2-9/la-agricultura-en-el-creciente-fertil-y-mesopotami/>
- 11 Industria, T. p. (2025). Obtenido de <https://tecnologiaparalaindustria.com/explorando-los-centros-de-control-de-motores-electricos-tipos-aplicaciones-y-ejemplos/>
- 12 MOTORBA. (2023). Obtenido de <https://motorba.com.ar/circuito-de-mando-y-potencia-de-un-motor-trifasico/>
- 13 RISOUL. (2025). Obtenido de <https://www.risoul.com.mx/blog/que-es-un-ccm-y-por-que-deberias-de-adquirir-uno#:~:text=Un%20Centro%20de%20Control%20de%20Motores%20es%20un%20tablero%20que,en%20un%20solo%20tablero%20general.>



ANEXO

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UN CCM

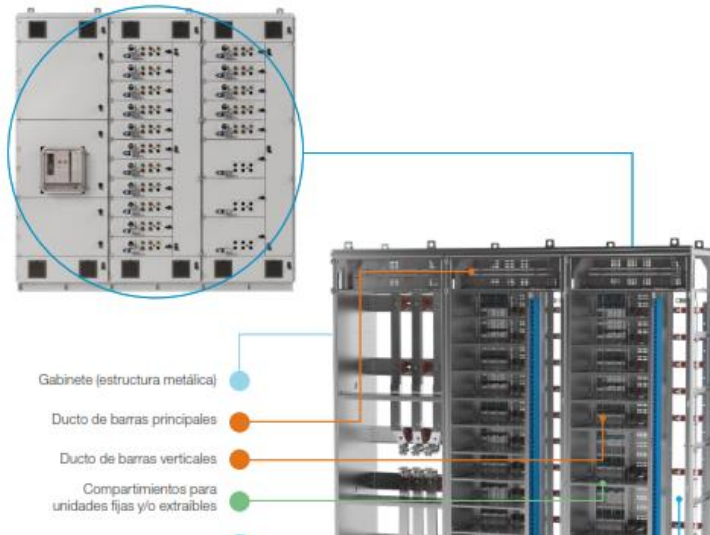
Con tecnología totalmente desarrollada por su cuerpo técnico, los Cuadros Eléctricos WEG son proyectados por ingenieros y técnicos continuamente involucrados en investigación, desarrollo y concepción de nuevos productos con la más moderna tecnología, ofreciendo a los clientes productos con alto grado de fiabilidad, eficiencia y durabilidad. Dentro de esa estructura particular, aliados a la capacidad y experiencia de su equipo técnico, y contando con modernos conceptos y herramientas de informática del mercado, los Cuadros Eléctricos WEG son desarrollados para los más diversos sectores del mercado, cumpliendo elevados requisitos de calidad y performance con alto índice de estandarización.



Características Constructivas

Los CCMs WEG cumplen las normas IEC 61439-1, VDE 0660 P-5 y están disponibles en las formas constructivas de separación interna 3b y 4b, siendo proyectados para operar a una temperatura ambiente de 40 °C (limitado a un promedio de 35 °C en 24 horas) y mínima de -5 °C, con una elevación de temperatura de acuerdo con la tabla 10 de la IEC 61439-1 hasta una altitud máxima de 2.000 msnm (para altitudes de instalación superiores a 2.000 m, bajo consulta).

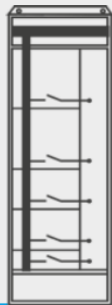
Los CCMs WEG presentan una forma constructiva de acuerdo con las partes presentadas en las figuras a continuación, garantizando un alto grado de seguridad y fiabilidad para el operador y para las instalaciones.



La forma de separación interna de los conjuntos debe ser según el acuerdo entre el fabricante y el cliente final. Para la línea de CCMs WEG las opciones disponibles son 3b y 4b.

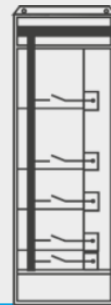
Forma 3b

Los terminales de conexión deben estar separados de las barras y de las unidades funcionales.



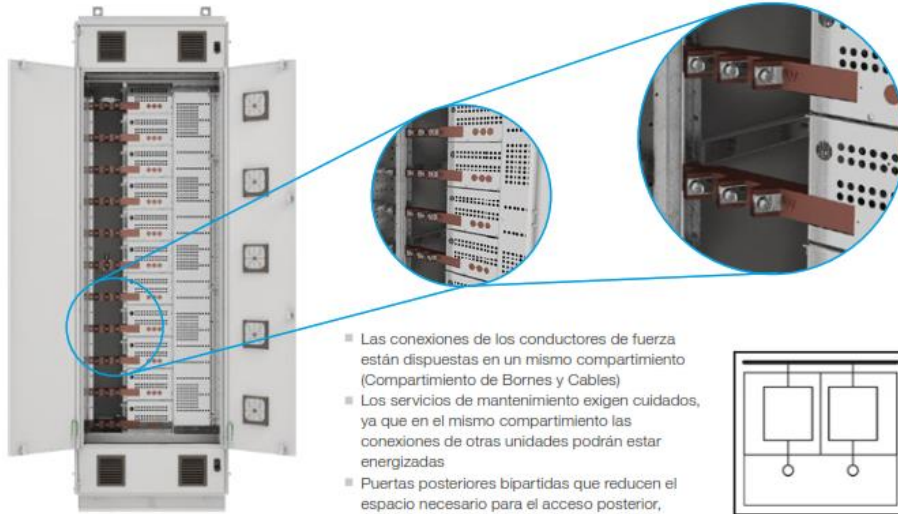
Forma 4b

Los terminales de conexión deben estar separados de las barras y de las unidades funcionales, en un compartimiento individual y separado.

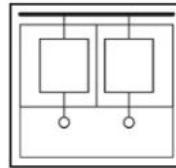


Forma de Separación Interna 3a

Separación entre las barras, terminales de salida y unidades funcionales. Cada una de las unidades funcionales está alojada en un compartimiento separado.



- Las conexiones de los conductores de fuerza están dispuestas en un mismo compartimiento (Compartimiento de Bornes y Cables)
- Los servicios de mantenimiento exigen cuidados, ya que en el mismo compartimiento las conexiones de otras unidades podrán estar energizadas
- Puertas posteriores bipartidas que reducen el espacio necesario para el acceso posterior, aumentando el área de circulación/escape en un caso de emergencia



Forma de Separación Interna 4b

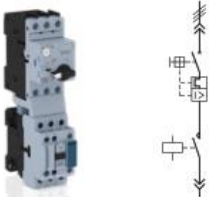
Clase de tensión		690 V ca
Tensión nominal de la red		220, 380, 400, 440, 480 V
Tensión de mando		220 V ca / 127 V ca ou 125 V cc / 24 V cc
Frecuencia nominal		60 Hz o 50 Hz
Corrientes nominales		Barra principal hasta 4.000 A y vertical hasta 1.000 A
Corriente nominal de corta duración (1s)		50 kA o 65 kA o 80 kA simétrico
Nivel básico de aislamiento (NBi)		8 kV, según la norma IEC 61439-1
Grado de protección ¹⁾		IP42
Tipo de instalación		Resguardada
Ensayos de rutina		Según la norma IEC 61439-1
Ensayos de tipo		Según la norma IEC 61439-1
Temperatura ambiente		-5 °C...+40 °C (limitado a un promedio de 35 °C en 24 horas)
Altitud máxima		2.000 m (para altitudes de instalación superiores a 2.000 m bajo consulta)
Pintura y acabado		Pintura epoxi polvo por proceso electrostático
Tratamiento superficial de chapas		Chapas externas/interas: proceso químico de fosfatización Blindajes internos: zincados
Tratamiento superficial de las barras		Proceso galvanico de estañado
Color		Gris claro RAL 7032 (puertas, laterales y techos)
		Gris oscuro RAL 7022 (estructura y base de fijación)
		Placas de montaje zincadas
Espesura de las chapas	Estructura	2,6 mm (12 MSG)
	Puertas	1,9 mm (14 MSG)
	Cierres / blindajes	1,9 mm (14 MSG)
Dimensiones de las columnas	Altura	2.300 mm (hasta 3.150 A) y 2.400 mm (4.000 A)
	Ancho	Columnas de entrada de 500 mm, 750 mm o 1.000 mm y columnas de salida de 750 mm
	Profundidad	Desde 600 mm hasta 950 mm
Peso aproximado por columna		400 kg
Zona sísmica ²⁾		UBC-3 (aceleración horizontal y vertical de 0,3 g)

Notas: 1) Otros grados de protección bajo consulta.
2) A través de simulación computacional (Análisis Modal).

Dimensional Orientativo de las Unidades Equipadas

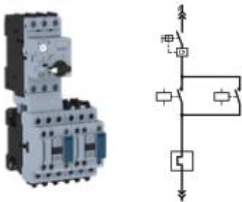
Arranque Directo

Arranque directo								
Modelo de la unidad		GWD-16	GWD-24	GWE-16	GWE-24	GWE-32	GWE-48	GWE-64
Potencia (HP)	220 V	5	5	10	25	40	75	125
	380 V	10	10	20	40	75	125	175
	440 V	10	10	20	50	75	150	175



Arranque Reversible

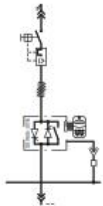
Arranque reversible					
Modelo de la unidad		GWE-16	GWE-32	GWE-48	GWE-64
Potencia (HP)	220 V	6	12,5	40	50
	380 V	10	25	50	60
	440 V	12,5	30	50	60



Arrancador Suave

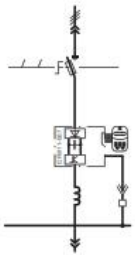
Arrancador Suave

Arrancador suave						
Modelo de la unidad		0WE-16	0WE-32	0WE-48	0WE-64	0WF-96
Potencia (HP)	220 V	5	10	15	50	75
	380 V	10	15	30	75	150
	440 V	10	20	60	100	150



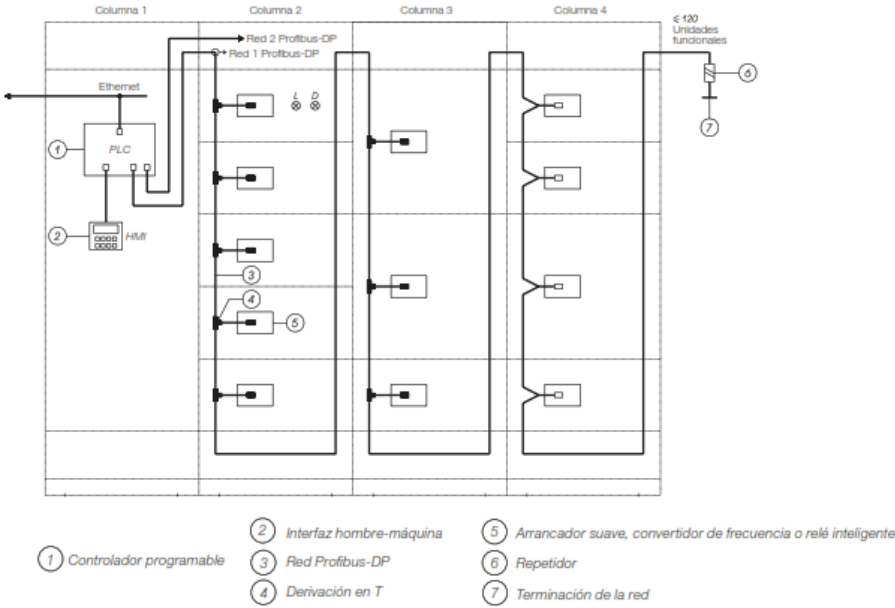
Convertidor de Frecuencia

Convertidores de frecuencia									
Modelo de la unidad		0WE-16	0WE-32	0WE-48	0WE-64	0WF-80	0WF-96	0WF-112	0WF-176
Potencia (HP)	220 V	1,5	4	-	7,5	-	25	40	50
	380 V	1,5	5	7,5	15	30	50	75	100
	440 V	1,5	6	7,5	15	30	50	75	100



Certificaciones

Ejemplo de CCM Inteligente con Red Profibus





ANEXO - RED DE TIERRA

INFORME TECNICO DE SERVICIO

CLIENTE:	EMPRESAR S, A
EQUIPO Y POTENCIA:	REDES DE TIERRA SILOS #17 Y #18
TIPO DE SERVICIO:	ANALISIS Y CERTIFICACION DE RED DE TIERRA.

MEDICION:

Se realiza medición de resistencia a tierra, por el método de medición sin picas con el equipo **FLUKE 1630-2 FC** en Silos #17 y #18 Obteniendo los siguientes resultados

SILO #17	
Puntos	Resistencia Ω
P1 - Norte	0.364
P2 - Sur	No tiene Pica
P3 - Este	0.362
P4 - Oeste	0.380
Promedio	0.368

SILO #18	
Puntos	Resistencia Ω
P1 - Norte	0.260
P2 - Sur	0.377
P3 - Este	0.379
P4 - Oeste	0.328
Promedio	0.336

CONCLUSION:

Los valores de resistencia obtenidos cumplen con lo indicado en la **NFPA 70** y la **IEEE 142**. Las cuales recomiendan valores menores a 5 Ohmios, por lo tanto, podemos considerar que ambos silos cumplen las condiciones para y tránsito peatonal de manera segura ante fallas a tierra de equipos eléctricos y atmosféricos.

HALLAZGOS:

- Pozo de medición no dispone de picas de referencia para la toma de medidas en el pozo.
- Pozo de medición no cuenta con simbología correspondiente.

RECOMENDACIONES:

- Instalar pica de referencia en pozo de medición de 5/8 X 10 Certificada UL COOPERWELD, con cable 2/0 y terminal de ojo bimetálico 2/0 sujetado con perno tropicalizado o bien acero inoxidable grado > 304.
- Realizar etiquetado de tomas de puesta a tierra y pozos de inspección.



Elaborado por: Ing. Luis Laínez.

Revisado y entregado por: Ing. Marcelo Morales.

Chinandega, 18 de enero del 2023.



PARARRAYO

INFORME TECNICO DE SERVICIO

CLIENTE:	EMPRESAR S, A
EQUIPO Y POTENCIA:	SISTEMA DE PARARRAYOS.
TIPO DE SERVICIO:	ANALISIS Y CERTIFICACION DE RED DE TIERRA.

MEDICION:

Se realiza medición de resistencia a tierra, por el método de medición sin picas con el equipo FLUKE 1630-2 FC. en sistema de protección para descargas atmosféricas en el plantel, encontrando lo siguiente.

Sistema Pararrayos.	
Puntos	Resistencia Ω
Pararrayo	0.488

CONCLUSION:

Los valores de resistencia obtenidos cumplen con lo indicado en la NFPA - 70 y IEEE - 142 las cuales recomiendan valores menores a 10 Ohmios, por lo tanto, podemos considerar que el sistema cumple las condiciones de resistividad adecuadas para una correcta conducción de una descarga atmosférica a tierra de manera segura.

HALLAZGOS:

- Pozo de medición no dispone de picas de referencia para la toma de medidas independientes en el pozo
- Pozo de medición no cuenta con simbología correspondiente
- Bajante de cobre se encuentra expuesto sin protección mecánica
- Bajante de cinta de cobre pre estallado se encuentra con ángulos menores a 90 grados.
- No se encuentra simbología que indique **(Peligro: no permanecer cerca en caso de tormenta eléctrica)** según indica la NFPA.
- No existe equipotencialidad de la red existente con la nueva obra (Silo #17 y #18)

RECOMENDACIONES:

- Instalar pica de referencia en pozo de medición de 5/8 X 10 Certificada UL COOPERWELD, con cable 2/0 y terminal de ojo bimetalico 2/0 sujetado con perno tropicalizado o bien acero inoxidable grado > 304.
- Instalar protección mecánica a bajante de puesta a tierra
- Instalar rotulo de seguridad **(Peligro: no permanecer cerca en caso de tormenta eléctrica)**

Elaborado por: Ing. Luis Lainez.
Revisado y entregado por: Ing. Marcelo Morales.

Elaborado por: Ing. Luis Lainez.
Revisado y entregado por: Ing. Marcelo Morales.



Chinandega, 28 de enero del 2023.

Chinandega, 28 de enero del 2023.

