

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
RECINTO UNIVERSITARIO SIMÓN BOLÍVAR  
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**TÍTULO:**

**“PROPUESTA DE AHORRO ENERGÉTICO POR MEDIO DE  
VARIADORES DE FRECUENCIA EN PROCESOS DE PURIFICACIÓN  
DE AGUA POTABLE EN EMPRESA BIWATER.”**

Elaborado por:

Br. Nelson Antonio Moraga Bravo.

Br. Kenner Josué Arana Loaisiga.

Tutor: ING. MARLOVIO JOSÉ SEVILLA HERNÁNDEZ

Fecha: Managua, Nicaragua Diciembre del 2023.



## Resumen

Se realizó un estudio cuyo propósito fue el determinar una “propuesta de ahorro energético por medio de variadores de frecuencia en procesos de purificación de agua potable en empresa Biwater”, se aplicó por medio de recopilación de datos y características del proceso empleado en la empresa de tratamiento aguas, de igual manera los datos de la bomba que ejecutaba la acción de distribución de agua en varios procesos de la planta.

Estos datos fueron recopilados con el fin de hacer los cálculos correspondientes dando a conocer así, los gastos reales que representaba a la máquina, tanto en consumo eléctrico, así como monetario y con ello utilizar las bases eléctricas como cálculos matemáticos y tablas, las cuales nos ayudan a determinar los valores y viabilidad tanto del ahorro energético como la vida útil de la máquina.

Los resultados conseguidos fueron comparados tanto al diseño eléctrico que se ejecuta en la empresa como la propuesta del uso de variador de frecuencia en la bomba tipo centrifuga, obteniendo así mejores valores con el uso del variador, los cuales son valores que hacen que disminuya el consumo eléctrico y por ende los gastos monetarios con el pago de recibo de luz.

Por tanto, se concluye que el uso de variadores de frecuencia es la manera más factible para la economía, autonomía, seguridad y fiabilidad para el proceso de abastecimiento de agua en la planta de tratamiento, Biwater.

## Dedicatoria

Gracias a Dios por llenarnos de dichas y bendiciones, por brindarnos salud física y mental; y por darnos a personas tan maravillosas que nos rodean.

Esta tesis está dedicada con todo nuestro cariño a nuestros padres por habernos brindado la oportunidad de culminar unos de nuestros más grandes anhelos y nuestra carrera profesional. Gracias por habernos guiado en los momentos más difíciles, por estar con nosotros siempre y por sus sabios consejos.

Gracias a nuestros profesores por darnos las herramientas necesarias para triunfar en esta vida y por enseñarnos no solo conocimientos, sino experiencias de vida que siempre tendremos en cuenta, en especial al Ing. Marlovio José Sevilla Hernández, el cual nos ha dado su apoyo incondicional y su tiempo completo para poder concluir de la mejor manera nuestra carrera profesional.

Gracias a la Universidad por ser una gran fuente de conocimientos y por brindar a este país profesionales de la mejor calidad. Gracias a nuestros amigos por su apoyo y compañía, porque juntos logramos llegar a nuestra meta en común.

Kenner Arana, Nelson Moraga.

## Índice de contenido

I. Introducción.....	1
II. Objetivos .....	3
III. Justificación .....	4
IV. Marco teórico.....	6
4.1. Variador de frecuencia.....	6
4.1.1. Los convertidores de frecuencia pueden dividirse en cuatro componentes principales: .....	7
4.1.2. Interfaz de comunicaciones.....	10
4.1.3. Aplicaciones de variadores de frecuencia.....	11
4.1.3.1. Entre las aplicaciones del uso de variadores en las industrias son:.....	11
4.2. Tipos de variadores de frecuencia.....	14
Convertidores – ACS310.....	14
Convertidor de frecuencia de propósito general ACS480 .....	15
ACS550 - Convertidores de propósito general.....	16
Convertidor de propósito general, ACS580 .....	17
Variadores de velocidad ACS880 de ABB .....	18
4.3. Características del variador de frecuencia .....	19

4.4. Ventajas y desventajas.....	20
4.4.1. Ventajas:.....	20
4.4.2. Desventajas:.....	21
<b>4.5. Criterios para selección de variador de frecuencia.....</b>	<b>32</b>
<b>4.5.1. Criterios .....</b>	<b>32</b>
<b>4.6. Selección de variador de frecuencia ACS480-04-033A-4 .....</b>	<b>36</b>
<b>4.7. Bomba tipo centrifuga instalada, weg etaprime 65-180 gl11.....</b>	<b>37</b>
<b>4.7.1. Tipo de bomba instalada.....</b>	<b>38</b>
<b>4.7.2. Datasheet de bomba tipo centrifuga WEG Etaprime 65-180GL11 .....</b>	<b>39</b>
V. Metodología.....	41
VI. Cálculos y resultados.....	45
6.1. Estudio financiero	45
6.2. Consumo eléctrico anual.....	48
6.3. Consumo del costo de energía eléctrica. ....	49
.....	50
.....	50
6.4. Análisis de consumo energético de bomba tipo centrifuga con variador de frecuencia ACS480 ABB.....	50
.....	51

6.5. Consumo del costo de energía eléctrica. ....	51
.....	51
.....	51
<b>6.6. Cálculo de Ahorro energético</b> .....	<b>52</b>
<b>6.6.3. Cálculo del costo de energía ahorrada</b> .....	<b>54</b>
<b>6.6.4. Cálculo del Retorno de la inversión</b> .....	<b>55</b>
<b>6.6.5. Factibilidad de la inversión</b> .....	<b>55</b>
VII. Conclusión.....	56
VIII. Recomendaciones .....	57
<b>IX. Referencias bibliográficas.</b> .....	<b>58</b>

## Índice de imágenes

Figura No. 1: Diagrama simplificado de un convertidor de frecuencia. ....	6
Figura No. 2: Distintos principios de diseño/control. ....	8
Figura No. 3: Circuito de control de variador ABB ACS480 .....	9
Figura No. 4: Variador de Frecuencia ACS310 .....	15
Figura No. 5: Variador ACS480 .....	15
Figura No. 6: Variador ACS550 .....	16
Figura No. 7: Variador ACS580 .....	17
Figura No. 8: Variador ACS880 .....	18
Figura No 11. Pliego Tarifario .....	54

## I. Introducción

Un motor en el momento de producir el par de arranque para poder romper el momento de inercia es necesario que su corriente nominal llegue aumentarse hasta siete veces produciendo una alta inflación en el consumo de energía eléctrica no siendo nada favorable para el usuario además la mayoría de ocasiones los motores eléctrico trabajan en velocidades no requeridas y esto hace una demanda innecesaria de energía eléctrica, actualmente los sistemas de motores eléctricos son los responsables de más del 65% del consumo de energía en la industria actual por ende las industrias no se les hace nada económico el uso deliberado de los motores.

La presente propuesta se enfoca en analizar y proponer mejoras en el proceso de purificación de agua potable en la empresa Biwater mediante el uso de variadores de frecuencia. Esta tecnología ofrece la oportunidad de reducir el consumo energético al controlar la velocidad de los motores, adaptándolos a la demanda real, lo que puede resultar en ahorros significativos en el consumo de energía eléctrica.

En la empresa Biwater la aplicación de motores trifásicos es una prioridad ya que para el tratamiento de aguas se deben de someter a muchos procesos de purificación considerando las maquinas internas para procesos de auto sustentar la planta, esta planta fue inaugurada el 20 de febrero de 2009. El fin de esta planta de tratamiento es de tratar o bien purificar las aguas que desembocan al lago Xolotlán de Managua, poniendo en práctica el cuidado del medio ambiente y la salud de la población, esta planta tiene la capacidad de procesar grandes cantidades de metros cúbicos de aguas residuales por día haciendo que estas aguas se descontaminen y se disminuyan los pantanos de aguas de negras en sus riberas.

En esta empresa de hecho hay máquinas que no necesariamente deben de operar al 100% de su capacidad eso significa que la mejor manera de operación es poder

tener un control autónomo de la máquina, haciendo más larga la vida útil de la misma, obteniendo mejores resultados en el proceso y por supuesto obtener un gran ahorro energético el cual evitaría grandes pagos de consumo eléctrico.

Por ende, en este estudio monográfico se hará énfasis de una bomba de agua tipo centrífuga, trifásica de 15Kw, la cual abastece de agua potable para los procesos de la planta, esta trabaja de 18 a 22 horas por día, puede trabajar tanto de manera manual como automática. Trabaja con un sensor de presión la cual la hace una gran candidata para la aplicación de un variador de frecuencia, ya que esta no solo manejaría los datos y procesos del motor, tomando en cuenta que puede manejar muchos parámetros de memoria y claro cumpliendo con el objetivo más importante, el “ahorro energético”. Además, el variador de frecuencia regula la velocidad de motores eléctricos para que la electricidad que llega al motor se ajuste a la demanda real de la aplicación, reduciendo el consumo energético del motor en valores significativos. Se tomará más a profundidad muchas características, procesos, cálculos, definiciones, adaptaciones, esquemas y circuitos para un entendimiento más explícito. (ABB, 2022)

## II. Objetivos

### 4.1. Objetivo general

- Elaborar propuesta de ahorro energético por medio de variadores de frecuencia en procesos de purificación de agua potable en empresa Biwater.

### 4.2. Objetivos específicos

- Analizar parámetros y características de los variadores de frecuencia con el fin de garantizar la selección adecuada para el proceso antes mencionado.
- Determinar las ventajas y desventajas del uso de variadores de frecuencia en bomba de agua tipo centrifuga.
- Calcular el ahorro de energía de la propuesta a implementar tomando como referencia el variador seleccionado.
- Proyectar los costos de instalación con respecto al análisis de ahorro energético y en cuanto tiempo se puede recuperar la inversión.

### III. Justificación

La optimización y la eficiencia en el uso de la energía son elementos fundamentales en la industria para reducir costos y mitigar el impacto ambiental. La presente propuesta se enfoca en analizar y proponer mejoras en el proceso de purificación de agua potable en la empresa Biwater mediante el uso de variadores de frecuencia. Esta tecnología ofrece la oportunidad de reducir el consumo energético al controlar la velocidad de los motores, adaptándolos a la demanda real, lo que puede resultar en ahorros significativos en el consumo de energía eléctrica y se justifica con los siguientes argumentos:

1. Escasez de Recursos Energéticos: La disponibilidad de recursos energéticos está disminuyendo, y la generación de energía a menudo conlleva emisiones de gases de efecto invernadero. En este contexto, es fundamental buscar soluciones para reducir el consumo de energía.

2. Demanda Creciente de Agua Potable: La población mundial en constante crecimiento y la urbanización acelerada aumentan la demanda de agua potable. Esto pone una mayor presión sobre los sistemas de purificación de agua y su consumo energético asociado.

3. Tecnología de Variadores de Frecuencia: Los variadores de frecuencia son dispositivos que permiten controlar la velocidad de motores eléctricos y, por lo tanto, el consumo de energía de manera eficiente. Aplicar esta tecnología a procesos de purificación de agua puede conducir a un ahorro significativo de energía.

4. Impacto Económico: La implementación de variadores de frecuencia puede generar ahorros considerables en costos operativos y energéticos para empresas como Biwater. Esto puede mejorar la competitividad y la rentabilidad de la empresa.

5. Sostenibilidad Ambiental: Reducir el consumo de energía en los procesos de purificación de agua potable contribuye a la sostenibilidad ambiental al disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y la huella de carbono de la empresa.

6. Legislación y Regulaciones: En muchos países, existen regulaciones ambientales que fomentan la eficiencia energética y la reducción de residuos. La investigación puede ayudar a cumplir con estas regulaciones y evitar posibles sanciones.

7. Contribución al Conocimiento: La investigación propuesta puede contribuir al conocimiento científico y técnico al proporcionar datos y resultados específicos sobre el impacto de los variadores de frecuencia en los procesos de purificación de agua potable.

En resumen, la investigación sobre el uso de variadores de frecuencia en los procesos de purificación de agua potable es relevante y oportuna, ya que aborda una problemática crítica en términos de sostenibilidad ambiental, eficiencia energética y competitividad empresarial. Los resultados de esta investigación pueden tener un impacto significativo en la operación de empresas como Bewater y en la gestión sostenible de recursos naturales.

## IV. Marco teórico

### 4.1. Variador de frecuencia

Por definición es un regulador industrial que se encuentra entre la alimentación energética y el motor. La energía de la red pasa por el variador y regula la energía antes de que este llegue al motor para luego ajustar la frecuencia y la tensión en función de los requisitos del procedimiento. En otras palabras, se trata de dispositivos electrónicos, que permiten el control completo de motores eléctricos de inducción; los hay de c.c. (variación de la tensión), y de c.a. (variación de la frecuencia); los más utilizados son los de motor trifásico de inducción y rotor sin bobinar (jaula inversores inverter). También se les suele denominar inversores (inverter) o variadores de velocidad.

Los convertidores de frecuencia han experimentado cambios extremadamente rápidos desde finales de la década de los sesenta, debido en gran medida al desarrollo de las tecnologías de microprocesadores y semiconductores y a su reducción de precio. Sin embargo, los principios básicos de los convertidores de frecuencia siguen siendo los mismos.

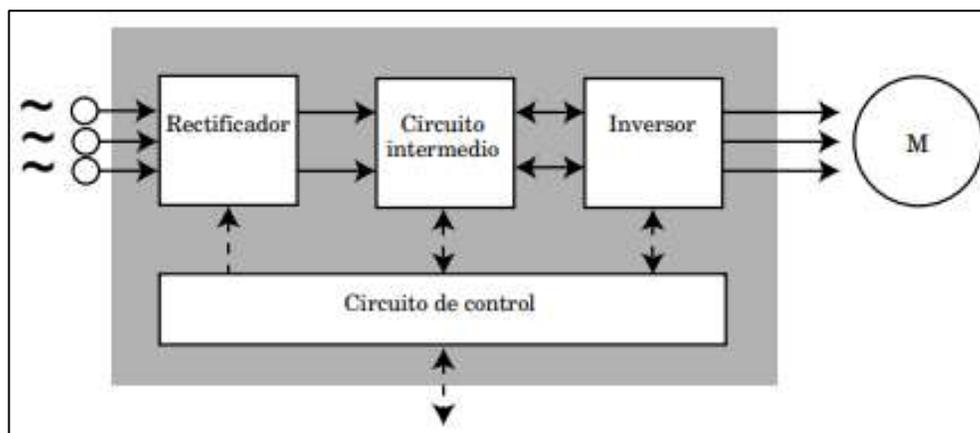


Figura No. 1: Diagrama simplificado de un convertidor de frecuencia.

#### 4.1.1. Los convertidores de frecuencia pueden dividirse en cuatro componentes principales:

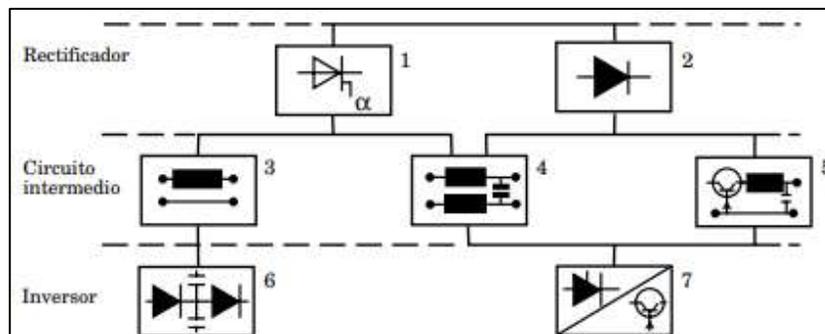
1. El rectificador, que está conectado a una red de alimentación de CA mono/trifásica y genera una tensión de CC pulsatoria. Hay dos tipos básicos de rectificadores: regulados y no regulados.

2. El circuito intermedio. Hay tres tipos:

- Uno que convierte la tensión del rectificador en corriente continua
- Otro que estabiliza o suaviza la tensión de CC pulsatoria y la pone a disposición del inversor
- Otro que transforma la tensión constante de CC del rectificador en una tensión de CA variable.

3. El inversor, que genera la frecuencia de la tensión del motor. Algunos inversores también pueden transformar la tensión de CC constante en tensión de CA variable.

4. Los equipos electrónicos del circuito de control, que intercambian señales con el rectificador, el circuito intermedio y el inversor. Las partes que se controlan en detalle dependen del diseño de cada convertidor de frecuencia. Sin embargo, la característica común de los convertidores de frecuencia es que el circuito de control utiliza señales para activar y desactivar los semiconductores del inversor. Los convertidores de frecuencia se agrupan según el patrón de conmutación que controla la tensión de alimentación del motor. (Pulido, 2000)



*Figura No. 2: Distintos principios de diseño/control.*

### **Macro ABB estándar**

Es la macro por defecto. Ofrece un uso general, una configuración de E/S de 2 hilos con tres frecuencias constantes. Una señal se usa para poner en marcha o parar el motor y la otra para seleccionar la dirección. La macro ABB estándar usa el control escalar; para control vectorial, use la macro ABB estándar (vectorial) en la página 75. Esta macro utiliza E/S existentes sólo cuando está instalado el módulo de E/S.

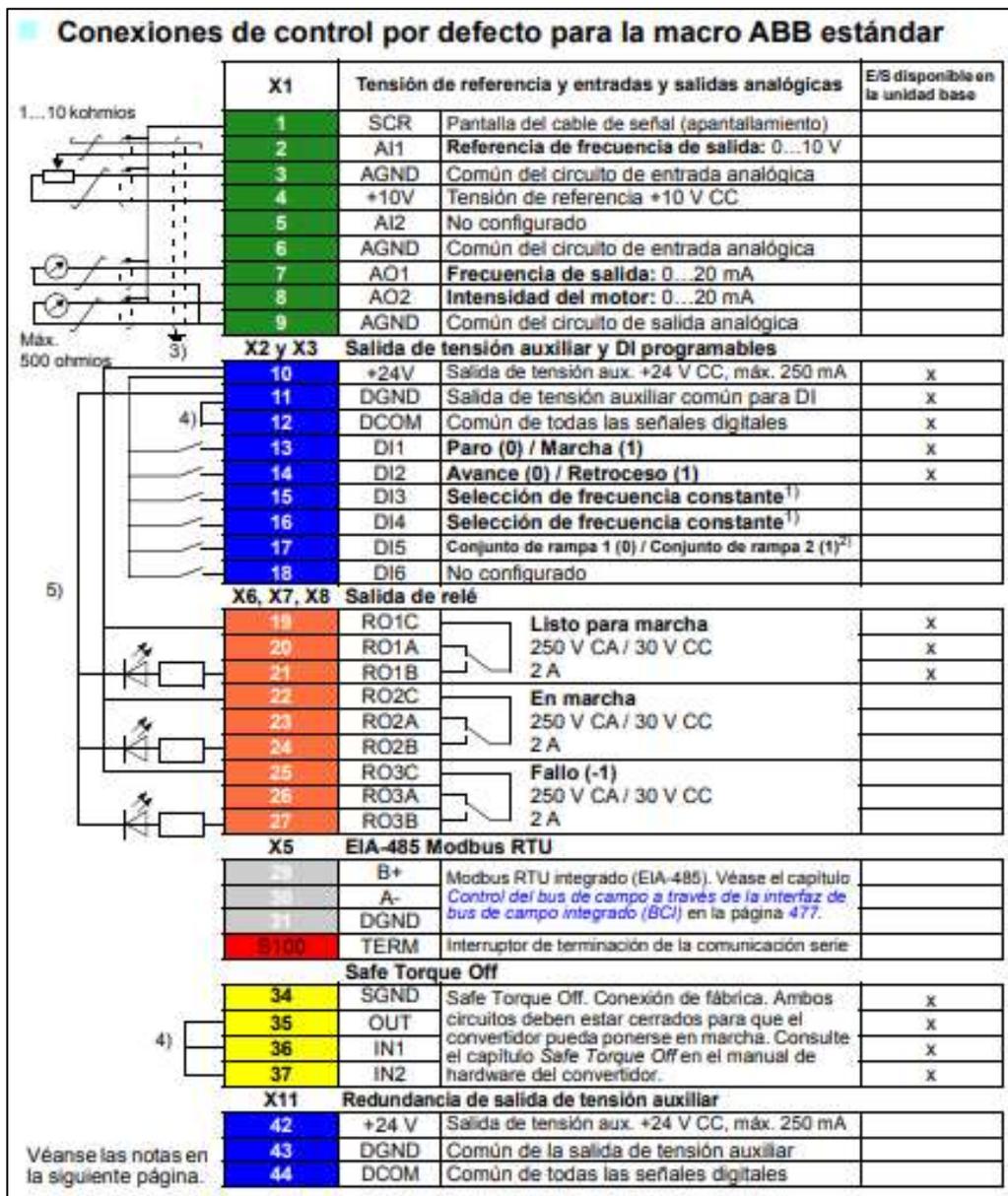


Figura No. 3: Circuito de control de variador ABB ACS480

#### 4.1.2. Interfaz de comunicaciones

los principales fabricantes se han unido para desarrollar sistemas de bus de campo universales y 'abiertos' con los que puedan comunicarse todos los equipos industriales independientemente de quién sea el fabricante. Una de las redes de bus de campo más respaldadas y probadas para todos los productos, incluidas nuestras unidades, es PROFIBUS.

Otros buses son:

- Modbus
- Interbus-S
- Device Net
- Lon Works.

#### **Protocolo DP (Periféricos descentralizados)**

DP, ahora optimizado con respecto a la velocidad, se usa ampliamente para comunicaciones entre sistemas de automatización y unidades periféricas descentralizadas. Es idóneo como sustituto de las costosas transmisiones de señales en paralelo con 24 V y la transmisión de valores medidos con 20 mA, y se usa principalmente en procesos de fabricación automatizados de alta velocidad.

PA (Automatización de procesos) PROFIBUS-PA es una variante de PROFIBUS para la automatización de procesos. PROFIBUS-PA utiliza la técnica de transmisión intrínsecamente segura que establece la norma IEC 1158-2 y permite alimentar a distancia a las unidades participantes con el bus. (Pulido, 2000)

### 4.1.3. Aplicaciones de variadores de frecuencia

Son muchos los usos que pueden tener los variadores de frecuencia de ABB en distintas industrias y aplicaciones. Nuestra amplia gama de variadores de frecuencia ofrece una tecnología avanzada que adapta cada variador al proceso requerido por el cliente. Con un control de precisión y un servicio sobresaliente se consigue reducir al mínimo los tiempos de inactividad inesperados y aumentar al máximo la productividad.

Sea cual sea su industria o aplicación, hay un variador de frecuencia de ABB que le proporcionará ahorro de energía, confort, seguridad y simplicidad en sus procesos.

#### 4.1.3.1. Entre las aplicaciones del uso de variadores en las industrias son:

##### **Compresores y soplantes**

Para este tipo de aplicación existe un variador de frecuencia ellos se obtiene un control directo de par, reaccionan rápidamente para descargar diferencias de presión., desde demanda de pares al arrancar hasta el uso continuo. (ABB, 2023)

##### **Grúas**

Proporcionan a sus grúas inteligencia, potencia, flexibilidad y seguridad para satisfacer sus necesidades de rendimiento y fiabilidad. Dondequiera que esté instalada su grúa, nuestro servicio y soporte mundial siempre está cerca.

Control de precisión. Velocidad. Fiabilidad. Seguridad. Todo cuenta cuando su negocio depende de una manipulación eficiente de los materiales

Características principales del convertidor

- Funcionalidades para grúas integradas en el convertidor
- Control de precisión

- Suavidad en elevación, en movimientos del carro, en movimientos del puente y rotaciones
- Fiabilidad de funcionamiento de la grúa
- Elementos opcionales de seguridad certificada
- Características principales del PLC:
- Escalable para cada tarea de automatización específica en términos de prestaciones, funcionalidad y conectividad
- Programación sencilla de aplicaciones de grúa, sean pequeñas o complejas.
- Agregue funcionalidades de control y seguridad de primera calidad.

### **Bombeo solar**

La mitad de la energía producida en todo el mundo se utiliza para operar bombas. En comparación con las bombas de generador diésel, el variador de frecuencia para bombeo solar de ABB es respetuoso con el medio ambiente, tiene una larga vida útil y bajos costes de mantenimiento. Es independiente de la red y no produce contaminación ni ruido. Las aplicaciones típicas son el riego, el suministro de agua a comunidades, la piscicultura y la agricultura.

El variador de frecuencia para bombeo solar tiene muchas funciones específicas de control solar y de bomba, como el seguimiento del punto de potencia máximo incorporado y la detección de funcionamiento en seco, así como el cálculo del caudal sin sensor.

El seguimiento del punto de potencia máximo (MPPT) le asegura obtener la mejor potencia de salida posible de su panel solar y maximiza el rendimiento de su bomba a lo largo del día, mientras que el arranque automático y la parada en función de la radiación solar pueden ahorrar dinero y combustible (en el caso de disponer de un generador diésel) durante las horas diurnas.

## **Principales ventajas**

- 0,37 a 45 kW / 0,5 a 30 CV
- Operaciones sin rejilla directamente de las células fotovoltaicas (PV)
- Arranque y parada automáticos con radiación solar
- Rastreo del punto de máxima potencia (MPPT)
- Fácil instalación y montaje para la producción en serie
- Compatible con todos los tipos de bombas
- El buen retorno de la inversión (ROI) contra el bombeo con motor diésel
- Diseño de módulo de accionamiento compacto y uniforme (IP20)
- Capacidad de suministro diario con conmutador de cambio - solar y con rejilla
- Control vectorial sin sensor de motores de inducción y motores de imanes permanentes. (ABB, 2023)

## **Sistema de Bombeo para agua**

Las estaciones de bombeo se utilizan para el transporte y la distribución de agua dulce de forma segura y eficiente, garantizando la disponibilidad de este valioso recurso para el consumo humano, para la producción industrial y agrícola, así como para el vertido de aguas residuales o la toma de agua de mar en plantas de desalinización.

Casi el veinte por ciento de la energía mundial se emplea en bombeo y la mayor parte de ésta es utilizada para bombeo de agua, un proceso clave en el ciclo de vida de este recurso.

## **Variadores de frecuencia para la industria del agua**

Las funcionalidades requeridas de los variadores de frecuencia para bombas de agua son numerosas e incluyen mayor conectividad, menor consumo de energía, tiempos mínimos de parada y unas prestaciones que eviten problemas reales y que reaccionen de forma inteligente ante ellos, preferiblemente antes de que causen daños.

El uso de variadores de frecuencia de ABB para aplicaciones de bombeo de agua proporciona un ahorro energético entre un 20% y un 60% así como una considerable reducción de costes de mantenimiento.

Los variadores de frecuencia de ABB para bombas pueden mejorar significativamente el ciclo de vida de una bomba, proporcionando ahorro energético, menores emisiones de dióxido de carbono y la amortización de la inversión en poco tiempo. (ABB, 2023)

## 4.2. Tipos de variadores de frecuencia

### Convertidores – ACS310

- De 0,37 a 11 kW / 0,5 hasta 15 CV 200 V
- De 0,37 a 22 kW / 0,5 hasta 30 CV 400V
- Envoltente IP20
- Características integradas para bombas y ventiladores, tales como control multibomba y funciones de limpieza y llenado de tuberías
- Modbus EIA-485 integrado. (ABB, 2023)



*Figura No. 4: Variador de Frecuencia ACS310*

## **Convertidor de frecuencia de propósito general ACS480**

Características:

- De 0,75 a 22 kW, de 380 a 480 V.
- Optimización de cabina, IP20 como estándar.
- Fácil de seleccionar, instalar y usar.
- Diseño compacto con todas las funciones esenciales incorporadas.
- Funcionalidad incorporada para controlar muchas aplicaciones básicas.
- Características de eficiencia energética para un uso óptimo de la energía.
- Conectividad a las redes de automatización más comunes
- Forma parte de la gama de Compatibilidad Total de ABB
- Amplia disponibilidad y soporte. (ABB, 2023)



*Figura No. 5: Variador ACS480*

## ACS550 - Convertidores de propósito general

- De 0,75 a 355 kW/1 hasta 500hp
- Control vectorial
- Filtro EMC e interfaz de bus de campo Modbus integrados
- Reactancia de auto inductancia variable para una mayor reducción de los armónicos
- Tarjetas barnizadas para entornos duros
- Opcionales
- Paneles de control básico y asistente
- Reactancias de entrada y salida
- Adaptadores de bus de campo insertables, kits de montaje de panel, módulo de extensión de salidas a relé
- Unidades de frenado y choppers
- Herramienta FlashDrop para una configuración de convertidor sin potencia en 2 segundos. (ABB, 2023)



*Figura No. 6: Variador ACS550*

## Convertidor de propósito general, ACS580

La nueva generación de convertidores de frecuencia de propósito general **ACS580**, de 0,75 a 500 kW para montaje en pared y en armario, ahora para media y baja tensión, está diseñado para controlar una amplia gama de aplicaciones de par constante y variable como bombas, ventiladores, cintas transportadoras y mezcladoras en diversos sectores.

El convertidor ACS580 es un equipo estándar, equipado con características integradas que simplifican el pedido y la entrega y reducen los costes de puesta en marcha gracias a que se suministra en un único paquete compacto. Prácticamente se ajusta solo y controla los procesos de manera eficiente sin hacerle perder ni tiempo ni energía. (ABB, 2023)



*Figura No. 7: Variador ACS580*

## Variadores de velocidad ACS880 de ABB

Los nuevos variadores industriales ACS880 de ABB, simplifican los procesos en la industria porque están diseñados para adaptarse a todas las aplicaciones con motores de inducción sin importar el rango de potencia. Pueden ser conectados de manera flexible a redes de automatización y gracias a la tecnología desarrollada por ABB para el control de torque directo (DTC), brindan un control preciso de los diferentes motores. Los variadores industriales ACS880 ofrecen el máximo control y funcionalidad con una notable facilidad de operación e integración. (ABB, 2023)



*Figura No. 8: Variador ACS880*

### 4.3. Características del variador de frecuencia

Algunas aplicaciones solo necesitan lo esencial de sus convertidores: simplicidad y eficiencia en un paquete pequeño, entregado con la mayor simplicidad posible. El convertidor de frecuencia de propósito general ACS480 es exactamente esto: reúne todos los elementos esenciales para que usted pueda utilizar sus cintas transportadoras, compresores, ventiladores, bombas y muchas otras aplicaciones básicas sin esfuerzo.

El convertidor de CA de baja tensión ACS480 es parte de la gama de convertidores de frecuencia de Compatibilidad Total de ABB y presenta una amplia gama de funciones útiles integradas en un diseño compacto. Esto da a los usuarios una alta fiabilidad y una operación simplificada para numerosas aplicaciones en diversas industrias, incluyendo alimentación y bebidas, logística y almacenamiento y aguas limpias y residuales.

Control V/f normal o ESCALAR y control de vector de flujo Ambos métodos tienen ventajas, según los requisitos específicos para el rendimiento (dinámica) y la precisión de la unidad.

El control de la característica V/f tiene un rango de regulación de velocidad limitado de aproximadamente 1:20, y a baja velocidad se requiere una estrategia de control alternativa (compensación). Con esta técnica es relativamente sencillo adaptar el convertidor de frecuencia al motor y la técnica es sólida frente a cargas instantáneas en todo el rango de velocidad.

En unidades de control vectorial, el convertidor de frecuencia debe configurarse con exactitud en relación al motor, para lo cual se precisan conocimientos detallados. También hacen falta componentes adicionales para la señal de realimentación.

Algunas ventajas de este tipo de control son:

- Rápida reacción ante cambios de velocidad y amplio rango de velocidad
- Mejor reacción dinámica ante cambios de sentido
- Estrategia de control única para todo el rango de velocidad.

La solución óptima para el usuario reside en técnicas que combinen las mejores propiedades de ambas estrategias. Son claramente necesarias características como robustez frente a cargas/descargas escalonadas en todo el rango de velocidad –uno de los puntos fuertes del control V/f– y una rápida reacción ante cambios en la velocidad de referencia (como en el control de orientación de campo). Es una estrategia de control que combina las sólidas propiedades del control V/f con el rendimiento dinámico superior de los principios del control de orientación de campo, y ha establecido nuevos estándares para unidades con control de velocidad. (ABB, 2022)

#### **4.4. Ventajas y desventajas**

##### **4.4.1. Ventajas:**

- Una más larga vida comparada con los relés electromagnéticos.
- Eliminación de arcos eléctricos entre sus contactos.
- Al no disponer de contactos móviles, se pueden utilizar en ambientes agresivos o con polvo en suspensión, etc., pues al circuito de control o de potencia no le afecta y su vida será mayor.
- Inmune a las vibraciones producidas por las máquinas al no disponer en su interior de partes móviles, lo que facilita su instalación en máquinas industriales.

- Separación galvánica entre los circuitos de control y los de potencia, esto es, no existe conexión eléctrica entre sus circuitos, por lo que la tensión de control puede ser diferente de la de potencia.
- Se puede controlar una salida de manera analógica en función de una entrada también analógica, eliminando el clásico "todo o nada" de los relés electromagnéticos.
- Ausencia de ruidos producidos por cuerpos extraños en los circuitos magnéticos.
- El circuito de control se puede conectar a autómatas programables, ordenadores, etc., lo que permitirá controlar la salida en función de los parámetros que le lleguen al circuito de control.
- El número de maniobras (conexión y desconexión) por segundo se puede incrementar al no tener que desplazarse físicamente sus contactos, ya que el circuito de salida conduce o no conduce, pero no tiene movimiento físico.

#### 4.4.2. Desventajas:

- La instalación, programación y mantenimiento, debe ser realizada por personal cualificado.
- Si no está bien aislado (con filtros) o instalado, puede evitar ruidos e interferencias en la red eléctrica, que podrían afectar a otros elementos electrónicos cercanos.
- Para aplicaciones sencillas puede suponer mayor inversión, que un sistema simple (contactor-guardamotor), si bien a la carga se amortiza el gasto suplementario, por el ahorro energético y de potencia reactiva que aporta el variador.
- La avería del variador, no se pueden reparar un sitio (hay que enviarlos a la casa del servicio técnico). Mientras tanto debe de disponerse de otro variador equivalente, o dejar la instalación sin funcionamiento. (Pulido, 2000)

## **Principio de control VVC**

Con VVC, el circuito de control aplica un modelo matemático que calcula la magnetización óptima del motor con cargas variables utilizando parámetros de compensación.

### **Los tiempos de conmutación se determinan cuando**

Las otras dos fases varían de forma proporcional para que la tensión de salida resultante vuelva a ser sinusoidal y alcance la amplitud correcta.

### **Tensión entre fases para el motor**

Se consigue la magnetización óptima del motor porque el convertidor de frecuencia tiene en cuenta las constantes del motor para calcular la tensión de salida óptima.

### **Principio de control VVCplus**

Se basa en un modelo perfeccionado de motor que mejora la compensación de deslizamiento y carga, porque los componentes de la corriente activa y reactiva están disponibles para el sistema de control, y porque controlar el ángulo del vector de tensión mejora significativamente el rendimiento dinámico en el rango de 0-10 Hz, donde las unidades PWM U/F estándar suelen tener problemas.

### **Propiedades**

Pérdidas de conmutación en el inversor. Pérdidas de conmutación reducidas en el inversor. El principio de control se explica con el diagrama de circuito equivalente y el diagrama de control básico. La tensión sin carga se determina utilizando los datos del motor.

La tensión adicional  $U$  como se determina utilizando la corriente sin carga, la corriente activa y el rango de velocidad.

### **Control campo orientado**

El control vectorial puede diseñarse de varias maneras. Los problemas se aprecian al comparar un motor de CC y un motor trifásico asíncrono

Esta técnica divide el control del estado de excitación independiente de la carga y el par, por lo que es posible controlar un motor asíncrono tan dinámicamente como un motor de CC, siempre que se disponga de una señal de realimentación.

### **Característica de V/f y control vectorial**

Con esta técnica es relativamente sencillo adaptar el convertidor de frecuencia al motor y la técnica es sólida frente a cargas instantáneas en todo el rango de velocidad. En unidades de control vectorial, el convertidor de frecuencia debe configurarse con exactitud en relación al motor, para lo cual se precisan conocimientos detallados.

### **Compensación de carga de VVCplus**

Independientemente del par de carga real, la fuerza del campo magnético del motor y la velocidad del eje se mantienen en el valor del comando de referencia de velocidad.

### **Optimización automática de energía**

En muchas aplicaciones donde las unidades funcionan con diferentes ciclos de carga, se puede ahorrar energía reduciendo la fuerza del campo magnético durante el funcionamiento con cargas bajas. En muchas unidades, en particular las que se utilizan con cargas cuadráticas, también pueden ajustarse características V/F especiales para aumentar el ahorro energético. Como solución intermedia entre el ahorro óptimo y la necesidad real de la aplicación de un par mínimo para rotores bloqueados, se ha establecido un límite inferior. El potencial medio de ahorro energético en unidades pequeñas y medianas es del 3 al 5% de la energía nominal durante el funcionamiento con poca carga.

Un importante efecto secundario y ventaja adicional es que el motor funciona casi sin ruido con cargas bajas, incluso a frecuencias de conmutación bajas y medias.

### **Funcionamiento al límite de intensidad**

En general, los convertidores de frecuencia PWM alimentados con tensión que funcionan con el mero control de la característica V/f no pueden funcionar «uniformemente» al límite de intensidad. En cuanto se alcanza este límite, el convertidor de frecuencia intenta volver a alcanzar la referencia de velocidad interna.

### **Protección contra sobreintensidad**

En este sentido, el ruido es ruido real y sobrecargas cortas, como la conmutación del inversor en cables de motor largos. Para que el inversor sea más robusto aún, se ha incorporado un segundo «tiempo de filtro» que determina a qué frecuencia y con qué asiduidad se enciende el inversor antes de bloquearse finalmente. El usuario ajusta el tiempo de filtro T4 y el nivel de intensidad 4.

**Ejemplo** El resto se determina con los controles y el límite de intensidad de hardware del convertidor de frecuencia.

### **Protección contra altas temperaturas**

Normalmente, se trata de cambiar la frecuencia de conmutación y la intensidad de salida con respecto a las condiciones de refrigeración, la tensión de la red de alimentación y la temperatura ambiente. **T1, T2, T3, T4 Tiempo.**

En T3 se alcanza una intensidad mínima predefinida y se emite una tercera advertencia. Ahora el usuario puede optar por parar el motor de forma controlada o por dejarlo girar con el riesgo de que al llegar T4 el inversor se desconecte finalmente. Además, el usuario puede programar de antemano la reacción de los convertidores de frecuencia ante una situación de fallo determinada.

### **El microchip en general**

La tercera unidad aparece en el gráfico como I/O y contiene las entradas y salidas que el ordenador necesita para comunicarse. El bus de datos transfiere datos entre las unidades, el bus de dirección señala dónde hay que enviar los datos y el

bus de control se encarga de que la secuencia de transmisión sea correcta. Ordenadores para convertidores de frecuencia Además de convertidores de frecuencia con RAM, ROM e I/O, los chips contienen varias unidades adicionales entre las que se encuentra una memoria EEPROM, que permite al usuario programar el ordenador. Las EEPROM pueden programarse y reprogramarse con señales eléctricas, algo necesario para programar el convertidor de frecuencia o almacenar tareas especiales.

Igualmente, el chip de un convertidor de frecuencia se puede equipar con un circuito ASIC, que es un circuito integrado con algunas funciones determinadas por el fabricante del semiconductor. Las demás funciones se pueden programar para ajustarse a tareas específicas establecidas por el fabricante del convertidor, como el principio de control.

### **Entradas y salidas de la tarjeta de control**

Los convertidores de frecuencia de aplicaciones automáticas deben recibir señales de control analógicas y digitales. Las señales analógicas pueden tener cualquier valor dentro de un rango específico. No hay normas para las señales de control. Sin embargo, algunas señales se han convertido en estándares de hecho, como las señales analógicas de 0-10 V o 0/4-20 mA.

Las salidas digitales de un PLC se corresponden con las entradas digitales del convertidor de frecuencia. Como mínimo, éstas aceptan tensiones que suelen oscilar entre 10 y 30 V y proporcionan una intensidad de al menos 10 mA a 20 V.

### **Comunicación**

El display permite supervisar el convertidor de frecuencia, lo cual resulta útil para diagnosticar fallos, como rotura de cables o pérdida de la señal de control. En un proceso, el convertidor de frecuencia se considera componente activo del sistema y puede instalarse con o sin realimentación, es decir, control de lazo cerrado o de lazo abierto.

## **Los PLC**

Una de las mayores ventajas de los PLC es que son capaces de leer y recopilar continuamente las señales de salida que genera un convertidor de frecuencia, como la intensidad y la frecuencia del motor.

### **Un sistema PLC consta de tres componentes básicos**

La unidad de programación desarrolla un programa de control para la unidad de control. La unidad central sólo puede funcionar con señales digitales que alternen entre dos valores, siendo la tensión alta «1» u «ON» y la tensión baja «0» u «OFF». Cuando se conectan directamente, las entradas y salidas del PLC se conectan a las entradas y salidas del convertidor de frecuencia uno a uno con cables distintos.

### **Comunicación serie**

Con la comunicación serie, las señales se transmiten a través de pares de conductores. El estándar RS 485 es el único que ofrece la posibilidad de conectar y manejar numerosas unidades con un par común de cables, y de que las unidades se comuniquen entre sí. Este tipo de conexión sólo precisa dos conductores para que las unidades puedan enviar y recibir datos por turnos con un bus.

El convertidor de frecuencia controla el motor según las señales que recibe del PLC. También envía señales de estado al PLC e informa sobre los efectos de las señales de control en el motor/proceso. Si el convertidor de frecuencia se detiene debido a condiciones de funcionamiento anormales, transmite señales de alarma al PLC.

Para intercambiar información entre el convertidor de frecuencia y el PLC o PC con un interfaz serie, hace falta un protocolo, la transferencia de datos a todas las unidades, que permite funciones como el arranque/parada simultáneo cuando no se requiere realimentación de las unidades.

## **Comunicación abierta por BUS**

Una de las redes de bus de campo más respaldadas y probadas para todos los productos, incluidas nuestras unidades, es PROFIBUS.

## **Protocolo FMS**

El protocolo FMS se utiliza en áreas como el sector textil, la gestión de edificios y la tecnología de las unidades, accionadores y sensores y componentes de conmutación de baja tensión.

## **Protocolo DP**

Es idóneo como sustituto de las costosas transmisiones de señales en paralelo con 24 V y la transmisión de valores medidos con 20 mA, y se usa principalmente en procesos de fabricación automatizados de alta velocidad.

## **Tipo de carga (par constante o par variable)**

Rango de velocidad y método de control (protocolo de comunicación PLC requerido, señal 4-20mA, etc.), necesidades especiales de la caja (dónde se montará el VFD, interior/exterior/etc.)

Una vez se disponga de la información de la placa característica del motor y de cómo se quiere instalar y controlar el variador de frecuencia, es el momento de conocer algunas especificaciones importantes de cada variador de frecuencia que pueden ayudar a decidir cuál se ajusta mejor a las necesidades. En Ultatek somos distribuidores autorizados de variadores de frecuencia TOSHIBA, contacta ahora con uno de nuestros asesores para que te den soporte sobre la selección del variador de frecuencia adecuado según las características de carga de tu aplicación.

## **Especificaciones del variador de frecuencia, Amperios a plena carga (FLA)**

Los amperios a plena carga se utilizan para determinar el tamaño del variador. El FLA de un motor debe coincidir con el valor nominal de corriente del variador de

frecuencia a escoger. Además, se puede adquirir un variador de frecuencia con un valor nominal de corriente superior al que requiere el motor como medida de seguridad, lo que proporcionará un pequeño margen para la aplicación. Esto es especialmente importante cuando se tiene una carga de alta inercia, o una carga que es difícil de arrancar. Un valor nominal de corriente sobredimensionado del variador de frecuencia permitirá funcionar mejor y ser más fiable a largo plazo, ya que no está funcionando a la capacidad máxima del variador de frecuencia.

### **Caballos de fuerza (HP)**

Conocer la carga o los caballos de fuerza del motor es una buena forma de reducir las opciones para que se ajusten a una aplicación, pero no debe utilizarse como referencia directa para determinar el variador de frecuencia. Debido a las variables de los requisitos de la carga, como las RPM, es probable que el dimensionamiento de un variador de frecuencia basado únicamente en los HP pueda causar problemas.

### **Tensión y fase**

En el caso de una entrada trifásica, es fundamental adaptar la tensión del variador de frecuencia y del motor a la tensión disponible en el campo. Normalmente se trata de 220/230 VCA para aplicaciones de baja tensión. Para una entrada monofásica, hay que tener en cuenta que, en el caso de tener un motor trifásico, pero sólo energía monofásica, el variador de frecuencia puede actuar como un convertidor de fase. Si la carga es de 3 CV o menos, hay varios variadores de entrada monofásica que pueden valer. Como regla general, se debe multiplicar el FLA del motor por 2 y seleccionar un variador de frecuencia con un valor nominal del doble del FLA del motor.

También es útil utilizar una reactancia de línea cuando se aplica una potencia de entrada monofásica al variador. Esto se debe a que los variadores de frecuencia pueden contaminar la energía. Cuando se utilizan como convertidores de fase, son aún más contaminantes para la calidad de la energía.

### **Tipo de carga (par constante o par variable)**

Conocer el perfil de la carga (rango de velocidad, par, y potencia) es esencial a la hora de seleccionar un motor y los variadores de frecuencia adecuados para la aplicación. En general, las cargas pueden agruparse en cinco categorías y el tamaño de la carga, la velocidad requerida y la aceleración/desaceleración definirán el par y la potencia requerida.

**Cargas de par constante:** Con las cargas de par constante, el par no es una función de la velocidad. A medida que cambia la velocidad, el par permanece constante y los caballos de fuerza cambian linealmente con la velocidad. Las cargas de par constante hacen que los motores consuman una corriente relativamente alta a bajas velocidades en comparación con las aplicaciones de par variable. Para este tipo de uso, el variador de frecuencia debe ser capaz de proporcionar un alto par de arranque (1,5 veces o más el índice nominal) para superar la fricción estática y la inercia de la carga. Para mantener un par constante, que está directamente relacionado con la corriente, la tensión que va del VFD al motor se incrementa a medida que aumenta la velocidad.

**Cargas de par variable:** Estas cargas requieren un par mucho menor a bajas velocidades y el par aumenta rápidamente a altas velocidades. A medida que el motor gira más rápido, la carga en el motor aumenta. Este tipo de cargas se representa aproximadamente suponiendo que el par de carga requerido es proporcional al cuadrado de la velocidad. Normalmente, a medida que la velocidad disminuye, el par disminuye con el cuadrado de la velocidad y la potencia disminuye con el cubo de la velocidad. Las cargas de par variable incluyen las bombas centrífugas, ventiladores y sopladores. Cuanto más rápido gire el motor más corriente consume el variador de frecuencia para proporcionar el par demandado.

**Cargas de potencia constante:** Para algunas máquinas, el par requerido disminuye a medida que aumenta la velocidad. Este se aplica especialmente a la potencia

constante cuando el motor proporciona un par que es inversamente proporcional a la velocidad del motor. Con estas cargas, la potencia es constante, por lo que rara vez se producirá un ahorro de energía cuando se reduce la velocidad. Para cargas de potencia constante, el par es inversamente proporcional a la velocidad. Por encima de la velocidad base, la tensión suministrada al motor no puede aumentarse ya que alcanza su límite máximo. A medida que el accionamiento sigue velocidad, y la tensión se mantiene igual, la corriente que llega al motor empieza a disminuir lo que significa que el par también disminuye. Entre estas aplicaciones se encuentran las bobinadoras de par constante con accionamiento central y los tornos de pelado de troncos.

**Cargas de impacto:** Estas cargas exigen un par intermitente y no dependen de la velocidad del motor. Por ejemplo, una que utiliza un gran volante de inercia para suministrar la energía mecánica necesaria para la carga. Las aplicaciones de prensado requieren que el motor y el variador de frecuencia produzcan suficiente par de aceleración para devolver el volante a la velocidad requerida antes del comienzo de la siguiente carrera de trabajo.

**Cargas del tipo de arranque/desconexión:** Las cargas que tienen una gran inercia exigen más par en el arranque. Por lo tanto, el par de arranque es el par inicial que se requiere para mover una carga y define el par de arranque del motor y el valor nominal de la corriente de salida del variador de frecuencia. Si el par de arranque no se tiene en cuenta, el variador de frecuencia puede dispararse debido al límite de corriente y el motor no puede arrancar la carga. El límite de corriente se ajusta en función de la carga de arranque. En general, el par de arranque se expresa como un porcentaje del par a plena carga.

Los variadores de velocidad pueden utilizarse en las cinco categorías de tipos de carga, incluidas las que exigen un par constante y variable.

La correcta selección de variadores de frecuencia ayuda a proporcionar el control adecuado para cualquier aplicación en función del tipo de carga, tensión de entrada, potencia de entrada, tipo de motor y la carcasa del accionamiento.

### **Rango de velocidad**

El variador de frecuencia permite que el motor funcione por debajo y por encima de la velocidad. En general, un motor no debería funcionar a menos del 20% de su velocidad máxima permitida especificada. Si se hace funcionar un motor a menos de esta velocidad sin tomar precauciones para protegerlo, el motor se sobrecalienta. Si se pretende hacer funcionar el motor a bajas velocidades, deben tomarse las precauciones adecuadas para protegerlo, como por ejemplo utilizar un ventilador auxiliar de refrigeración independiente.

Un variador de frecuencia también puede hacer que un motor funcione más rápido que el valor de velocidad que figura en su placa. Como regla general, los motores no deben funcionar a más del 20% de su velocidad nominal. Tenga en cuenta que, si supera la velocidad de diseño, perderá par. Además, debe asegurarse de que su motor no funcione constantemente por encima del valor nominal de FLA.

Selección de variadores de frecuencia en función de los métodos de control.

Cuando se hace la selección de variadores de frecuencia, se debe tener claro el método de control. Muchos usuarios necesitan comunicaciones Ethernet para obtener la información correcta de los variadores a los PLC y a los sistemas de automatización de la producción. Cada vez son más las operaciones que recurren a estos sistemas de comunicación avanzados, pero algunos variadores económicos no incluyen estas opciones.

### **Algunos de los métodos de control son:**

Control de 2 hilos o control de 3 hilos: El control de 2 hilos suele ser un interruptor de retención con la posición de apagado que detiene el accionamiento y la

posición de encendido que lo pone en marcha. El control de 3 hilos permite el uso de un botón de arranque y otro de parada.

Potenciómetro de velocidad: Permite al operador ajustar la velocidad del motor con un potenciómetro.

Programación digital / Unidad de visualización: Permite al operador programar y solucionar problemas del accionamiento introduciendo valores mediante un teclado a través de una unidad de visualización LED o LCD. La unidad de visualización también puede utilizarse para supervisar el funcionamiento del accionamiento.

Seguidor de señales analógicas: 4-20mA o 0-10VDC, debe proporcionarse una entrada aislada para el variador de frecuencia y pares trenzados/apantallados. Los cables deben mantenerse alejados de la CA trifásica, especialmente de la PWM. (Pulido, 2000)

## **4.5. Criterios para selección de variador de frecuencia.**

### **4.5.1. Criterios**

Seleccionar un convertidor de frecuencia para accionamientos de velocidad variable requiere mucha experiencia. Si se carece de ella, a menudo es útil visitar una planta de referencia con aplicaciones similares o exposiciones y ferias. A continuación, se incluye una breve lista de verificación con los puntos que deben tenerse en cuenta:

#### **1. Detalles que hay que controlar sobre la máquina.**

- Características necesarias de la planta o máquina
- Características de par, par de parada, par de aceleración
- Rango de control de velocidad, refrigeración
- Consumo energético del convertidor y el motor
- Cuadrantes de funcionamiento

- Compensación de deslizamiento (dinámica)
- Tiempos de aceleración y deceleración necesarios
- Tiempos de frenado necesarios, tiempo de funcionamiento del freno
- Unidades directas, engranajes, componentes de transmisión, momento de inercia de la masa
- Sincronización con otras unidades
- Controles, tiempo de funcionamiento
- Enlace con el ordenador, interfaces, visualización
- Diseño y tipo de protección
- Posibilidad de integrar inteligencia descentralizada en el convertidor de frecuencia.

## **2. Detalles del entorno.**

- Altura de la instalación, temperatura ambiente
- Requisitos de refrigeración, opciones de refrigeración
- Condiciones climáticas, como humedad, agua, suciedad, polvo, gases
- Normas especiales, por ejemplo, para minería, sector químico, construcción naval, tecnología de alimentación
- Ruido acústico

## **3. Red de alimentación**

- Tensión de la red, fluctuaciones de tensión
- Rendimiento de la red
- Fluctuaciones de la frecuencia de la red
- Interferencias de red
- Protección contra cortocircuito y sobretensión
- Caída de tensión de la red.

#### **4. Mantenimiento, funcionamiento, personal.**

- Formación e instrucción de operadores.
- Mantenimiento.
- Piezas y unidades de repuesto.

#### **5. Criterios financieros.**

- Costes de adquisición (componentes).
- Requisitos de espacio, instalación integrada, diseño.
- Costes de instalación.
- Puesta en marcha del sistema.
- Costes de configuración.
- Costes de funcionamiento.
- Rendimiento del sistema (convertidor de frecuencia y máquina).
- Requisito de energía reactiva y compensación de cargas armónicas.
- Duración del producto.

#### **6. Medidas de protección para operadores/convertidor/motor.**

- Aislamiento galvánico conforme con PELV.
- Caída de tensión de fase.
- Conmutación en la salida del convertidor.
- Protección de tierra y cortocircuitos.
- Bobinas del motor para reducir los tiempos de elevación de tensión,  $U/dt$ .
- Supervisión térmica electrónica y conexión de termistores.

#### **7. Estándares/normas.**

- Nacionales DIN, BS, UL, CSA, VDE, EN europea.
- Internacionales IEC, CE, etc.

## **8. Consideraciones medio ambientales.**

- Posibilidad de reciclar el producto.
- Práctica de fabricación.
- Factores de ahorro energético

Con esta lista puede seleccionarse un convertidor de frecuencia que cubra la mayoría de los elementos de forma estándar, pero también hay que comprobar:

- Si el convertidor tiene bobinas de red o de circuito intermedio para reducir enormemente las interferencias de red.
- Si hay un filtro RFI de clase A o B de forma estándar o si hay que adquirirlo por separado.
- Si se requiere pérdida de potencia del motor cuando se usa un convertidor de frecuencia.
- Si el propio convertidor está protegido contra tierra y cortocircuitos.
- Si el convertidor reacciona adecuadamente en una situación de fallo.

(Pulido, 2000)

#### 4.6. Selección de variador de frecuencia ACS480-04-033A-4

El variador de frecuencia ABB ACS480 es una excelente opción para controlar la velocidad de motores eléctricos en diversas aplicaciones. Este variador de frecuencia ofrece una amplia gama de características y funcionalidades que pueden adaptarse a diferentes necesidades.

El ABB ACS480 está diseñado para aplicaciones de potencia media, con una capacidad de hasta 500 kW. Ofrece un control preciso de la velocidad y el par motor, lo que te permite ajustar la velocidad de tu motor de acuerdo con los requisitos específicos de tu aplicación.

Este variador de frecuencia también cuenta con funciones avanzadas de ahorro de energía, lo que te permite optimizar el consumo de energía y reducir los costos operativos. Además, ofrece una protección integral para tu motor, con características como protección contra sobrecargas, cortocircuitos y sobretensiones.

El ABB ACS480 es fácil de instalar y configurar, y cuenta con una interfaz de usuario intuitiva que facilita su operación. También es compatible con una amplia gama de protocolos de comunicación, lo que te permite integrarlo fácilmente en tu sistema existente.

En resumen, el variador de frecuencia ABB ACS480 es una opción confiable y versátil para controlar la velocidad de tus motores eléctricos. Sin embargo, te recomendaría consultar con un especialista en variadores de frecuencia o contactar directamente a ABB para obtener información más detallada y asegurarte de que cumple con todos tus requisitos específicos.

#### 4.7. Bomba tipo centrífuga instalada, weg etaprimé 65-180 gl11

Las bombas centrífugas son un tipo de bomba hidráulica que transforma energía mecánica en energía cinética de presión a un fluido. Las bombas centrífugas aumentan la velocidad de los fluidos para que estos puedan desplazarse grandes distancias.

La bomba centrífuga, debido a sus características, conforman la clase de bombas hidráulicas de más aplicación dentro de la industria ya que son las más utilizadas para bombear líquidos en general y permiten movilizar grandes cantidades de agua.

Hay muchos sectores industriales que necesitan usar bombas centrífugas en sus procesos mecánicos. Algunos de los sectores que más utilizan bombas centrífugas son la industria química, el sector de la automoción, la industria cosmética para el desarrollo de cremas o la industria alimentaria para la elaboración de todo tipo productos alimenticios.

Una bomba tiene la función de hacer circular el agua desde el equipo generador (caldera o planta frigorífica) hasta el terminal de uso. Para ello la bomba debe suministrar un caudal de agua cuya presión sea suficiente para vencer las resistencias a lo largo del circuito de distribución. A lo largo de este tema se analizará el comportamiento de las bombas centrífugas, que son las más utilizadas en este tipo de aplicaciones.

#### 4.7.1. Tipo de bomba instalada

La bomba tipo centrifuga instalada en la empresa es un WEG Etaprime 65-180 GL11 la cual se muestra en la siguiente imagen y de igual manera un datasheet de la misma.



*Figura No. 9: Bomba de agua potable instalada en Biwater.*

#### 4.7.2. Datasheet de bomba tipo centrifuga WEG Etaprime 65-180GL11

Descripción	Denominación
Modelo	Etaprime
Diámetro nominal de impulsión	65
Diámetro nominal de rodete	180
Material de la carcasa	G
Caudal	154.98 US.GPM
Altura	54.28 m
NPSH disponible	8.09 m
NPSH bomba	4.1 m
Presión de entrada	-0.2 bar
Presión de descarga	512 bar
Máxima presión de descarga Perm.	10 bar
Diámetro del rodete	180 mm
Velocidad del diseño	3,498 RPM
Eficiencia	59%
Potencia de absorción	8.81 KW
Motor (marca)	WEG
Voltaje	460 V
Frecuencia	60 Hz
Potencia	20 HP (15kW)
Carcasa espiral	JL1040
Rodete	JL1040
Eje	145+N
Casquillo del eje/	1.4571
Placa base/apoyo	Acero
Acoplamiento	JL1040
Guarda del acoplamiento	Acero

*Tabla No 1: Datos de bomba tipo centrifuga en Biwater.*

Empresas Biwater consta de un banco de siete bombas tipo centrifugas de diferentes potencias las cuales están conectadas en la tubería principal de agua potable para los procesos internos de la empresa, todo esto con el fin de suministrar la presión adecuada a las tuberías para el uso adecuado de cada área en la empresa.

Las condiciones de este proceso son controlado mediante un logo, el cual es un micro controlador industrial, encargado de dar los mandos de operaciones de suministro de presión al caudal principal de la tubería, enfocados en el dato de las presiones, los cuales están siendo censados por sensores de presión y las condiciones de presión que debe haber en el proceso son las siguientes:

- Presión Mínima: 2 Bar
- Presión de trabajo: 5 Bar.
- Presión Máxima: 8 Bar.

Con la presión mínima el Logo manda a las bombas a cierta cantidad de bombas a operar con el objetivo de aumentar la presión a la adecuada, en esta se localiza la presión de trabajo a la que se desea llegar, debido a que las suma de la presión por parte de las bombas tipos centrifugas puede llegar a ser excesiva , llegando a la presión máxima, que es donde el Logo manda a detener cierta cantidad de bombas con el fin de dejar con la presión de trabajo, sino detener la inyección de presión en el caudal.

## V. Metodología

La metodología empleada en el desarrollo de este trabajo está basada en el análisis de normas internacionales APA, para la implementación de variadores de frecuencia por medio de un estudio de ahorro energético.

Tipo de estudio:

El método inductivo, es un proceso en el cual se dan pasos del método científico en el cual se obtienen conclusiones generales a partir de los estudios según las condiciones de dicho proyecto abarcado en este caso consta de variables que lo constituyen que ayudan a ver que el método de la investigación y del proyecto va de la manera correcta.

Métodos utilizados para cumplir los objetivos específicos de la investigación

En esta sección se describirá para cada objetivo específico los métodos a emplear para recopilar datos y obtener información suficiente para presentar resultados que demuestren el cumplimiento de cada objetivo.

Analizar parámetros y características de los variadores de frecuencia.

Para cumplir este objetivo se utilizará documentos (fuente secundaria de información) escrito por la empresa y corporación nacional tecnológica ASEA BROWN BOVERI (ABB), dicho documento con nombre "VARIADORES DE FRECUENCIA DEFINICION Y CARACTERISTICAS "contiene información acerca de los parámetros y el uso adecuado de este equipo.

Determinar las ventajas y desventajas del uso de variadores de frecuencia

Para desempeñar este objetivo se necesitará de fuentes secundarias de información como los manuales ABB y SIEMENS e investigaciones comparativas referente al funcionamiento de un motor con el uso del variador de frecuencia y sin el uso de este.

Calcular el posible ahorro de energía al implementar el uso de variadores de frecuencia.

Para calcular este posible ahorro de energía necesitaremos indagarnos con investigaciones anteriores con proyectos similares a este llevando comparaciones en las facturas de energía cuando mensual pusieron en marcha motores con la aplicación de variadores de frecuencia y cuando no usaron dicho variador.

Estudiar los costos de instalación con respecto al análisis de ahorro energético y en cuanto tiempo recuperar la inversión. Este objetivo se llevará a cabo realizando un estudio técnico en cuanto a mano de obra referente a la conexión e instalación y el costo del variador de frecuencia y en qué tiempo determinado la inversión inicial será reembolsada.

Demostrar con tablas comparativas la selección del variador más completo para la aplicación de bomba de agua tipo centrifuga

Para llevar a cabo estos objetivos necesitaremos un estudio completo de la bomba centrifuga y con ello determinar que el variador cumpla con sus criterios y demandas, una vez completo este estudio vendría la selección de los diversos proveedores que ofertan dichos variadores a como lo es ABB, SIEMENS, entre otros.

Descripción de la instrumentación metodológica seleccionada para cada objetivo

En base a la recolección de datos para este estudio, se plantean las siguientes modalidades esenciales ya que se adhieren a las necesidades de dicha investigación. Las técnicas son las siguientes:

### **Fuentes primarias de información**

Son aquellos recursos documentales que han sido publicados por primera vez, sin ser filtrados, resumidos, evaluados o interpretados por algún individuo. Este tipo de fuentes se derivan de la actividad creativa o investigativa de los seres

humanos. Pueden ser encontradas en diversos formatos, tanto impresos como digitales. Algunas de estas fuentes empleadas en el presente proyecto son:

1. Libros, descriptivos en el proceso de diseños controlables en uso de programación, controladores industriales inteligentes, automatizaciones inteligentes, diseño de sistemas productivos con variadores de frecuencia.
2. Artículos, didácticos de electromecánica con información actualizada sobre todos los avances tecnológicos en lo que respecta a los variadores de frecuencia.
3. Monografías, de temas relacionados con el manejo de soportes tecnológicos, proceso de elaboración de ahorro energético con el uso de variadores de frecuencia para diferentes aplicaciones, automatizaciones de procesos, avances científicos y tecnológicos.
4. Fuentes secundarias de información, tienen como principio recopilar, resumir y reorganizar información contenida en las fuentes primarias. Fueron creadas para facilitar el proceso de consulta, agilizando el acceso a un mayor número de fuentes en un menor tiempo. Para el desarrollo de esta investigación fue necesario el uso de:
5. Documentos otorgados por ABB y SIEMENS que contienen la información requerida para lograr un uso adecuado de los variadores de frecuencias, y de las diferentes funciones que este posee.
6. Dentro de la clasificación de las fuentes secundarias, se encuentran las fuentes públicas de información, como lo son los videotutoriales que permiten perfeccionar el manejo de las herramientas computacionales empleadas para realizar y programar el variador de frecuencia.
7. Checa list, en el cual se mostrarán listados denominando las posibles vistas y características físicas y abstractas del producto en el cual se hará mención de las ventajas y medios de automatización dentro de los procesos productivos que corroboran la optimización de tiempos ociosos y de los recursos.

8. Webinars videos tutoriales del uso y manejo de los variadores de frecuencias proporcionados por ABB Y SIEMENS.

### **Observación de los hechos.**

En el documento se encuentra argumentado las observaciones de los problemas que presentan las empresas industriales en el punto de vista de gastos con respecto a la energía eléctrica, ahora bien, con el punto de vista de investigativo y de desarrollo energético y automatizado se observa que las condiciones en la que se encuentran muchas industrias podrían ser mejores teniendo con ellos variadores de frecuencia debido a su gran desempeño y su ahorro energético.

### **Clasificación y estudios de los hechos:**

Como se había mencionado el estudio según los procesos de este proyecto se clasifica con los datos adquiridos de forma importante para el desarrollo energético en las industrias porque no solo esta empresa piensa en obtener proyectos de eficiencia energética si no hay muchos estudios que arrojan que este proceso es efectivo y por supuesto en el desarrollo eléctrico se puede decir que es muy moderno. Obteniendo así, no solo resultados favorables a la empresa en términos monetarios, sino, en términos de tecnología, viabilidad, control, eficiencia y muchos factores que hacen que el variador de frecuencia será un plus importante en cualquier proceso de toda industria.

## VI. Cálculos y resultados

### 6.1. Estudio financiero

En este informe se analizó detalladamente los aspectos económicos y financieros relacionados con los consumos energéticos de la bomba tipo centrífuga para purificación de agua en empresa Biwater, todos estos nos ayudan a determinar primeramente la importancia que tiene este equipo para los procesos de la empresa, considerando así, la vida útil del equipo, la autonomía y manejo de la misma y por ende los costos económicos que este puede conllevar.

Cabe destacar que el impacto de esta bomba es de vital importancia para la empresa por la finalidad de sus procesos, por ende es bueno destacar en el estudio financiero los aspectos que la hacen menos eficiente debido a las condiciones en la que se encuentra y tomando en cuenta el desgaste y la vida útil de la maquina esto conlleva a costos de mantenimiento, accesorios, y altos consumos de energía por el deterioro interno que pueda presentar.

Obtenido los datos de placa de la bomba y las horas de trabajo que esta presenta a lo largo de un mes, se obtuvo el consumo de energía eléctrica que esta genera en el cumplimiento del proceso establecido, llegando así a la vista que el consumo resulta ser bastante elevado en condiciones ideales para la empresa. Podemos observar en la tabla No.2, los cuales nos muestran los resultados del consumo energético de la bomba tipo centrífuga.

Los cálculos realizados en la tabla No 2, son datos ideales del consumo activo de la bomba y como parte del análisis se proyectó el consumo en un periodo de 5 años sin la adaptación del variador de frecuencia, en el cual se utilizó la siguiente fórmula.

*Consumo real de la bomba (kW) x Horas de trabajo mensual de la bomba*

Obteniendo así, cada uno de los valores que complementan la tabla.

Este procedimiento se realiza por cada uno de los meses del año, teniendo una pequeña variación en las horas de trabajo por mes, ya que se considera que días festivos la bomba trabajara menos horas que los días particulares.

Como consiguiente de lo antes mencionado con respecto al consumo de energía eléctrica demandada por la bomba, conlleva a poder traducirlo a costos monetarios, lo cual al final es el punto importante es toda industria y en toda empresa, si observamos en la tabla No.3, se puede observar los cálculos según la tarifa actual la cual podemos ver en la figura N.10, del sector eléctrico obtenida por la empresa INE(Instituto Nicaragüense de energía) un ente regulador que se encarga de dar las precios tarifarios para el cobro de energía eléctrica en términos de KW/horas. Este se calculó para un lapso de cinco años, aumentando un 5% anual los costos de energía debido a los cambios de precios que hay en la tarifa eléctrica mes a mes, con se destacó en términos ideales el consumo de la máquina y los costos elevados que esta conlleva.

La formula empleada en la tabla No. 3 fue la siguiente:

$$\underline{\text{Consumo mensual de la bomba (KWh)} \times \text{Precio del kW/h}}$$

Con el objetivo de tener múltiples beneficios tanto a la máquina y sus procesos, como a la empresa y sus costos que esta representa, en la tabla No.4, podemos observar el consumo de energía eléctrica que esta genera en el mismo lapso de tiempo que en el estudio anterior, con diferencia que en este se aplica por el método de variador de frecuencia, determinando y garantizando que hay una considerable disminución de energía según las condiciones en la que se encuentra el equipo.

Claro que no está demás destacar lo que el método por variador de frecuencia genera en términos económicos, los cuales son el obtuvo del estudio en si, y esto los podemos observar en la tabla No.4, donde observamos los costos monetarios que esta representa.

Formula utilizada en la tabla No 4, considerando el ahorro del 5% que el variador ofrece:

$$\underline{\text{Consumo real de la bomba (kWh)} \times \text{Horas de trabajo mensual de la bomba}} \\ \underline{- 5\% \text{ de ahorro del variador}}$$

A partir de la tabla No 4, los resultados están dados ya con la aplicación del variador de frecuencia en la bomba

En la tabla No 5, la formula empleada fue la siguiente:

$$\underline{\text{Consumo mensual de la bomba (KWh)} \times \text{Precio del kW /h}}$$

## 6.2. Consumo eléctrico anual.

Meses del año	Horas de trabajo	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Enero	550 hrs	8,250 Kw				
Febrero	560 hrs	8,400 Kw				
Marzo	560 hrs	8,400 Kw				
Abril	530 hrs	7,950 Kw				
Mayo	550 hrs	8,250 Kw				
Junio	560 hrs	8,400 Kw				
Julio	550 hrs	8,250 Kw				
Agosto	540 hrs	8,100Kw	8,100Kw	8,100Kw	8,100Kw	8,100Kw
Septiembre	540 hrs	8,100 Kw				
Octubre	560 hrs	8,400 Kw				
Noviembre	560 hrs	8,400 Kw				
Diciembre	550 hrs	8,250 Kw				
TOTAL	6,610 hrs	99,150 Kw				

Tabla No. 2: Proyecciones de consumo eléctrico anual de la bomba sin el variador de frecuencia

### 6.3. Consumo del costo de energía eléctrica.

Meses del año	Costo de tarifa para industria	Año 1	Año 2 (5%↑)	Año 3 (5%↑)	Año 4 (5%)	Año 5 (5%↑)
Enero		C\$50,386.88	C\$52,906.22	C\$55,551.53	C\$58,329.11	C\$61,245.56
Febrero		C\$51,303.00	C\$53,868.15	C\$56,561.56	C\$59,389.64	C\$62,359.12
Marzo		C\$51,303.00	C\$53,868.15	C\$56,561.56	C\$59,389.64	C\$62,359.12
Abril	Código: T-5	C\$48,554.63	C\$50,982.36	C\$53,531.47	C\$56,208.05	C\$59,018.45
Mayo	Industrial Mayor	C\$50,386.88	C\$52,906.22	C\$55,551.53	C\$58,329.11	C\$61,245.56
Junio		C\$51,303.00	C\$53,868.15	C\$56,561.56	C\$59,389.64	C\$62,359.12
Julio	Precio por KW/h	C\$50,386.88	C\$52,906.22	C\$55,551.53	C\$58,329.11	C\$61,245.56
Agosto	(2023): C\$	C\$49,470.75	C\$51,944.29	C\$54,541.50	C\$57,268.58	C\$60,132.01
Septiembre	6.1075	C\$49,470.75	C\$51,944.29	C\$54,541.50	C\$57,268.58	C\$60,132.01
Octubre		C\$51,303.00	C\$53,868.15	C\$56,561.56	C\$59,389.64	C\$62,359.12
Noviembre		C\$51,303.00	C\$53,868.15	C\$56,561.56	C\$59,389.64	C\$62,359.12
Diciembre		C\$50,386.88	C\$52,906.22	C\$55,551.53	C\$58,329.11	C\$61,245.56
TOTAL		C\$605,558.63	C\$605,558.63	C\$635,836.56	C\$667,628.38	C\$701,009.80

Tabla No 3. Proyección de Consumo anual de bomba en precio monetario sin el variador de frecuencia

#### 6.4. Análisis de consumo energético de bomba tipo centrífuga con variador de frecuencia ACS480

Meses del año	Horas de trabajo	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Enero	550 hrs	7838 Kw				
Febrero	560 hrs	7980 Kw				
Marzo	560 hrs	7980 Kw				
Abril	530 hrs	7553 Kw				
Mayo	550 hrs	7838 Kw				
Junio	560 hrs	7980 Kw				
Julio	550 hrs	7838 Kw				
Agosto	540 hrs	7695 Kw				
Septiembre	540 hrs	7695 Kw				
Octubre	560 hrs	7980 Kw				
Noviembre	560 hrs	7980 Kw				
Diciembre	550 hrs	7838 Kw				
TOTAL	6,610 hrs	94193 Kw				

Tabla No 4. Proyección de consumo eléctrico generado por la bomba anualmente con el variador de frecuencia

### 6.5. Consumo del costo de energía eléctrica.

Meses del año	Costo de tarifa para industria	Año 1	Año 2 (5%↑)	Año 3 (10%↑)	Año 4 (10%)	Año 5 (15%↑)
Enero		C\$47,870.59	C\$50,264.11	C\$52,777.32	C\$55,416.19	C\$58,187.00
Febrero		C\$48,737.85	C\$51,174.74	C\$53,733.48	C\$56,420.15	C\$59,241.16
Marzo		C\$48,737.85	C\$51,174.74	C\$53,733.48	C\$56,420.15	C\$59,241.16
Abril	Código: T-5	C\$46,129.95	C\$48,436.44	C\$50,858.27	C\$53,401.18	C\$56,071.24
Mayo	Industrial Mayor	C\$47,870.59	C\$50,264.11	C\$52,777.32	C\$55,416.19	C\$58,187.00
Junio		C\$48,737.85	C\$51,174.74	C\$53,733.48	C\$56,420.15	C\$59,241.16
Julio	Precio por	C\$47,870.59	C\$50,264.11	C\$52,777.32	C\$55,416.19	C\$58,187.00
Agosto	KW/h: C\$	C\$46,997.21	C\$49,347.07	C\$51,814.43	C\$54,405.15	C\$57,125.41
Septiembre	6.1075	C\$46,997.21	C\$49,347.07	C\$51,814.43	C\$54,405.15	C\$57,125.41
Octubre		C\$48,737.85	C\$51,174.74	C\$53,733.48	C\$56,420.15	C\$59,241.16
Noviembre		C\$48,737.85	C\$51,174.74	C\$53,733.48	C\$56,420.15	C\$59,241.16
Diciembre		C\$47,870.59	C\$50,264.11	C\$52,777.32	C\$55,416.19	C\$58,187.00
TOTAL		C\$575,283.75	C\$575,283.75	C\$604,047.93	C\$634,250.33	C\$665,962.85

Tabla No 5. Proyección de costos monetarios de la bomba anualmente con el variador de frecuencia

## 6.6. Cálculo de Ahorro energético

### 6.6.1. Costos iniciales

Ahora bien en términos de costos iniciales la inversión de compra e instalación del variador de frecuencia, resulta ser un tanto elevado en términos de estudio a corto plazo, de hecho podemos observar en la figura No.11, el precio del variador ABB seleccionado para esta aplicación, un costo considerable tomando en cuenta que se deben de incluir los costos de instalación

Se solicita la cotización del suministro de un variador de frecuencia para controlar la velocidad.

En ella debemos de identificar los siguientes datos:

- Voltaje de la Red: 460V
- Frecuencia de la red: 60Hz
- Potencia del variador: 20HP

Las cuales son los principales datos que se deben determinar para poder instalarlo en implementarlo en el sistema.

Una de las cotizaciones se aproxima a los USD \$1,723.05 neto, por lo tanto, se tiene que el costo de instalación aproximado es de USD \$ 402.5 neto, por lo tanto, el costo total de la implementación será de aproximadamente USD 2,125.55 neto.

La cotización que se obtuvo fue por parte de Casa McGregor la cual fue la siguiente:

### 6.6.2. Calculo de ahorro energético

Para realizar el cálculo de ahorro energético se compara la energía consumida a velocidad constante por la bomba y la energía consumida por la bomba con el variador de frecuencia implementado para el control de velocidad, el cálculo de esto lo reflejaremos en el lapso de un año.

Esta relación nos permitirá saber cuál será el ahorro de energía logrado, obtenida por la siguiente fórmula:

$$\text{Ahorro } E = E1 - E2, \text{ Ecuación No 1. Ahorro de energía resultante}$$

Donde:

E1 = Energía consumida por la bomba a velocidad constante.

E2 = Energía consumida por la bomba con variador de frecuencia implementado.

Obteniendo así:

$$E1 = 99,150 \text{ KWh/Año}$$

$$E2 = 94,193 \text{ KWh/Año}$$

$$\text{Ahorro } E = (99,150 - 94,193) \frac{\text{Kwh}}{\text{Año}}$$

$$\text{Ahorro } E = 4,957 \frac{\text{Kwh}}{\text{Año}}$$

El ahorro que se puede alcanzar implementando variadores de frecuencia de velocidad depende de la curva de caracterización de la carga asociada a la bomba o en otras palabras su comportamiento de operación.

En este caso en la aplicación se hizo un promedio valorado con las características que presente el proceso en la planta de Biwater y enfocada en la bomba tipo centrífuga, o tenemos que la energía ahorrada es de 4,957 Kwh/Año, usando el variador de frecuencia contra un consumo de 99,150 Kwh/Año, sin usar el variador de frecuencia.

Del resultado anterior se calcula el el valor del ahorro energético en porcentaje:

$$\text{Ahorro } E(\%) = \text{Ahorro} \frac{E}{E1}$$

*Ecuación No 2. Ahorro energético en porcentaje*

$$\text{Ahorro } E(\%) = \frac{(4,957 \frac{\text{Kwh}}{\text{año}})}{(99,150 \frac{\text{Kwh}}{\text{Año}})} * 100\%$$

$$\text{Ahorro } E(\%) = 4.99 \%$$

El cual nos indica que se podría alcanzar un ahorro del casi 10 % de energía si se está consumiendo con las características presentadas.

### 6.6.3. Cálculo del costo de energía ahorrada

El costo del Kwh para área industrial mayor con código T-5 se cobra 5.9523 córdobas, se toma el resultado del cálculo de ahorro energético y estese multiplica por el precio de la tarifa según la institución nicaragüense de energía.

$$\text{Ahorro}(\text{Kwh}) = 4,957 \text{ Kwh}$$

$$\text{Ahorro}(\text{C\$}) = \text{Precio del Kwh} * \text{Ahorro}(\text{Kwh})$$

$$\text{Ahorro}(\text{C\$}) = \text{C\$ } 6.1075 * 4,957 \text{ Kwh}$$

*Ecuación No 3. Calculo de energía ahorrada*

$$\text{Ahorro}(\text{C\$}) = \text{C\$ } 30,274.87$$

*Figura No 11. Pliego Tarifario*

#### 6.6.4. Cálculo del Retorno de la inversión

Para este paso existen diferentes tipos de métodos para identificar si un proyecto es viable económicamente, en el presente proyecto de tesis se usará el cálculo por medio de la división entre los costos de adquisiciones e instalación y la energía ahorrada, esto da como resultado un valor en años. Con ellos podemos determinar dos puntos importantes como los son el PRI(Periodo de retornos de la inversión y el TIR(Tasa interna de retorno).

$$\text{Retorno de la inversio(Anual)} = \frac{(\text{Costo de adquisicion} + \text{costo de isntalacion})}{\text{Ahorro(En la moneda que se este manejando)}}$$

*Ecuación No 4. Cálculo de retorno de inversión*

$$\text{Retorno de la inversio(Anual)} = \frac{\text{C\$ } (63,132.55 + 14,747.6)}{\text{C\$ } 30,274.87}$$

$$\text{Retorno de la inversio(Anual)} = 2.6 \text{ años}$$

#### 6.6.5. Factibilidad de la inversión

De acuerdo al cálculo del retorno de la inversión y a las directrices de la compañía en cuanto a tiempos para recuperar la inversión, se define si el proyecto es viable económicamente.

En el análisis realizado se observa que los costos de inversión son altos, aunque se identifique teóricamente que se va a obtener un ahorro de energía considerable y la inversión se recuperaría en un plazo muy satisfactorio, se debe considerar que Biwater es una planta de tratamiento de agua y el flujo en los sistemas de bombes son constantes y que incluso la demanda podría ser mayor viendo a futuro, así que podemos concluir que el proyecto es viable y recomendado en estos procesos.

## VII. Conclusión

En conclusión, el análisis detallado de los parámetros y características de los variadores de frecuencia ha permitido seleccionar adecuadamente el equipo necesario para optimizar el proceso de la bomba de agua tipo centrífuga. Se ha garantizado que el variador elegido cumple con los requisitos de potencia, rango de frecuencia y tipo de control, así como con las protecciones necesarias para asegurar un funcionamiento eficiente y duradero del sistema. Siendo así el variador de frecuencia ABB ACS480 el más factible para esta aplicación.

Las ventajas identificadas, como el ahorro de energía, la reducción de picos de corriente y la mejora en el control de velocidad y presión, superan las posibles desventajas, como el costo inicial más alto y los requerimientos de mantenimiento especializado. Esto respalda la elección del variador de frecuencia como una solución efectiva para optimizar el rendimiento de la bomba de agua centrífuga.

La proyección del ahorro de energía mediante el cálculo preciso y la consideración de los costos de instalación han proporcionado una visión clara de la viabilidad económica de la propuesta. Se ha demostrado que, a pesar de la inversión inicial, el ahorro anual de energía resulta en un período de retorno de la inversión que respalda la eficiencia económica del proyecto.

El proceso de selección, análisis y proyección ha sido integral y ha cumplido con los objetivos establecidos para garantizar la eficacia y rentabilidad de la implementación del variador de frecuencia en la bomba de agua centrífuga, brindando una solución sostenible y eficiente desde los puntos de vista técnico y económico.

## VIII. Recomendaciones

Basado en los hallazgos, se sugiere la implementación de variadores de frecuencia en sus bombas de agua para la realización de procesos de purificación de agua potable además de un análisis más detallado y específico para identificar los equipos y procesos que se beneficiarían más de esta tecnología, así como la evaluación de costos y beneficios a largo plazo. Además, se recomienda realizar una comparativa detallada de diferentes tipos de variadores de frecuencia disponibles en el mercado para determinar cuál se adapta mejor a las necesidades y exigencias de la planta de tratamiento de agua.

1. Realizar datos técnicos de consumo real en las bombas instaladas.
2. Incorporar variadores de frecuencia a las demás bombas que complementan el proceso.
3. Instalar todos los variadores de la misma línea y así se puede obtener una autonomía general, tanto de las maquinas como del proceso.
4. Integrarlo a un sistema Scada con el objetivo de monitorear todos los datos de la máquina y del proceso en tiempo real.

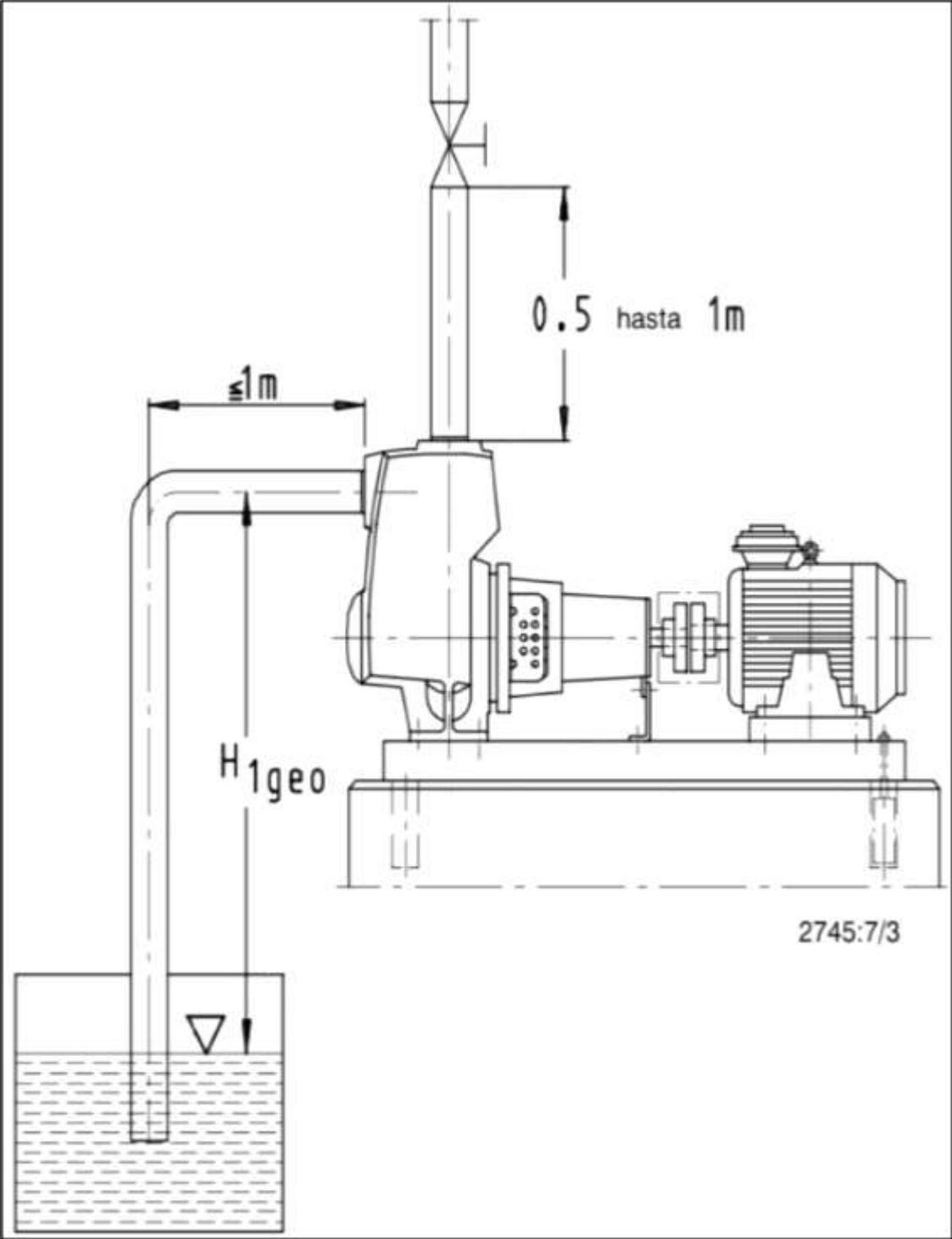
## IX. Referencias bibliográficas.

- ABB. (2022). *Variadores de frecuencia*. Recuperado el 05 de Enero de 2022, de New ABB:  
<https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>
- ABB. (11 de 10 de 2023). *ACS310 convertidores de proposito general*. Obtenido de  
<https://new.abb.com/drives/es/convertidores-baja-tension-ca/proposito-general/acs310>
- ABB. (11 de 10 de 2023). *ACS550 - Convertidores de propósito general*. Obtenido de  
<https://new.abb.com/drives/es/convertidores-baja-tension-ca/proposito-general/acs550>
- ABB. (10 de 10 de 2023). *Aplicacion de gruas con variadore ABB*. Obtenido de  
<https://new.abb.com/drives/es/industrias-aplicaciones/gruas>
- ABB. (10 de 10 de 2023). *Bombeo solar con variadores de frecuencia ABB*. Obtenido de  
<https://new.abb.com/drives/es/convertidores-baja-tension-ca/maquinaria/variadores-bombeo-solar>
- ABB. (10 de 10 de 2023). *Compresores y soplantes de variadores de frecuencia ABB*.  
Obtenido de <https://new.abb.com/drives/es/industrias-aplicaciones>
- ABB. (11 de 10 de 2023). *Convertidor de propósito general, ACS580*. Obtenido de  
<https://new.abb.com/drives/es/convertidores-baja-tension-ca/proposito-general/acs580>

- ABB. (11 de 10 de 2023). *Convertidores de frecuencia únicos ACS880*. Obtenido de <https://new.abb.com/drives/es/convertidores-baja-tension-ca/industriales/convertidores-unicos-ac880>
- ABB. (11 de 10 de 2023). *Nuevo convertidor de frecuencia de propósito general ACS480*. Obtenido de <https://new.abb.com/drives/es/convertidores-baja-tension-ca/proposito-general/acs480>
- ABB. (10 de 10 de 2023). *Variadores ABB para la industria del agua*. Obtenido de <https://new.abb.com/drives/es/industrias-aplicaciones/bombeo-de-agua>
- Pulido, M. A. (2000). *Convertidores de frecuencia, controladores de motores y SSR*. España: MARCOMBO S.A.

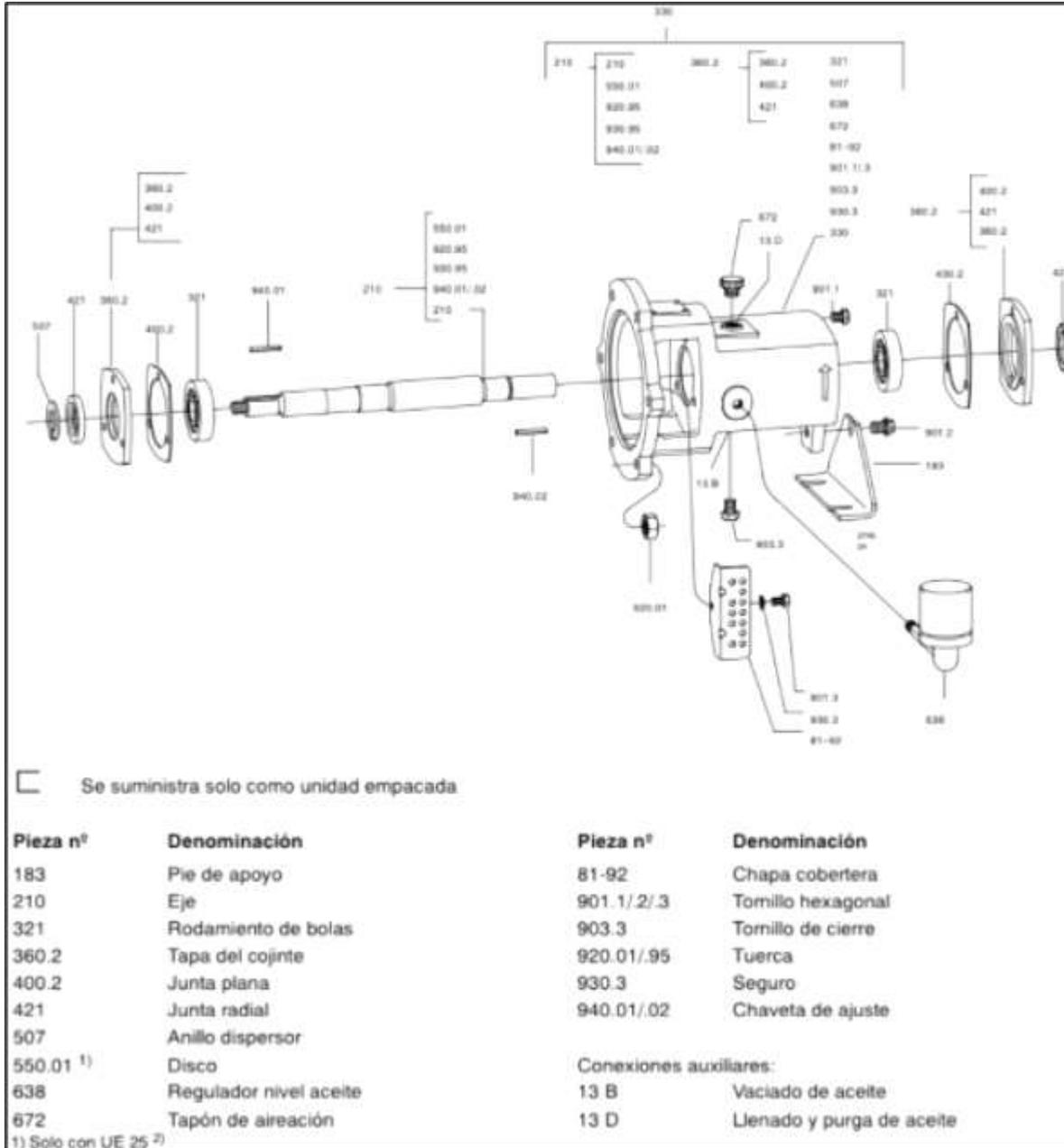


Anexo 2. Tuberías de aspiración e impulsión

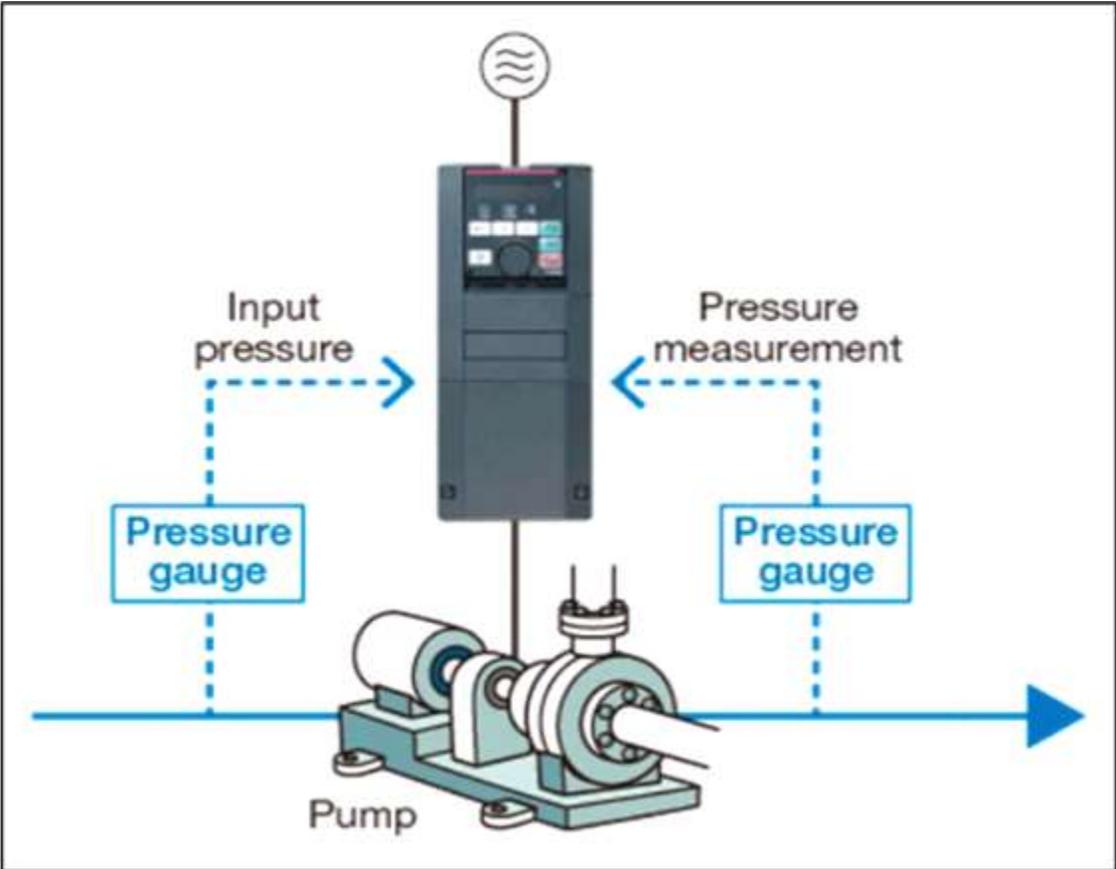




## Anexo 4. Ejecución por regulador del nivel de aceite.



Anexo 5. Sistema de ilustración en lazo cerrado de un variador con una bomba.





PRODUCT-DETAILS

## ACS480-04-033A-4

LV AC general purpose drive, PN: 15 kW, IN: 32 A, UIN: 380 ... 480 V (ACS480-04-033A-4)



### Información General

Alias comercial global	ACS480-04-033A-4
Código de producto	3AXD50000199068
Designación de tipo ABB	ACS480-04-033A-4
EAN	6438177508403
Descripción corta	LV AC general purpose drive, PN: 15 kW, IN: 32 A, UIN: 380 ... 480 V (ACS480-04-033A-4)
Descripción larga	<p>The ACS480 is a ready-made and capable package for many applications, such as compressors, fan and conveyors, in a variety of light industries, including food and beverage, logistics and warehousing, water and wastewater, and agriculture. It has all essential features built-in as standard, simplifying drive selection, and making additional hardware unnecessary. Straightforward settings menu and assistants enable fast setup, commissioning, use and maintenance. It's a great fit for variable torque and basic speed applications, where you can leverage a compact, cabinet-optimized design for a cost-effective and efficient solution.</p>

### Clasificación

Pais de origen	China (CN) Finland (FI)
Código arancelario	85044085
Descripción de la factura	ACS480-04-033A-4 PN: 15.0 kW, IN: 32 A
Por encargo	Yes

Cantidad mínima de pedido	1 piece
Orden múltiple	1 piece
Solo cotización	No
Unidad de medida para la venta	piece

## Información de Embalaje

Volumen bruto	13.393 dm <sup>3</sup>
---------------	------------------------

## Dimensiones

Peso del product	5.6 kg 12.346 lb
Largo del product	213 mm 8.386 in
Alto del producto	240 mm 9.449 in
Ancho del product	262 mm 10.315 in
Embalaje Nivel 1 Largo	356 mm 14.016 in
Embalaje Nivel 1 Alto	275 mm 10.827 in
Embalaje Nivel 1 Ancho	290 mm 11.417 in
Embalaje Nivel 1 Unidades	1 carton

## Technical

Número de fases	3
Grado de protección	IP20
Tipo de módulo NEMA	Open Type
Sonido dB (A)	69 dB(A)
Múltiple información de la batería	Lithium Coin, CR2032, 220 mAh, 3 V, 1 pc, 3 g
Frecuencia (f)	47.5 ... 63 Hz
Tamaño de bastidor	R4
Tensión de entrada (U <sub>in</sub> )	380 ... 480 V
Tipo de montaje	Module for cabinet building
Protocolo de comunicación	CAN DeviceNet EtherNet/IP MODBUS Other Bus Systems PROFIBUS PROFINET IO TCP/IP
Número de interfaces de hardware	Industrial Ethernet 0 Other 2

Parallel 0  
 PROFINET 0  
 RS-232 0  
 RS-422 0  
 RS-485 1  
 Serial TTY 0  
 USB 1

Incluye	Control unit PC connection
Entradas analógicas	2
Salidas analógicas	2
Número de entradas/salidas digitales	6 / 3
Corriente de salida, uso intensivo ( $I_{HD}$ )	25.0 A
Corriente de salida, uso con sobrecarga ligera ( $I_{LD}$ )	30.5 A
Corriente de salida, uso normal ( $I_n$ )	32 A
Potencia de salida, uso intensivo ( $P_{HD}$ )	11.0 kW
Potencia de salida, uso con sobrecarga ligera ( $P_{LD}$ )	15.0 kW
Potencia de salida, uso normal ( $P_n$ )	15 kW
Potencia de salida aparente	22 kV·A
Nivel de eficiencia	IE2
Pérdida en espera	37 W
Complete Drive Module Efficiency (61800-9-2)	

Operating Point Frequency / Current	Absolute Loss	Efficiency	Relative Loss
0/25 %	152 W	88.5 %	0.7 %
0/50 %	189 W	92.3 %	0.9 %
0/100 %	308 W	93.6 %	1.4 %
50/25 %	161 W	93.8 %	0.7 %
50/50 %	206 W	95.8 %	0.9 %
50/100 %	349 W	96.4 %	1.6 %
90/50 %	229 W	97.4 %	1.0 %
90/100 %	396 W	97.7 %	1.8 %

Temperatura nominal Maximum 50 °C

### Información Adicional

Tipo de producto principal	ACS480-04
Nombre del producto	Frequency converter

---

## Clasificaciones

---

ETIM 7	EC001857 - Frequency converter =< 1 kV
UNSPSC	39122001

---

## Ambiente

---

SCIP	195df5c0-4685-425b-8b31-e03d5656a0e8 Finland (FI)
Categoría RAEE	5. Small Equipment (No External Dimension More Than 50 cm)

---

---

## Categorías

---

Convertidores de frecuencia → Convertidores de frecuencia de baja tensión de CA → Convertidores de frecuencia de propósito general  
ABB → ACS480-04 - Drive module



Anexo 7. Tarifa de precio de energía eléctrica



**INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ENERGÍA  
ENTE REGULADOR**

**TARIFAS ACTUALIZADAS A ENTRAR EN VIGENCIA EL 1 DE OCTUBRE DE 2023  
AUTORIZADAS PARA LAS DISTRIBUIDORAS DISNORTE Y DISSUR**

BAJA TENSIÓN (120,240 y 480 V)					
	APLICACIÓN	TARIFA		CARGO POR	
		CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	ENERGÍA (C\$/kWh)	POTENCIA (C\$/kW-mes)
RESIDENCIAL	Exclusivo para uso de casas de habitación urbanas y rurales	T-0	Primeros 25 kWh	2.4766	
			Siguientes 25 kWh	5.9239	
			Siguientes 50 kWh	6.2109	
			Siguientes 50 kWh	8.2556	
			Siguientes 350 kWh	8.3756	
			Siguientes 500 kWh	13.3031	
GENERAL MENOR	Carga contratada hasta 25 kW para uso general (Establecimientos Comerciales, Oficinas Públicas y Privadas, Centros de Salud, Centros de Recreación, etc.)	T-1	TARIFA MONOMIA		
			0-150 kWh	5.5792	
		T-1A	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL		
			Todos los kWh	6.3126	
GENERAL MAYOR	Carga contratada mayor de 25 kW para uso general (Establecimientos Comerciales, Oficinas Públicas y Privadas, Centros de Salud, Hospitales, etc.)	T-2	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL		
			Todos los kWh	6.5278	
INDUSTRIAL MENOR	Carga contratada hasta 25 kW para uso industrial (Talleres, fábricas, etc.)	T-3	TARIFA MONOMIA		
			Todos los kWh	7.6058	
		T-3A	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL		
INDUSTRIAL MEDIANA	Carga contratada mayor de 25 kW y hasta 200 kW para uso industrial (Talleres, Fábricas, etc.)	T-4	Todos los kWh	5.9148	
			kW de Demanda Máxima		705.0761
INDUSTRIAL MAYOR	Carga contratada mayor de 200 kW para uso industrial (Talleres, Fábricas, etc.)	T-5	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL		
			Todos los kWh	6.1075	
IRRIGACIÓN	Para irrigación de campos agrícolas	T-6	TARIFA MONOMIA		
			Todos los kWh	6.6789	
		T-6A	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL		
			Todos los kWh	4.9033	
		T-6B	TARIFA BINOMIA CON MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL		
			Verano Punta	6.4127	
Invierno Punta	6.2043				
Verano Fuera de Punta	4.7453				
Invierno Fuera de Punta	4.6730				
Verano Punta		1,078.3200			
Invierno Punta		673.5066			
Verano Fuera de Punta		0.0000			
Invierno Fuera de Punta		0.0000			

Anexo 8. Cotización de variador de frecuencia

 <b>CASA MCGREGOR, S.A.</b> Tel. (505) 2268-6151, Fax (505) 2268-2251 Kilómetro 4, Carretera Sur, Managua, Nicaragua.	Cotización #	JH-21603
	Fecha :	13/10/2023
	N° de Pág.	1/1

**COTIZACION**

Cliente :	KENNER ARANA
Atención :	<a href="mailto:kenaraga1@gmail.com">kenaraga1@gmail.com</a>
Dirección :	MANAGUA
Tels. :	+ 505 8581 5904

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNIT	TOTAL
01	1	VARIADOR DE FREC. CFW700 - 20HP/460V	\$ 1,334.52	\$ 1,334.52
02	1	VARIADOR DE FREC. ABB ACS480 - 27A/20HP/480VOLT	\$ 1,498.31	\$ 1,498.31

ENTREGA INMEDIATO



Sub Total	USD	2,832.83
IVA	USD	424.92
<b>TOTAL :</b>	<b>USD</b>	<b>3,257.76</b>

**OBSERVACIONES:**

- Precio en Dólares.
- Tiempo de Entrega : INMEDIATO despues de puesta la orden,
- Condiciones de Pago:Contado
- Ref. cotizac.

**JOSUE HERRERA**  
 Cel. 8373 1482