



Universidad  
Nacional de  
Ingeniería

Facultad Tecnología de la Industria

# **Análisis técnico-económico para la implementación de tecnología reductora de consumo energético en los procesos industriales de Grupo Nueva Pescanova.**

Trabajo Monográfico para optar al Título de Ingeniero Industrial

**Elaborado por:**

**Tutor:**

Br. Octavio Manuel  
Palacios López

Carné: 2014-0561U

Br. León Felipe  
Torres Cruz

Carné: 2017-0797U

Br. Rommel Eliud  
Ramírez Flores

Carné: 2013-61569

Msc. Juan José  
López Guadamuz

20 de marzo de 2023

Managua, Nicaragua.

## Contenido

INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS .....	3
Objetivo General .....	3
Objetivos Específicos.....	3
MARCO TEÓRICO.....	4
Ahorro energético .....	4
Métodos de ahorro energético en la industria .....	4
Motor eléctrico .....	5
Funcionamiento del tipo de carga en un motor de inducción.....	6
Control y gestión de motores de inducción .....	7
Arranque directo DOL (Direct-On-Line) .....	7
Arranque directo (Star-delta).....	8
Arranque Suave (Variación de Tensión).....	8
Velocidad Controlada (Variación Frecuencia).....	9
Variadores de frecuencia .....	9
Transformación digital de la tecnología de variación de frecuencia. ....	11
Funcionamiento de la tecnología de gestión de motores mediante la variación de frecuencia. ...	12
Algoritmo de control motor. ....	14
Efectos colaterales del uso de variadores de frecuencia .....	15
Herramientas para la solución de armónicos.....	18
Procesos industriales en Grupo Nueva Pescanova que permiten la implementación de la tecnología de variación de frecuencia. ....	21
Descripción del Proceso Industrial .....	22
Recepción de camarones a estanques .....	22
Aclimatación.....	22
Estudio de laboratorio.....	22
Maternidad y maduración.....	22
Pre-cría .....	22
Engorde .....	23
Cosecha .....	23
Primer lavado .....	23

Preclasificación .....	23
Clasificación.....	23
Descabezado .....	24
Segundo lavado .....	24
Glaseado.....	24
Empaquetado .....	24
Congelación.....	24
Almacenamiento de producto terminado .....	24
DISEÑO METODOLÓGICO.....	25
Análisis técnico.....	25
PASO 1. Recolección de Datos.....	27
PASO 2. Criterio de Aprobación .....	29
PASO 3. Cálculo de la energía consumida por los motores sin la tecnología de la Variación de frecuencia.....	31
PASO 4. Cálculo de la energía consumida empleando un variador de frecuencia para controlar la velocidad de un motor de inducción.....	34
PASO 5. Determinar el Ahorro energético .....	37
PASO 6. Evaluación de la instalación eléctrica. ....	38
PASO 7. Selección de equipos a implementarse.....	40
Análisis económico.....	42
PASO 1. Costo de adquisición de equipos para la gestión del motor y cables especiales usando variación de frecuencia. ....	42
PASO 2. Costo de la instalación.....	46
PASO 3. Costo del mantenimiento.....	46
PASO 4. Cálculo del retorno de la inversión.....	46
PASO 4. Determinar la viabilidad económica del proyecto. ....	46
Conclusión.....	47
Referencia .....	48
BIBLIOGRAFÍA.....	49
ANEXOS .....	51

## INTRODUCCIÓN

Grupo Nueva Pescanova está dirigida a productos de consumo masivo y tienen una estrategia de bajo costo, lo que implica que el ahorro operativo en los costos de producción es fundamental para garantizar la competitividad en un mercado agresivo como lo es el mercado nicaragüense.

El 72% de energía consumida en una industria, está ligada directamente al proceso, es por eso por lo que optimizarlo es una prioridad para la mayoría de las industrias incluyendo el Grupo Nueva Pescanova.

Uno de los factores de mayor peso en el análisis de estos costos es el factor energético, el cual particularmente en Nicaragua tiene un alto costo de adquisición. Por tal motivo, la implementación de tecnología viable técnica y económicamente, que aporte a la optimización de este factor, sin lugar a duda forma parte de la agenda de todas las industrias.

El Grupo Nueva Pescanova ya ha implementado dos de las cinco formas convencionales de ahorro energético, entre ellas tenemos la implementación de luces LED en toda la planta, la incorporación de bancos de capacitores que corrigen el factor de potencia eliminando las penalizaciones por bajo factor ( $<0.85$ ). Lo que nos deja con tres maneras posibles disponibles para la implementación, una de ellas es la implementación del consumo mediante discriminación horaria combinado con fuentes de energía solar (Sistema fotovoltaico). Sin embargo, según recientes estudios internos de la empresa, este método de ahorro es poco factible a corto plazo para ellos debido a que la inversión en esta tecnología es millonaria y supera los fondos disponibles de inversión. Lo que nos deja con la quinta forma de ahorro energético, la gestión de motores.

Dentro de la gestión de motores de inducción se cuenta con cuatro formas de controlarlos, pero la única que representa ahorro energético es el control mediante variadores de frecuencia.

La variación de frecuencia es la mejor opción cuando se requiere que el motor de inducción trabaje con velocidad variable, además de ser dispositivos con tecnologías comprobadas y que proporcionan controles completos con bajos costos de mantenimiento. Pero, teniendo en cuenta que su puesta en funcionamiento es compleja y requiere de buen tiempo para realizarla, se debe también tener en cuenta que la inversión es significativa y que dicha implementación implica consideraciones especiales para los motores existentes y para la misma instalación.

Para esto, se propone el análisis de cada proceso de la planta con el fin de verificar donde se puede implementar esta tecnología. Posteriormente verificar a profundidad que los motores de inducción existentes vinculados a las máquinas de los procesos en

un nivel técnico sean compatibles. También se analizará los motores de inducción implementados en ventiladores y climatizadores usados en la planta.

Y al final, analizar a nivel económico, la inversión y costos operativos que implica la implementación de esta tecnología.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Analizar técnica y económicamente la implementación de tecnología que reducirá el consumo energético en los procesos industriales de Grupo Nueva Pescanova.

### **Objetivos Específicos**

- ) Identificar y describir los procesos industriales que pudieran permitir la integración de esta tecnología reductora de energía.
- ) Analizar técnicamente si los equipos existentes en el proceso permiten la implementación de esta tecnología.
- ) Realizar un análisis costo beneficio para la implementación de la tecnología en los procesos.

## MARCO TEÓRICO

### Ahorro energético

En todas las industrias, la energía eléctrica forma parte de los principales retos a nivel de costes en los cuales, si no se logra controlar, puede afectar a la sostenibilidad económica de las empresas. Además de contribuir a su competitividad, el ahorro de energía en las fábricas resulta imprescindible para colaborar con los objetivos globales de reducción de emisiones contaminantes.

En la industria cada proceso es diferente, existen algunas tecnologías y medidas de ahorro energético que pueden aplicarse en la mayoría de las empresas complementándose con actuaciones orientadas a reducir el coste de la energía.

### Métodos de ahorro energético en la industria

- Alumbrado eficiente con LED

(Philips, 2023) afirma que, con solo actualizar una instalación de iluminación con fuentes de luz nuevas, puedes reducir el consumo de energía hasta en un 43%. Con una instalación completamente nueva, los ahorros se elevan hasta el 56% y, con tecnología LED energéticamente eficiente, el ahorro posible es aún mayor.

- Gestión Eficiente de Motores

Un estudio realizado por (ICE & Cooperación Alemana, 2022) destaca que los motores eléctricos son los equipos de mayor consumo de energía eléctrica en las instalaciones industriales. Aproximadamente entre el 60 % y el 70 % del consumo de energía eléctrica corresponde a equipos electromotrices (equipos auxiliares) tales como ventiladores, bombas, compresores de aire, bandas transportadoras, entre otros y que a su vez están acoplados a motores eléctricos.

Dada su importancia, es evidente el gran impacto que tienen los motores en el consumo de energía eléctrica en el sector industrial, por lo tanto, resulta conveniente identificar y evaluar oportunidades de ahorro de energía en estos equipos.

- Fuentes de energía solar

La energía solar concentrada, obtenida mediante el uso de paneles fotovoltaicos que concentran la luz solar en un gran receptor, es muy adecuada para las industrias porque es capaz de generar energía para muchos procesos de una manera muy sostenible. A pesar de que la energía solar aumenta la eficiencia energética de una empresa, tiene un alto costo de adquisición lo cual ralentiza su uso en la mayoría de las industrias.

- Energía reactiva

En las normativas tarifarias según (Instituto Nicaragüense de Energía, 2000) se penaliza por bajo factor de potencia en el consumo de energía. Las tarifas establecidas en los Pliegos Tarifarios rigen para el factor de potencia inductivo (Coseno fi) igual o superior a 0,85. Luego de 18 meses de la entrada en vigor de esta Normativa se pasará a utilizar un coseno fi de 0,90.

- Discriminación horaria

En lo que respecta a costos de compra mayorista, se considerará el día dividido en tres bloques típicos: punta, madrugada y horas restantes. La duración de dichos bloques se define en la Normativa establecida por el Instituto Nicaragüense de Energía en el año 2000, y podrá ser modificado de verificarse cambios significativos en la forma de la curva de demanda del sistema. Inicialmente, se establecen las siguientes duraciones:

- 1) Bloque de Punta: De 6:01 pm a 10:00 pm.
- 2) Bloque de Madrugada: De 10:01 pm a 6:00 am.
- 3) Bloque de horas Restantes: De 6:01 am a 6:00 pm.

## **Motor eléctrico**

*“Los motores eléctricos son los equipos de mayor consumo de energía eléctrica en las instalaciones industriales. Aproximadamente entre el 60 % y el 70 % del consumo de energía eléctrica corresponde a equipos electromotrices (equipos auxiliares) tales como ventiladores, bombas, compresores de aire, bandas transportadoras, entre otros y que a su vez están acoplados a motores eléctricos.”*, destaca un estudio realizado por (ICE, Instituto costarricense de energía, 2017)

El motor eléctrico es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Son máquinas eléctricas rotatorias compuestas por un estator y un rotor. (ver anexo 1).

Existen básicamente tres tipos de motores, los asíncronos o de inducción, motor síncrono y el motor universal (puede trabajar en AC como en DC). Siendo así el motor asíncrono el más empleado en la industria y el que menos mantenimiento requiere.

Los motores asíncronos o de inducción son trabajan con corriente alterna en el que la corriente eléctrica, en el rotor, necesaria para producir torsión es inducida por inducción electromagnética del campo magnético de la bobina del estator. El motor asíncrono trifásico está formado por un rotor, que puede ser de dos tipos: a) de jaula de ardilla y b) bobinado, y un estator, en el que se encuentran las bobinas inductoras. Estas bobinas son trifásicas y están desfasadas entre sí 120° en el espacio, cuando por estas bobinas

circula un sistema de corrientes trifásicas equilibradas, cuyo desfase en el tiempo es también de  $120^\circ$ , se induce un campo magnético giratorio que envuelve al rotor. Este campo magnético variable va a inducir una tensión en el rotor.

La clasificación de aislamiento térmico del devanado de un motor de inducción es sumamente importante ya que su vida útil depende casi únicamente de esta.

Según (Arlen, 2016) el aislamiento de un motor eléctrico significa, que para una temperatura ambiente de  $40^\circ\text{C}$  el incremento de la temperatura del devanado será como máximo el siguiente:

La clasificación "A" debe de contar con una temperatura máxima admitida de  $105^\circ\text{C}$  con una reserva térmica de un 5%, "E" con  $120^\circ\text{C}$  y 5%, "B" con  $130^\circ\text{C}$  y 10%, "F" con  $155^\circ\text{C}$  y 10% y "H" con  $180^\circ\text{C}$  y 15%.

Siendo la clasificación "F" y "H" las más indicadas para que puedan ser usados mediante una gestión de motor por variación de frecuencia, debido al incremento en la temperatura que se genera por el efecto de onda reflejada y el ruido en modo común que produce el inversor del variador.

### **Funcionamiento del tipo de carga en un motor de inducción.**

Para calcular de manera adecuada el ahorro energético en una instalación industrial en la cual se instalarán variadores de frecuencia, es necesario identificar los diferentes tipos de cargas típicas debido a que no en todos los procesos se ahorran energía.

Estas cargas pueden ser con funcionamiento a par constante o a par variable.

Se denomina funcionamiento a par constante cuando las características de la carga son tales, que, en régimen permanente, el par solicitado es sensiblemente constante sea cual sea la velocidad.

Este funcionamiento es empleado convencionalmente cintas transportadoras, puentes grúas y amasadoras. Para este tipo de aplicaciones, el variador debe tener la capacidad de proporcionar un par de arranque importante (1,5 veces o más el par nominal) para vencer los rozamientos estáticos y para acelerar la máquina (inercia).

La fórmula para calcular el consumo de energía es directamente proporcional al torque por la velocidad por el tiempo.

$$E_{(Wh)} = \text{Par} * \text{Velocidad} * \text{Tiempo}$$

Por otro lado, se llama par variable cuando características de la carga son tales que, en régimen permanente, el par solicitado varía con la velocidad. Por ejemplo, bombas volumétricas, máquinas centrífugas (bombas y ventiladores) cuyo par varía con el cuadrado de la velocidad. Para un variador destinado a este tipo de aplicaciones, es suficiente un par de arranque mucho menor (en general 1,2 veces el par nominal del

motor). Muy frecuentemente dispone de funciones complementarias como la posibilidad de omitir las frecuencias de resonancia correspondientes a las vibraciones indeseables de la máquina. Es imposible funcionar más allá de la frecuencia nominal de la máquina porque sería una carga insoportable para el motor y el variador.

Para esta aplicación nos guiamos con la fórmula de las leyes de afinidad donde la relación de la potencia es proporcional al cubo de la relación de la velocidad de giro del eje.

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$$

Siendo “P” la potencia eléctrica consumida del motor y “N” las revoluciones a la cual gira el motor a esas potencias.

### **Control y gestión de motores de inducción**

En todo proceso que involucre motores de inducción, podemos encontrar cuatro métodos de controlarlos:

- )] Arranque directo DOL (Direct-On-Line)
- )] Arranque directo (Star-delta)
- )] Arranque Suave (Variación de Tensión)
- )] Velocidad Controlada (Variación Frecuencia)

#### **Arranque directo DOL (Direct-On-Line)**

El control de un motor de inducción mediante un arranque directo está compuesto a grandes rasgos por interruptor magnético, contactor de potencia, relé de sobrecarga, conductores de fuerza y conductores de control los permiten que la corriente eléctrica demandada por el motor en el instante del arranque y aún en su condición nominal de operación, fluya de manera confiable y segura hasta los mecanismos de fuerza vinculados al proceso (ver anexo 2a).

Este método de arranque posee los siguientes rasgos característicos:

Ventajas: Es muy simple, compacto y de bajo costo.

Desventajas: no hay ahorro energético, no se controla la velocidad del motor, altas corrientes durante el arranque que producen estrés mecánico de la instalación y el estrés eléctrico en las líneas de alimentación (ver anexo 2b).

### **Arranque directo (Star-delta)**

El control de un motor de inducción mediante un arranque directo bajo el arreglo estrella-delta está compuesto principalmente por interruptores magnéticos, doble contactor de potencia y relés de sobrecarga, conductores de control y fuerza que permiten que la corriente eléctrica demandada por el motor en el instante del arranque y aún en su condición nominal de operación, fluya de manera confiable y segura hasta los mecanismos de fuerza vinculados al proceso con la variante que en el proceso de arranque, la tensión disminuirá hasta en un 58% reduciendo un 33% la corriente demandada respecto al arranque directo en ese instante (ver anexo 3a).

Este método de arranque posee los siguientes rasgos característicos:

**Ventajas:** Es robusto pero simple, se reduce la corriente de arranque un 33% respecto a DOL. Bajo costo y compacto.

**Desventajas:** No hay ahorro energético, no se controla la velocidad del motor, se generan picos de corrientes al cambiar de estrella a triángulo que produce el estrés mecánico de la instalación y el estrés eléctrico de las líneas de alimentación (ver anexo 3b).

Estos dos tipos de arranques en los motores lideran las configuraciones en las industrias por su bajo costo de inversión inicial. Sin embargo, no representan ningún ahorro energético en sus procesos.

### **Arranque Suave (Variación de Tensión)**

El siguiente método de gestión es el arranque suave mediante la variación de tensión y control de torque. Este es un método electrónico de potencia, a diferencia de sus dos predecesores electromecánicos (arranque directo y arranque directo star-delta).

El control de un motor de inducción mediante un arrancador suave está compuesto de interruptores termomagnéticos, contactores de fuerza, conductores de control y de fuerza. Pero internamente el arrancador suave cuenta con funcionalidades avanzadas como protecciones contra desbalances de fase, sub y sobre tensión, sub y sobre corriente, señales de sondas térmicas, configuraciones para el control de par, comunicación para sistemas de automatización y monitoreo que permiten de una manera más integral que la corriente eléctrica demandada por el motor en el instante del arranque y bajo su condición nominal de operación, fluya de manera confiable y segura hasta los mecanismos de fuerza vinculados al proceso proporcionando una aceleración y desaceleración controlada del motor para ayudar a disminuir las descargas mecánicas y los picos de demanda eléctricos. (ver anexo 4a).

Este método de arranque posee los siguientes rasgos característicos:

Ventajas: Reduce la corriente de arranque evitando el estrés mecánico y eléctrico, protege al motor por corriente, temperatura y tensión, permite ajustar la rampa de tensión y limitar la corriente, es un equipo electrónico red de comunicación.

Desventajas: No hay ahorro energético, no se controla la velocidad del motor (ver anexo 4b)

### **Velocidad Controlada (Variación Frecuencia)**

La energía no es gratis, pero aprender a ahorrar sí lo es. ¿Como conseguiremos realizar esta eficiente gestión?

Antes de cualquier acción es necesario conocer la tecnología indicada para lograr nuestro objetivo.

Es aquí donde nos adentramos en el fascinante mundo de la variación de frecuencia y conocemos nuestro cuarto método de gestión de motores, y sin lugar a duda, el más eficiente.

Un arranque de motor de inducción mediante variador de frecuencia está compuesto de interruptores termomagnéticos, contactor de fuerza, cables de control y fuerza. Pero el mismo variador, cuenta con funcionalidades internas avanzadas de protección, comunicación para sistemas de automatización y monitoreo que permiten de una manera más integral que la corriente eléctrica demandada por el motor en el instante del arranque y aún en su condición nominal de operación, fluya de manera variable, confiable y segura hasta los mecanismos de fuerza vinculados al proceso proporcionando una aceleración variable del motor en todo instante del proceso para ayudar según sea la necesidad, a gestionar el motor con un control total de este (ver anexo 5).

Este método de arranque posee los siguientes rasgos característicos:

Ventajas: Control de velocidad y torque en todo momento, no se presentan arranque con picos de consumo, protección completa para el motor y aplicación, permite ajustar la rampa de aceleración de desaceleración, es un equipo electrónico red de comunicación.

Al controlar la velocidad en todo instante del proceso, permite ahorrar energía.

Desventajas: Mayor costo de inversión y complejidad, se producen armónicos.

### **Variadores de frecuencia**

Un variador de frecuencia es un equipo que utiliza la electrónica de potencia mediante un puente rectificador, un bus de almacenamiento de corriente directa y un inversor para controlar la velocidad de un motor de inducción y conseguir ajustarse a la demanda real del proceso, obteniendo ahorros significativos según sea su aplicación.

Cuando hablamos de tecnologías como la variación de frecuencia, se tiende a pensar que la implementación de esta conlleva altos costos de inversión y genera problemas de armónicos, sin embargo, las nuevas tecnologías poco a poco han desaparecido estos paradigmas haciendo que los costos disminuyan y los equipos sean más competitivos.

La aplicación de esta tecnología ligada directamente al control de procesos en las plantas industriales ha venido en aumento debido a que permite a las empresas gestionar de una manera óptima el funcionamiento de sus equipos, disminuir el consumo de reemplazables tales como rodamientos por estrés mecánico, reducir los mantenimientos y optimizar el costo energético.

En la actualidad las grandes fábricas de variadores de frecuencia hacen un acompañamiento a las industrias mostrándoles los beneficios de la aplicación de esta tecnología en los elementos de baja tensión de la industria. Sin embargo, los avances tecnológicos por parte de estas empresas han permitido ampliar el horizonte a aplicaciones en media tensión.

Estudios realizados en industrias que ya usan esta tecnología, nos permite tener un horizonte más claro del como implementarlas y si en realidad se obtiene un beneficio de esta según sea su aplicación industrial.

Schneider Electric, uno de los fabricantes líderes a nivel mundial se encuentra trabajando fuertemente en la optimización de esta tecnología creando algoritmos de control motor y nuevos arreglos patentados de tecnología, protecciones integradas para el motor, plataformas embebidas de monitoreo y control a distancia, controles locales realizados mediante PLC y sistemas PID permiten gestionar de una manera más eficiente un proceso mediante esta tecnología logrando una completa automatización y digitalización de este.

Otros fabricantes de esta tecnología que son muy conocidos en el medio industrial como Allen Bradley, Siemens y General Electric también aportan al compromiso de la optimización de esta tecnología.

Un estudio de “Buenas Prácticas de Eficiencia Energética para Motores Eléctricos Industriales” realizado por el (ICE, Instituto costarricense de energía, 2017, Pag 7), indican que las mejoras en el sistema de control en motores que accionan cargas variables con el uso de los variadores de frecuencia brindan una reducción controlada de la potencia de los motores variando su velocidad. Esto trae como consecuencia un importante ahorro de energía eléctrica que, dependiendo del ciclo de trabajo, puede ser de:

- Bombas centrífugas 20 a 50%
- Bombas alternativas 10 a 30%
- Ventiladores/extractores 20 a 50%
- Correas transportadoras 10 a 30%

A nivel industrial podemos decir que esta tecnología es aplicable en motores de inducción responsables de ventiladores, extrusora, grúas, malacates, prensas, bandas transportadoras, bombas y muchas otras máquinas industriales.

Todas estas máquinas tienen una particularidad, todas consumen energía de una manera distinta en la medida en la cual van operando. A pesar de esto, el motor eléctrico de inducción trata a todas las máquinas por igual, sin importar lo difícil o fácil que sea arrancar. Sin importar esto, la disponibilidad de fuerza en el eje del motor siempre va a ser la misma, eso hace que el motor consuma más energía de la que realmente necesita la máquina para moverse.

¿Si todas las máquinas se comportan distinto, no sería mejor si cada una de ellas le damos un trato acorde a su comportamiento?

Contar un variador de velocidad en la instalación nos permite desarrollar la fuerza correcta en el momento apropiado y transgredir los límites naturales del motor, incluso lograr velocidades mayores a la velocidad nominal del motor. Algunos pueden alcanzar los 500hz de frecuencia de salida, pero conlleva que el par disponible del motor disminuya.

También otro beneficio es que mejora el factor de potencia del accionamiento, la carga del variador en la red tiene un coseno de fi cercano a 1, lo que a la larga reduce en el coste de la factura eléctrica.

Rampas controladas, el paso del reposo a velocidad de consigna conlleva un tiempo determinado que configuramos en el equipo. Esto implica en la disminución de golpes mecánicos y mayor suavidad en el accionamiento del proceso.

### **Transformación digital de la tecnología de variación de frecuencia.**

La evolución tecnológica de estos equipos permite mediante herramientas incorporadas como códigos QR dinámicos (ver anexo 6), tener acceso inmediato a la información de fallo de los equipos, así también como medidas para solucionar el problema desde el punto de vista de instalación y programación, para darle continuidad al proceso lo más pronto posible. Desde el punto de vista de conectividad, estos equipos cuentan con servidor web embebido que permite contar con un monitoreo constante del variador de frecuencia de forma remota sin necesidad de instalar ninguna aplicación, así también como controlarlo y reprogramarlo (ver anexo 6a, 6b, 6c, 6d y 6e).

También bajo el tema de la industria 4.0 y con la necesidad de la seguridad informática que se demanda para garantizar la fiabilidad del proceso ante intrusos cibernéticos, estos equipos cuentan con certificación de ciberseguridad.

## **Funcionamiento de la tecnología de gestión de motores mediante la variación de frecuencia.**

Al principio los motores eléctricos trabajaban a velocidades fijas, pero con la llegada de la tecnología de variación de velocidad los motores ahora pueden trabajar con velocidades variables desplegando así muchas ventajas. Entre estas tenemos:

- ) Control de velocidad y torque
- ) Protección al motor y al variador
- ) Monitoreo
- ) Automatización del proceso
- ) Conectividad
- ) Ahorro de energía

La mayoría de los motores que usamos en una industria, son asíncronos, es decir que giran a velocidad distinta y ligeramente inferior a la del campo giratorio que existe en el estator. No siempre es necesario mover un accionamiento a la misma velocidad trabajar a pleno rendimiento y parar de golpe, no es la mejor solución para las máquinas. En ocasiones es mejor para las máquinas trabajar a una velocidad intermedia y/o adaptable a las circunstancias, esa es la clave del éxito para lograr ser más eficientes.

Un variador de velocidad o VSD (por sus siglas en ingles Variable Speed Drive) crea distintas velocidades a 60hz en el caso del continente americano.

A grandes rasgos un variador se compone de un circuito rectificador de entrada en el que se vuelca toda la corriente alterna en continua, almacenándose en un bus capacitivo para luego mediante el inversor realizar electrónicamente una modulación en la anchura de pulsos con el objetivo de componer una señal de salida de la frecuencia que se necesite y así mover más o menos velocidad el motor.

La estructura básica de un variador de frecuencia energía (ver anexo 7) está compuesta principalmente por:

- ) Etapa rectificadora (AC/DC Converter)
- ) Etapa de enlace y filtrado en bus DC (DC link + filter)
- ) Etapa de inversión (DC/AC Inverter)

### ***Etapa de rectificación (AC/DC Converter)***

En esta etapa es donde se obtiene la señal de alimentación desde la red (señal sinusoidal a 60 Hz) y se pasa por un puente rectificador, en donde se obtiene una señal DC.

Este está hecho principalmente con diodos o en variadores de altas potencias la combinación de diodos y tiristores.

Existen dos tipos de tecnología en la variación de frecuencia; la variación por 6 pulsos y por 12 pulsos. La diferencia radica en la deformación del voltaje que existe en el bus de conexión o mejor dicho el número de pulsos generados por semiciclo de tensión (ver anexo 7a).

#### *Etapa de enlace y filtrado en bus DC (DC link + filter)*

EL banco de condensadores se encarga de crear una componente de DC (voltaje continuo) lo más constante posible ya que el voltaje en el bus DC depende tanto del voltaje de alimentación como de la cargabilidad del motor. Si hay problemas de voltaje en la fuente de alimentación provocará problemas en la tensión del banco de condensadores.

El banco de condensadores del bus DC almacena la energía que se le inyecta al motor ya que la energía que el motor utiliza proviene del banco de condensador.

Desde el punto de vista del sistema eléctrico de potencia el banco de capacitores es una carga, pero desde el punto de vista del motor el banco de condensadores es su fuente de energía en tensión DC (ver anexo 8).

El banco de capacitores del bus DC toma la corriente de la red en forma de pulsos por lo que es el principal responsable de las corrientes armónicas que genera un variador de velocidad. Por lo tanto, podemos afirmar que el banco de condensadores junto con el puente rectificador de diodos son los responsables de que la forma de corriente que consume un variador de velocidad no sea sinusoidal, sino que esta forma es atípica (ver anexo 8a).

#### *Etapa de inversión (DC/AC Inverter).*

El inversor este hecho de IGBT (conocido por la sigla mencionada, del inglés Insulated Gate Bipolar Transistor o bien en español Transistor Bipolar de Puerta Aislada) (ver anexo 9), los cuales son dispositivos semiconductores que en la electrónica de potencia trabajan como interruptores, que a diferencia de un interruptor convencional, el IGBT es capaz de abrir y cerrar el circuito hasta 20,000 veces por segundo (20kHz) manejando las mismas cantidades de corriente, mientras que un interruptor de potencia normal un ciclo de trabajo de apertura y cierre puede durar un par de segundos.

Además, los IGBT son dispositivos bidireccionales de potencia, es decir que tienen la capacidad de controlar el flujo de energía en ambos sentidos.

Este consiste en aplicar un tren de pulsos cuya magnitud es igual a la tensión del bus de DC. El valor RMS (conocido por la sigla mencionada, del inglés Root Mean Square o bien en español Raíz Cuadrada Media y representa el valor efectivo de la señal) del PWM (conocido por la sigla mencionada, del inglés Pulse Width Modulation y que lo podemos traducir a español como Modulación de ancho de pulso) es igual al de una señal senoidal.

EL gran objetivo es la cuantización de la energía, crear paquetes de energía que son inyectados cuidadosamente para el control preciso de la fuerza y velocidad del motor.

Cuando se modula el PWM para generar una señal similar a la senoidal, se observa la aparición de picos de voltaje debido a las conmutaciones de los tiristores, estos picos de voltaje pueden afectar el aislamiento de algunos motores. Adicionalmente el aislamiento se puede ver afectado por el calentamiento del motor en operación a baja velocidad lo cual genera bajo flujo de aire para refrigeración propio del motor.

### **Algoritmo de control motor.**

Este algoritmo es una programación interna del variador de frecuencia que se encarga de definir la estrategia matemática que se utilizará justamente para controlar la cantidad de fuerza disponible en el eje del motor, de manera que permite darle un trato personalizado a cada máquina eliminando así los desperdicios o el exceso de torque que antes generaba el motor cuando trabajaba por sí solo.

Se debe de garantizar que el variador cuente con el algoritmo apropiado para la máquina que se desea controlar.

Schneider Electric ha desarrollado algoritmos específicos para cada tipo de máquina garantizando de esta manera un excelente desempeño en el movimiento de la máquina al tiempo que sea su uso eficiente del consumo de energía.

U/F VC Standard motor law.

Máquinas de torque constante como grúas o bandas transportadoras se recomienda seleccionar algoritmo de control vectorial estándar, este garantizará que en todo momento habrá disponibilidad del torque máximo del motor en cualquier velocidad.

U/F VC Quadratic.

El algoritmo vectorial cuadrático se emplea en máquinas de torque cuadrático como bombas o ventiladores permitiendo que en velocidades bajas el torque disponible del motor será bajo, mientras que en altas velocidades el torque también sea alto.

U/F VC 5-point voltage/frequency

El algoritmo de cinco puntos se recomienda usarlo en máquinas con procesos personalizables como compresores de pistones en el cual, el torque en bajas velocidades es muy grande, pero en velocidades medias el torque requerido es bajo y en velocidades cercanas a la nominal el torque que se requiere es cercano al torque nominal generando una característica atípica o bien difícil de caracterizar. Este algoritmo permite personalizar la curva de torque versus velocidad para la máquina en particular, garantizando la disposición de los consumos correctos de energía.

U/F VC Energy Sav.

Máquinas de alta inercia, con motores sobredimensionados o que siempre trabajaran en velocidad nominal. Para este caso, se recomienda el uso del algoritmo de ahorro energético. En este algoritmo el variador por sí solo va modulando la cantidad de corriente de magnetización que le permite tener al motor, de esta manera puede desarrollar más o menos torque en la medida en que la carga mecánica le pide más o menos torque al motor.

### **Efectos colaterales del uso de variadores de frecuencia**

El uso de variadores de velocidad representa un ahorro a nivel energético y también de elementos eléctricos a la hora de dimensionar la instalación. Sin embargo, no todo es un beneficio total. El uso de esta tecnología desde el puente rectificador al inversor genera efectos colaterales que afectan la instalación eléctrica (ver anexo 10).

#### *Los armónicos*

Son una herramienta matemática que se utiliza para modelar señales que son periódicas en el tiempo, pero distintas a una onda senoidal.

El objetivo es poder representar una señal distorsionada como la suma de muchas ondas senoidales.

La frecuencia de estas senoidales debe ser un múltiplo de la frecuencia de la onda original. A cada una de esas ondas sumadas se le llama armónico.

Entre más distorsionada sea una señal, se necesitan más armónicos para poder representarla.

Entre más bruscos sean los cambios de esa señal, mayor será su distorsión.

#### THDi (Total Harmonic Distortion)

Es la tasa de distorsión armónica o bien la distorsión armónica total. Y es la relación que existe entre el primer armónico fundamental o primer armónico versus el resto de los armónicos presentes.

$$THDi = I_1 / I_n$$

Donde  $I_1$  es la corriente fundamental e  $I_n$  la corriente armónica.

#### *Tipos de armónicos generados por un variador de frecuencia.*

Espectro característico:

Son los armónicos que contienen la onda de corriente dependiendo del número de pulsos del rectificador.

Por ejemplo:

Un rectificador con puente de diodos realiza seis pulsos en cada ciclo de la frecuencia industrial.

Entonces al aplicar la formula podemos encontrar su espectro armónico característico.

$$h = (n \cdot p) \pm 1$$

Donde:

$h$  = es el orden armónico

$n$  = un numero entero positivo

$p$  = número de pulsos del rectificador.

$$h = (1 \cdot 6) \pm 1 = 5\text{th} \ \& \ 7\text{th} \ \text{armónico.}$$

$$h = (2 \cdot 6) \pm 1 = 11\text{th} \ \& \ 13\text{th} \ \text{armónico.}$$

$$h = (3 \cdot 6) \pm 1 = 17\text{th} \ \& \ 19\text{th} \ \text{armónico}$$

$$h = (4 \cdot 6) \pm 1 = 24\text{th} \ \& \ 25\text{th} \ \text{armónico}$$

$$h = 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25 \dots$$

Las consecuencias de las corrientes armónicas.

- ) Sobrecalentamientos en los conductores especialmente en el neutro de las instalaciones, debido al efecto pelicular.
- ) Disparos intempestivos de Interruptores Automáticos y Diferenciales.
- ) Disminución del factor de potencia de una instalación y envejecimiento e incluso destrucción de las baterías de condensadores utilizadas para su corrección debido a fenómenos de resonancia y amplificación.
- ) Vibraciones en cuadros eléctricos y acoplamientos en redes de telefonía y de datos.
- ) Deterioro de la forma de onda de la tensión, y consiguiente mal funcionamiento de los aparatos eléctricos.
- ) Calentamientos, degradaciones en los aislamientos, embalamientos y frenados en motores asíncronos.
- ) Degradaciones del aislamiento de los transformadores, pérdida de capacidad de suministro de potencia en los mismos.
- ) Resonancia.

Para garantizar la compatibilidad electromagnética es necesario que la forma de onda de tensión del sistema trifásico de potencia se conserve intacta.

Si la impedancia de la fuente es muy pequeña, se dice que el sistema es un sistema robusto capaz de soportar un gran contenido armónico sin que se dañe la forma de onda del voltaje del sistema eléctrico de potencia.

Los sistemas eléctricos de potencia en la industria generalmente son de naturaleza inductiva debido a los transformadores, cables y motores que la componen. Esto quiere decir que la probabilidad de que el sistema eléctrico oscile debido una frecuencia natural de oscilación es muy pequeña, casi inexistente. En el momento en que nosotros agregamos un banco de condensadores a un sistema en el cual antes era meramente inductivo, estaremos creando una frecuencia natural de resonancia que antes no existía.

Si alguno de los armónicos llega a estar cerca de la frecuencia natural de resonancia del sistema eléctrico de potencia, se estallan los condensadores y se queman los contactores. Si la carga armónica del sistema de potencia es mayor al 40% de la carga total, no se puede utilizar bancos de condensadores para compensar reactivos ya que esto ocasiona el daño de los variadores o el mismo condensador.

*Como los armónicos afectan el factor de potencia.*

Existen principalmente tres tipos de potencia.

- ) Potencia activa: Genera calor, luz y movimiento.
- ) Potencia reactiva: Se usa para crear campos eléctricos y/o magnéticos.
- ) Potencia armónica: Se debe a cargas no lineales.

La suma de estas tres potencias origina la potencia aparente. Esta define la capacidad de la fuente de potencia.

Cuando tenemos cargas lineales (aquellas en las cuales la forma de onda de la corriente es igual a la de la tensión) no existe potencia armónica, mientras que cuando tenemos cargas no lineales (aquella cuya forma de onda de corriente cambia respecto a la tensión que la alimenta) se genera una cuarta componente, la cual es la potencia armónica. Un ejemplo claro de estas cargas no lineales son los variadores de frecuencia, UPS y equipos electrónicos.

En la industria se suele confundir el Cos phi con el factor de potencia, sin embargo, el Cos phi es la diferencia angular por el retardo en el tiempo que existe entre la componente fundamental de la tensión y la corriente (el Cos phi no toma en cuenta el contenido armónico).

Mientras que el factor de potencia real o también llamado TPF (true power factor) por sus siglas en inglés, este parámetro si tiene en cuenta la distorsión armónica de una señal. Siendo el TPF un indicador de eficiencia energética, indica que también se está utilizando la energía de la red eléctrica.

Para calcular el TPF se multiplica el factor de potencia por

Ejemplo:

Datos iniciales

DPF=0.95

THDi=90%

Datos calculados.

$$D = \frac{1}{\sqrt{[1 + (0.9)^2]}} = 0.7433$$

$$T = 0.95 * 0.7433 = 0.7061$$

*Onda reflejada.*

Este fenómeno es producido por la sobretensión que se da entre la salida del variador de velocidad y el motor, que puede llegar a ser hasta 2 veces el voltaje del bus DC del variador de velocidad definido también como el aumento de la tensión en función del tiempo (dV/dt).

Si no tomamos en cuenta este fenómeno y no contamos con protecciones y conductores adecuados ocasionaríamos el deterioro en la vida útil de nuestros motores.

Principalmente es ocasionado por la gran longitud en las líneas de alimentación del variador al motor y por la alta frecuencia de conmutación de los IGBT con los cuales se construye actualmente el rectificador de salida de los variadores de velocidad (ver anexo 11). (Risoul, 2020)

*Ruido en modo común.*

Las perturbaciones de modo común son aquellas que ocurren entre el neutro de potencia y el conductor de tierra. Este efecto ocurre cuando las capacitancias parasitas en el conductor y en las bobinas del motor, son transmitidas por el conductor de tierra el cual está conectado con el neutro contaminando las fases.

Para reducir este efecto es necesario hacer uso de un cable especial con apantallamiento el cual transmita la perturbación al filtro RFI del variador.

### **Herramientas para la solución de armónicos**

*Inductancias de línea.*

Una de las soluciones más económicas, sencillas y efectivas para reducir los armónicos se llaman inductancias de línea o bien inductancias internas en el bus DC del variador de velocidad.

Una inductancia se opone a los cambios bruscos de la corriente, así que, cuando introducimos una inductancia en una señal que tiene variaciones bruscas de la corriente, reduciendo la distorsión de tensión.

Las inductancias de línea situadas aguas arriba del variador, atenúan la distorsión de la forma de onda que se devuelve a la red perturbada por los armónicos generados por el propio variador, debido a todos los elementos de conmutación electrónicos, diodos, IGBT, etc. No obstante, la inductancia de línea aguas arriba también genera una pequeña caída de tensión en torno al 3% de la tensión de alimentación, aunque es despreciable desde el punto de vista del motor, por lo que NO se aconseja este tipo de inductancias para atenuación de picos de tensión en bornas del motor, sino como se ha comentado anteriormente, para atenuar la distorsión armónica generada por el propio variador y proteger además al equipo de perturbaciones producidas aguas arriba por otros elementos de la red. (Sotelo, s.f.) (Schneider, 2010)

Estos dispositivos se instalan de manera individual en el punto de alimentación en serie con la carga. Su impedancia varía entre el 3% y el 5%.

Cuando se implementa un variador de frecuencia sin control armónicos se producen:

- ) Altos picos de corriente
- ) Fuerte variación de la tensión en el tiempo
- ) Alto THDi Aprox 110%
- ) Envejecimiento de diodos.

Sin embargo, cuando introducimos inductancias de línea conseguimos (ver anexo 12):

- ) Bajos picos de corriente.
- ) Menor variación de la tensión en el tiempo.
- ) Meno THDi Aprox 40%
- ) Mayor vida de diodos.

*Filtros pasivos para lograr 5% o 10% de THDi.*

El filtro pasivo es un dispositivo que mediante un arreglo entre inductancias, capacitancias y resistencias ofrecen un camino de baja impedancia para las frecuencias indeseadas quemándola sobre una resistencia y limpiando la onda tratada (ver anexo 13).

Según Schneider Electric, estos filtros están disponibles para lograr una tasa de distorsión entre el 5% realizando una doble compensación mitigando tanto el 5th como el 7th armónico, y del 10% logrando solo la compensación del 5th armónico.

Uno de los riesgos que existen en el uso del filtro pasivo debido a que la componente capacitiva del filtro pasivo es significativa, es que, si el variador de velocidad no está en funcionamiento, esa componente puede llegar a ocasionar una sobre compensación reactiva capacitiva en el sistema eléctrico de potencia, ocasionando la elevación de la tensión del sistema de potencia.

Para evitar esa sobre compensación, se debe de hacer un enclavamiento entre la operación del condensador del filtro pasivo con la operación del variador de velocidad,

de manera que el condensador solo entra siempre y cuando el variador está en funcionamiento.

#### *Filtros activos.*

El concepto de un filtro activo es producir componentes armónicos, que cancelan los componentes armónicos de las cargas no lineales (ver anexo 14) corrigiendo el factor de potencia, desbalances de corrientes y fluctuaciones de voltaje tipo SAG (caídas de tensión momentáneas que se presentan en el arranque de un motor con control directo).

Se instala como un dispositivo paralelo y se escala a través de unidades múltiples en paralelo y se dimensiona únicamente en la corriente armónica. Este dispositivo genera una zona limpia de armónicos según sea su instalación en la instalación (ver anexo 15). Puede manejar diferentes tipos de cargas, lineales o no lineales. Aborda los armónicos desde el punto de vista del sistema y puede ahorrar costos/espacios significativos en muchas aplicaciones. Su nivel de rendimiento puede alcanzar el objetivo THDi del 5% (ver anexo 16).

#### *Filtros dv/dt.*

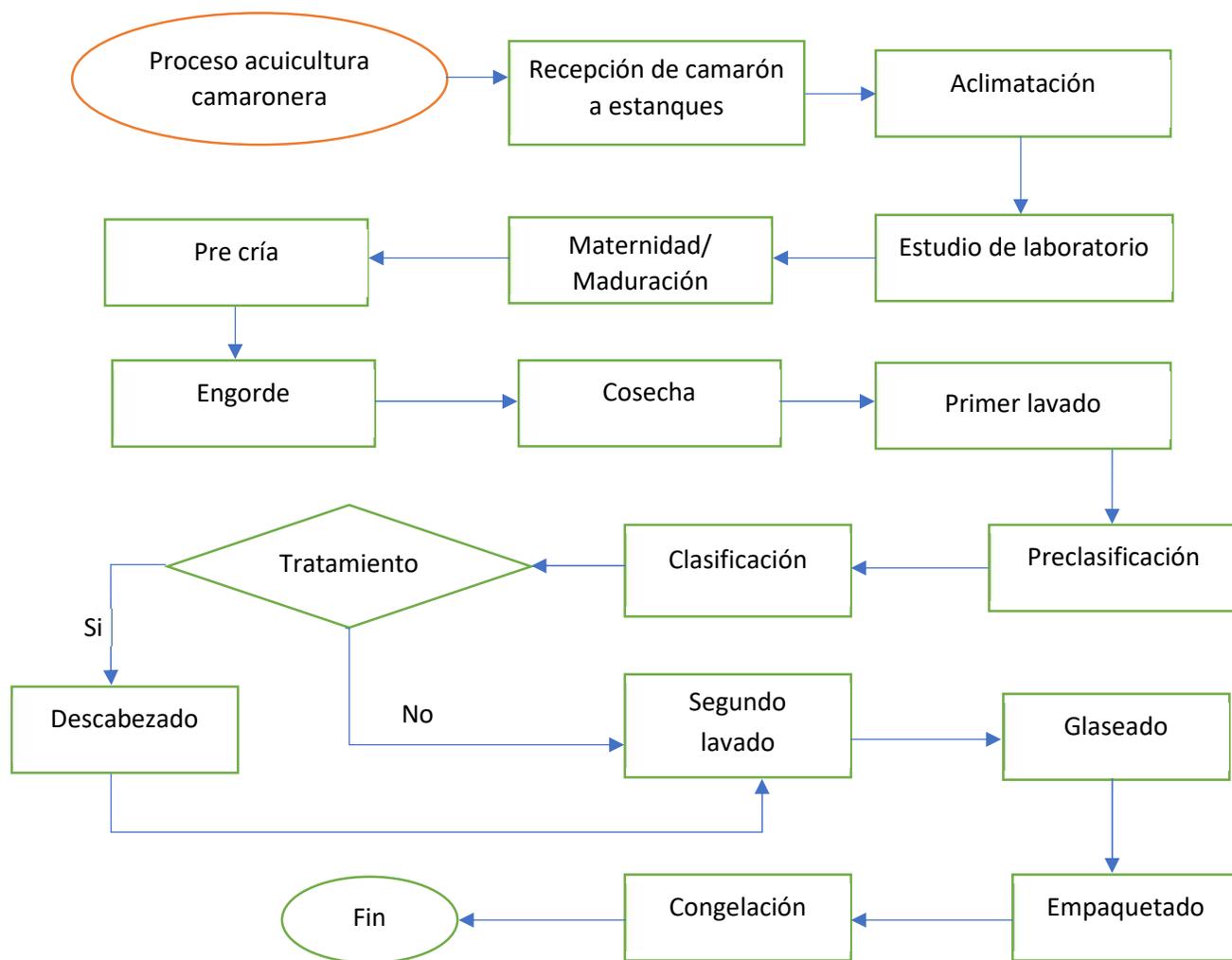
El filtro dv/dt (derivada del voltaje respecto al tiempo), garantiza la mejor relación Costo-Beneficio para longitudes de cable de hasta 300m. (ver anexo 17)

#### *Filtro Senoidal.*

El filtro senoidal garantiza el mejor desempeño logrando longitudes de cable de hasta 1000m. (Ver anexo 18)

**Procesos industriales en Grupo Nueva Pescanova que permiten la implementación de la tecnología de variación de frecuencia.**

**Figura 1.** Diagrama del proceso industrial en Grupo Nueva Pescanova.



## **Descripción del Proceso Industrial**

### **Recepción de camarones a estanques**

El inicio del proceso es a través de un canal principal en el cual se conecta con el embalse para el abastecimiento de agua y obtención del camarón silvestre, por medio de compuertas manejadas por el personal se regula la cantidad de agua permitida y además estas antes de llegar a los estanques están equipadas con filtros para evitar el ingreso de depredadores y competidores de los camarones.

### **Aclimatación**

Por medio de bombas sumergibles y axiales son extraído los camarones de los estanques a piscinas, también se procura el control del agua obtenido de esta manera para nivelar la salinidad y mineralización que esta posee acorde a los requerimientos exigidos para una buena salud de los camarones.

### **Estudio de laboratorio.**

Se seleccionan muestras de camarones en diferentes puntos de las piscinas para verificar su estado y a la vez su adaptación al medio, se estudia la salud y crecimiento.

### **Maternidad y maduración**

En este paso los reproductores se conservan en piscinas de maduración en salas interiores oscuras, con agua de mar limpia y filtrada. El alimento que se suministra es una mezcla de alimentos frescos y balanceados. Se procede a la ablación de un pedúnculo ocular a cada hembra, lo cual lleva a repetidos ciclos de maduración y desove se ocupan 10 piscinas de 20 ton de agua por vivero. Se alcanzan tasas de desove de 5–15 por ciento/noche, luego se desinfectan con iodo y/o formalina, se vuelven a enjuagar, se cuentan y se transfieren piscinas de cría.

Estos están equipados con blower y chiller(ver anexo 19), que controlan la temperatura y su regulación evita que estos se queden acumulados en un solo lugar, sino que se distribuyan uniformemente por toda la piscina.

### **Pre-cría**

Etapas en la que luego de la eclosión de los huevos de camarón pasan a una zona de reposo dentro de otras piscinas equipadas con las mismas maquinarias, teniendo en cuenta el cuidado más crítico con la temperatura, calidad de comida de los camarones y salinidad de las aguas para que estos puedan desarrollarse.

Debe de tenerse en cuenta sus horas de comida normalmente a la misma hora en horarios nocturnos principalmente.

## **Engorde**

Se realiza recambio de agua para evitar amoríos y posibles enfermedades aparte de dar limpieza a los estanques.

Se aumenta la cantidad de camarones por m<sup>3</sup> de agua aumentando la temperatura de las aguas en caso de que los camarones empiecen a pelear o disminuirlas en caso de que estas no estén comiendo la cantidad estimada.

## **Cosecha**

Se hacen exámenes de laboratorio para examinar la coloración de los camarones, textura del caparazón teniendo en cuenta que su nivel de aceptación está en 95% de dureza del caparazón es adecuado para la cosecha.

A través de bombas sumergibles son extraídas para su procesamiento industrial y preparación.

## **Primer lavado**

El procedimiento de prelavado se realiza con el objetivo de eliminar materia extraña como arena, lodos, algas, etc. El camarón es lavado con agua fría, con contenido de una solución de cloro. Durante el lavado se le va agregando hielo en forma constante, con el fin de conservar una temperatura de 0°C a 7°C. Esto es con el fin de que no sufra cambios bruscos de temperatura durante el proceso, así se evita el riesgo de la acción enzimática (comúnmente llamada de manchado) y la acción bacteriana (putrefacción) o proliferación de bacterias. Además, que esto permite no generar mermas respecto a su peso por deshidratación por día. (Industrial, 2017)

## **Preclasificación**

En esta etapa se realiza la separación manual de camarones en mal estado y de materia extraña (sardinas, pescados, otros crustáceos) (Botella, 2016) El camarón es puesto en bandas de transportación (preferentemente) (Ver anexo 20) de donde son retirados los camarones que no cumplen los requisitos para ser de primera clase o de exportación, es decir, los camarones quebrados, manchados, que están alterados en su constitución orgánica, que tengan signos clásicos de estar descompuestos (olor desagradable y alteración de su pH natural) (Industrial, 2017)

## **Clasificación**

El producto recibe un baño por inmersión en agua clorada y metabisulfito de sodio y es clasificado mecánicamente por talla de producto (Industrial, 2017) , Estas clasificaciones son Jumbo 16/20, L-Grande 31/45 y medio 41-50

### **Descabezado**

Consiste en quitar la cabeza del camarón de forma manual. Este procedimiento se realiza siempre y cuando el producto no cumpla con las especificaciones para empacar entero o cuando la demanda de producto sea descabezada (Botella, 2016)

### **Segundo lavado**

Nuevamente el camarón es lavado con agua fría que contiene una solución de cloro. Se le agrega hielo en forma constante, con el fin de conservar una temperatura de 0°C a 7°C. (Industrial, 2017)

### **Glaseado**

Posteriormente al segundo lavado. Los camarones pasan en bandas de transportación a una máquina de glaseo cuya función es la preservación del camarón. La temperatura en el glaseo no será mayor a 10°C.

### **Empaquetado**

Posterior al glaseo pasa ser empaquetado en cajas de cartón utilizando una bolsa de plástico para evitar que esta se humedezca y se destrozce durante el manejo. Ya colocado el camarón, procede la caja a ser pesada para cubrir el peso estipulado para su presentación.

### **Congelación**

Los camarones empacados permanecen un tiempo aproximado y sugerido de 4 a 12 horas dentro de los túneles, cuartos o cámaras de congelación, a una temperatura entre los -15°C a -25°C, obteniéndose al final de este proceso una congelación adecuada y efectiva. (Industrial, 2017)

### **Almacenamiento de producto terminado**

El personal de control de calidad deberá hacer una inspección final por muestreo al producto terminado. El producto terminado es almacenado en bodega de congelación, manteniéndose a una temperatura -15°C y -25°C, para su conservación. (Industrial, 2017)

## **DISEÑO METODOLÓGICO**

### **Área y Línea de investigación**

Ingeniería industrial, optimización energética.

### **Método / Técnica**

Se aplicará el método Experimental ya que se llevará un análisis estadístico en la cual se comprobará o refutará el planteamiento del trabajo sobre las tecnologías reductoras de consumo energético.

Para llevar a cabo este método es necesario la recopilación de información referente al proceso productivo que tiene la empresa en la cual se realizaran tipos de datos de grado primarios y secundarios.

Los datos primarios son obtenidos a través de encuesta realizada directamente al jefe de la línea de producción.

Los datos secundarios son obtenidos a través de documentos de apoyo generados por estudios realizados por la Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali, 2010.

También se ocuparán tablas para la evaluación técnica e indicación de las áreas que están ocupadas por los equipos eléctricos a los cuales se centrara el estudio.

Título: Análisis de tecnologías reductoras de consumo energético.

Enfoque de investigación: Experimental

Nivel de investigación: Explicativo

Sujetos que intervienen: Sistema productivo de la empresa nueva Pescanova

Técnicas de recolección de datos: entrevistas estructuradas/no estructuradas. Diseño cuasi experimental

Instrumentos de recolección de datos: cuadro de registro, Diagrama comparativo

Procesamiento de datos: análisis de contenido

### **Universo/Muestra**

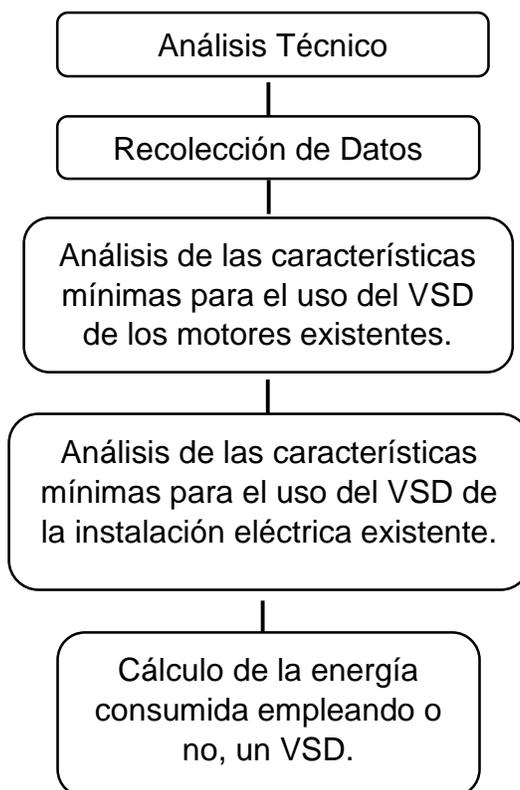
La población o universo es el sistema productivo dentro de la empresa que abarca las máquinas de extracción de los camarones desde el océano pasando por su crianza y luego proceso de preparación para la distribución.

La muestra son los motores eléctricos de inducción e instalación eléctrica de todo el sistema productivo.

### **Análisis técnico.**

El análisis técnico debe iniciarse por comprender el funcionamiento de los sistemas en los cuales es factible implementar un variador de frecuencia, con el fin de realizar control del proceso y obtener la información de su comportamiento, en cuanto a las señales de presión, la potencia consumida por el motor de inducción, el perfil de la carga y las especificaciones de los equipos asociados al sistema (Bombas, ventiladores, válvulas, tuberías y motores). El perfil de la carga se entiende como el comportamiento de la variable controlada por el equipo asociado al motor y se puede obtener de un sistema de control distribuido o monitoreando las señales en sitio periódicamente.

**Figura 2.** Diagrama de flujo método de análisis técnico



En el caso de no cumplir con las condiciones mínimas para el uso de esta tecnología, se debe tener en cuenta el escenario del cambio del equipo existente, modificación de las condiciones de instalación o implementación de algún otro equipo complementario.

De acuerdo con lo planteado hasta el momento, en este trabajo se va a establecer una metodología que permita el análisis técnico de la instalación de variadores de frecuencia para motores de inducción. A continuación, se redactará Paso a Paso la Metodología mencionada:

## PASO 1. Recolección de Datos

Obtener las especificaciones de diseño del motor, la bomba o el ventilador para compararla con la mínima admisible para el uso de la tecnología e identificar el método de control del proceso y construcción actual de la instalación eléctrica. Estos datos serán usados para incorporar según corresponda, el algoritmo de control motor adecuado para el proceso e identificar los cambios necesarios para la implementación de la tecnología.

Las herramientas por usar serán las siguientes tablas.

**Tabla 1. Evaluación Técnica para la implementación de VSD en motores.**

FORMATO #1									
Evaluación Técnica para la implementación de VDF en motores									
NUEVA									
Empresa: GRUPO PESCANOVA							Fecha: 2/12/2023		
Información del proceso						Características mínimas para el uso de variador			
Proceso	Equipo	Gestión motor actual	Pot. [kw]	In Motor [A]	Tens. [V]	AF [F, H]	MR [NO]	Inv.D [SI]	Alt. Ef. [NO]
Primer y segundo lavado	Bomba #1	Arranque Suave	10	14.2	480V D 3F	F	NO	SI	NO
	Bomba #2	Arranque Suave	10	14.2	480V D 3F	F	NO	SI	NO
	Bomba #3	Arranque Suave	10	14.2	480V D 3F	F	NO	SI	NO
	Banda Transp. #1	Arranque Directo	1	2.8	240V D 3F	F	NO	NO	SI
	Banda Transp. #1	Arranque Directo	1	2.8	240V D 3F	F	NO	NO	SI
	Banda Transp. #1	Arranque Directo	1	2.8	240V D 3F	F	NO	NO	SI
Preclasificación	Banda Transp. #2	Arranque Directo	2	5.7	240V D 3F	H	NO	NO	SI
	Banda Transp. #2	Arranque Directo	2	5.7	240V D 3F	H	NO	NO	SI
	Banda Transp. #2	Arranque Directo	2	5.7	240V D 3F	H	NO	NO	SI
Clasificación	Banda Transp. #3	Arranque Directo	3	8.5	240V D 3F	F	NO	SI	NO
	Banda Transp. #3	Arranque Directo	3	8.5	240V D 3F	F	NO	SI	NO
	Banda Transp. #3	Arranque Directo	3	8.5	240V D 3F	F	NO	SI	NO
Glaseado	Glaseadora #1	Arranque Suave	5.5	7.8	480V D 3F	F	NO	SI	NO
	Banda Transp. #4	Arranque Directo	2	5.7	240V D 3F	H	NO	NO	SI
Congelación	Condensadora	Arranque Suave	22	31.1	480V D 3F	F	NO	SI	NO
	Compresor Pistón	Arranque Suave	12.5	17.7	480V D 3F	F	NO	SI	NO
	Evaporador	Arranque Suave	5	7.1	480V D 3F	F	NO	SI	NO
Salas de procesamiento	Chiller #1	Arranque Suave	25	35.4	480V D 3F	H	NO	SI	NO
	Chiller #2	Arranque Suave	25	35.4	480V D 3F	H	NO	SI	NO
	Chiller #3	Arranque Suave	25	35.4	480V D 3F	H	NO	SI	NO

**Abreviaturas de encabezado:**

Pot. [kw]: Potencia consumida por el motor expresada en kilowatts "kW"

In Motor [A]: Intensidad nominal del motor medida en amperios "A"

Tens. [V]: Tensión del sistema de alimentación expresado en voltios "V"

AF [F, H]: Aislamiento térmico requerido "F" o "H".

MR [NO]: Motor rebobinado "SI" o "NO"

Inv. D [SI]: Motor calificado como "Inverter Duty" para uso en variación de frecuencia "SI" o "NO"

Alt. Ef. [NO]: Motor calificado como "Alta eficiencia" para bajo consumo eléctrico "SI" o "NO"

Elaboró:

Firma:

**Tabla 2.** Evaluación Técnica para la implementación de VSF en la instalación.

FORMATO #2											
Evaluación Técnica para la implementación de VDF en la instalación											
Empresa: GRUPO NUEVA PESCANOVA						Fecha:			2/12/2023		
Características mínimas para el uso de variador											
Equipo	In Motor [A]	EN P/VSD (SI)	Cab. P/ VSD (SI)	Norma IEC60034-25	Long. CI [m]	Dist. VSD/Mot. [<50m]	Dist. VSD/Mot. [50-100m]	Dist. VSD/Mot. [101-300m]	Dist. VSD/Mot. [301-500m]	Dist. VSD/Mot. [501-1000m]	
Bomba #1	14.2	SI	NO	NO	20	SI	NO	NO	NO	NO	
Bomba #2	14.2	SI	NO	NO	20	SI	NO	NO	NO	NO	
Bomba #3	14.2	SI	NO	NO	20	SI	NO	NO	NO	NO	
Banda Transp. #1	2.8	SI	NO	SI	25	SI	NO	NO	NO	NO	
Banda Transp. #1	2.8	SI	NO	SI	27	SI	NO	NO	NO	NO	
Banda Transp. #1	2.8	SI	NO	SI	30	SI	NO	NO	NO	NO	
Banda Transp. #2	5.7	SI	NO	SI	35	SI	NO	NO	NO	NO	
Banda Transp. #2	5.7	SI	NO	SI	35	SI	NO	NO	NO	NO	
Banda Transp. #2	5.7	SI	NO	SI	41	SI	NO	NO	NO	NO	
Banda Transp. #3	8.5	SI	NO	SI	21	SI	NO	NO	NO	NO	
Banda Transp. #3	8.5	SI	NO	SI	23	SI	NO	NO	NO	NO	
Banda Transp. #3	8.5	SI	NO	SI	27	SI	NO	NO	NO	NO	
Glaseadora #1	7.8	SI	NO	SI	19	SI	NO	NO	NO	NO	
Banda Transp. #4	5.7	SI	NO	SI	51	NO	SI	NO	NO	NO	
Condensadora	31.1	SI	NO	SI	56	NO	SI	NO	NO	NO	
Compresor Pistón	17.7	SI	NO	SI	56	NO	SI	NO	NO	NO	
Evaporador	7.1	SI	NO	SI	56	NO	SI	NO	NO	NO	
Chiller #1	35.4	SI	NO	SI	60	NO	SI	NO	NO	NO	
Chiller #2	35.4	SI	NO	SI	60	NO	SI	NO	NO	NO	
Chiller #3	35.4	SI	NO	SI	60	NO	SI	NO	NO	NO	
<b>Abreviaturas de encabezado:</b>											
In Motor [A]: Intensidad nominal del motor medida en amperios											
EN P/VSD: Espacio necesario en el CCM (Centro de control de motores) para nuevos VSD y equipos de control "SI" o "NO"											
Cab. P/VSD: Cable a la alimentación del motor de para uso en variadores [Baja capacitancia y simétricos] "SI" o "NO"											
Norma IEC60034-25: Apto según norme de aplicación de filtros entre motor y VSD respecto a la longitud del cable instalado "SI" o "NO"											
Long. CI [m]: Longitud del cable instalado del variador al motor expresado en metros "m"											
Dist. VSD/Mot. [<50m]: Longitud del cable instalado del variador al motor menor a 50 metros "SI" o "NO"											
Dist. VSD/Mot. [50-100m]: Longitud del cable instalado del variador al motor en un rango de 50 y 100 metros "SI" o "NO"											
Dist. VSD/Mot. [101-300m]: Longitud del cable instalado del variador al motor en un rango de 101 y 300 metros "SI" o "NO"											
Dist. VSD/Mot. [301-500m]: Longitud del cable instalado del variador al motor en un rango de 301 y 500 metros "SI" o "NO"											
Dist. VSD/Mot. [501-1000m]: Longitud del cable instalado del variador al motor en un rango de 501 y 1000 metros "SI" o "NO"											
Elaboró:						Firma:					

**Tabla 3.** Detalle del trabajo real a velocidad nominal del motor por día.

<b>Formato #3</b>			
<b>Trabajo a velocidad nominal del motor según operación diaria</b>			
<b>Empresa:</b>		<b>GRUPO NUEVA PESCANOVA</b>	
		<b>Fecha:</b>	
		2/12/2023	
Equipo	Potencia [kw]	Velocidad Nominal [Vn]	% Operación/Día [OD]
Bomba #1	10	80%	50.0%
	10	100%	25.0%
	10	50%	25.0%
Bomba #2	10	25%	66.0%
	10	50%	33.0%
Bomba #3	10	0%	0.0%
Banda Transp. #1	1	85%	100.0%
Banda Transp. #1	1	85%	100.0%
Banda Transp. #1	1	85%	100.0%
Banda Transp. #2	2	85%	100.0%
Banda Transp. #2	2	85%	100.0%
Banda Transp. #2	2	85%	100.0%
Banda Transp. #3	3	85%	100.0%
Banda Transp. #3	3	85%	100.0%
Banda Transp. #3	3	85%	100.0%
Glaseadora #1	5.5	80%	33.0%
	5.5	75%	33.0%
	5.5	60%	33.0%
Banda Transp. #4	2	85%	100.0%
Condensadora	22	80%	50.0%
	22	100%	25.0%
	22	50%	25.0%
Compresor Pistón	12.5	80%	50.0%
	12.5	100%	25.0%
	12.5	50%	25.0%
Evaporador	5	80%	50.0%
	5	100%	25.0%
	5	50%	25.0%
Chiller #1	25	60%	20.0%
	25	100%	30.0%
	25	30%	50.0%
Chiller #2	25	60%	20.0%
	25	100%	30.0%
	25	30%	50.0%
Chiller #3	25	60%	20.0%
	25	100%	30.0%
	25	30%	50.0%
<b>Elaboró:</b>			
<b>Firma:</b>			

**PASO 2. Criterio de Aprobación**

En la tabla 1, se ingresará información específica para determinar posteriormente si los motores de inducción existentes en la instalación son aptos para ser usados con la tecnología de variación de frecuencia.

Se ingresan dos tipos de información relevante:

- J) Información del proceso, se incorporan datos relevantes tales como; nombre del proceso, nombre del equipo vinculado al proceso, potencia, intensidad y la tensión de operación de este.
- J) Características mínimas para el uso del variador de frecuencia, se ingresa información clave del tipo de aislamiento del motor, si el motor fue rebobinado o no, si están bajo certificación Inverter Duty y si son o no, motores de alta eficiencia.

Si el motor de inducción cumple con las siguientes características será aprobado para ser controlado por un variador de frecuencia. Si no lo hace debe de ser reemplazado por uno que sí cumpla, posteriormente pasará al proceso de evaluación de la instalación eléctrica en la tabla 2.

Los requisitos mínimos de cumplimiento son:

- Tensión 240 o 480Vac bajo un sistema 3F en delta.
- Aislamiento térmico “F” o “H”.
- Motor no rebobinado.
- Tipo Inverter Duty
- No deben de ser de alta eficiencia.

En la tabla 2, se ingresará información para determinar si la instalación eléctrica de los motores que pasaron la primera evaluación respecto a la tabla 1, es apta para recibir esta tecnología de variación de frecuencia.

Si la instalación no cumple con las características las siguientes características se evaluará la adaptación de esta para la implementación del sistema.

- El espacio en el CCM (centro de control de motor) debe de ser apto para incorporar físicamente el variador de frecuencia.
- El cable del variador al motor debe ser tipo XLPE con tierra simétrica de tres puntos.
- Cumplir con la longitud establecida en la norma IEC60034-25 (guía para determinar tanto las pérdidas como el rendimiento en máquinas eléctricas rotativas exceptuando aquellas máquinas destinadas a la tracción de vehículos) (ver anexo 21).

La tabla 3, registrará la información correspondiente al porcentaje de trabajo a velocidad nominal del motor que este requiere en un determinado tiempo en el día, porcentualizando de igual manera el tiempo hábil del trabajo el motor en un día.

Una vez se tengan lista la información de las tres tablas y filtrados los motores e instalación apta para el uso de esta tecnología, se procederá a realizar los cálculos pertinentes del proceso actual versus el proceso con la implementación de la tecnología de variación de frecuencia bajo el escenario hipotético que todo cumpla. Para los procesos, equipo o instalación que no lo haga, se detallarán los costos de la adecuación de estos en el análisis de costo-beneficio.

### PASO 3. Cálculo de la energía consumida por los motores sin la tecnología de la

#### Variación de frecuencia

Calcular el consumo de energía en hWh para un año, el cual es producto de las horas de operación por día, la potencia por periodos (hora) y los días al año de operación por cada motor de inducción.

Para este caso como todos los procesos son gestionados con métodos de arranque directo y arrancador suave, se debe de calcular la energía consumida a velocidad constante. Como resultado de este paso se obtendrá un valor de energía, el cual se denominará: E1 (Energía consumida a velocidad constante).

La energía consumida a velocidad constante se puede obtener de los sistemas de medida que tenga el equipo o en caso de no tenerlos, se deben consignar los datos mediante la información de placa que todos los motores de inducción tienen incorporada en su chasis.

Según el documento oficial de tarifas autorizadas para la distribuidora DISNORTE y DISSUR el 1 de junio del 2022 elaborado por el Instituto Nicaragüense de Energía (INE), obtenemos los costos de la energía en su tarifa industrial mayor, la cual aplica para una carga contratada de 200kw bajo el código T-5, por un monto de 5.9919 (C\$/kWh).

**Figura 3.** Documento oficial de tarifas autorizadas para la distribuidora.



**INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ENERGÍA  
ENTE REGULADOR**

**TARIFAS ACTUALIZADAS A ENTRAR EN VIGENCIA EL 1 DE JUNIO DE 2022  
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)
INDUSTRIAL MENOR	Carga contratada hasta 25 kW para uso industrial (Talleres, fábricas, etc).	T-3	TARIFA MONOMIA Todos los kWh	7.4618	
		T-3A	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Todos los kWh kW de Demanda Máxima	5.2632	701.0337
INDUSTRIAL MEDIANA	Carga contratada mayor de 25 kW y hasta 200 kW para uso industrial (Talleres, Fábricas, etc.)	T-4	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Todos los kWh kW de Demanda Máxima	5.8029	691.7319
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 kW de Demanda Máxima	5.9919	660.0071

**Fuente:** INE, 2022

Se realiza la conversión a dólar (USD) en base a la tasa de cambio del banco central de Nicaragua (BCN) al 28 de febrero del 2023 la cual es de 36.3201 córdoba por cada dólar.

$$\text{Tarifa (USD/kWh)} = \left( \frac{5.9}{3.3} \frac{N}{N/U} \right) = 0.165 U$$

Ahora se calcula el costo de la energía por proceso y equipo a velocidad constante en un año, tomando en cuenta 8 horas laborales al día y 250 días laborales al año.

**Tabla 4.** Cálculo de la energía consumida por los motores sin la tecnología de la Variación de frecuencia.

FORMATO #4					
Cálculo de la energía consumida por los motores sin la tecnología de la Variación de frecuencia					
<b>Empresa:</b>		<b>GRUPO PESCANOVA</b>		<b>Fecha:</b> 2/12/2023	
<b>Costo USD kW/h:</b>	<b>\$ 0.165</b>				
<b>Horas al día:</b>	<b>8</b>				
<b>Días al año:</b>	<b>250</b>				
Basados en la fórmula de afinidad $P_1/P_2 = (N_1/N_2)^3$ ,					
la ecuación por implementar será:					
$E_{1(\%Vn)} = (kw) * (\% Vn)^3 * (Cm) * (horas/día) * (días/año) * (USD/kW hora) = \text{USD/año}$					
<b>Donde:</b>					
<b>Pot. [kW]=</b>	Potencia consumida por el motor expresada en kilowatts [kW]				
<b>% Vn=</b>	Porcentaje de la potencia del motor a velocidad constante				
<b>Cm=</b>	Cantidad de motores en el proceso o equipo				
<b>E<sub>1 Total</sub>=</b>	Energía total consumida a velocidad constante				
Proceso	Equipo	Pot. [kw]	% Vn	Cm	USD/año
Primer y segundo lavado	Bomba #1	10	100%	1	\$ 3,300.000
	Bomba #2	10	100%	1	\$ 1,237.500
	Bomba #3	10	0%	1	\$ -
	Banda Transp. #1	1	100%	1	\$ 330.000
	Banda Transp. #1	1	100%	1	\$ 330.000
	Banda Transp. #1	1	100%	1	\$ 330.000
Preclasificación	Banda Transp. #2	2	100%	1	\$ 660.000
	Banda Transp. #2	2	100%	1	\$ 660.000

	Banda Transp. #2	2	100%	1	\$ 660.000
Clasificación	Banda Transp. #3	3	100%	1	\$ 990.000
	Banda Transp. #3	3	100%	1	\$ 990.000
	Banda Transp. #3	3	100%	1	\$ 990.000
Glaseado	Glaseadora #1	5.5	100%	1	\$ 1,815.000
	Banda Transp. #4	2	100%	1	\$ 660.000
Congelación	Condensadora	22	100%	1	\$ 7,260.000
	Compresor Pistón	12.5	100%	1	\$ 4,125.000
	Evaporador	5	100%	1	\$ 1,650.000
Salas de procesamiento	Chiller #1	25	100%	1	\$ 8,250.000
	Chiller #2	25	100%	1	\$ 8,250.000
	Chiller #3	25	100%	1	\$ 8,250.000
<b><math>E_1</math> Total=</b>					<b>\$ 50,737.500</b>
<b>Notas:</b>					
<i>La bomba 2 es una bomba que solo trabaja para mantener la presión de la tubería respaldando la bomba 1.</i>					
<i>La bomba 3 es una bomba de respaldo en caso de que la bomba 1 o 2 falle. Por tal motivo, se considera con un trabajo de 0 tiempo.</i>					
<b>Elaboró:</b>			<b>Firma:</b>		

#### **PASO 4. Cálculo de la energía consumida empleando un variador de frecuencia para controlar la velocidad de un motor de inducción.**

Calcular el consumo de energía en kWh para un año, el cual es producto de las horas de operación por día, la potencia por periodos (hora) y los días al año de operación por cada motor de inducción.

De acuerdo con los datos obtenidos en la tabla 3, respecto al detalle del trabajo real a velocidad nominal del motor por día, se debe de calcular la energía consumida a velocidad variable o constante según la naturaleza del funcionamiento de la carga (Par variable o constante). Como resultado de este paso se obtendrá un valor de energía, el cual se denominará: E2 (Energía consumida usando variador de frecuencia).

Para este cálculo se toma el mismo costo energético que el paso 3, (*tarifa = 0.165 USD/kWh*), calculando el costo de la energía por proceso y equipo empleando la tecnología de variación de frecuencia en un año, tomando en cuenta 8 horas laborales al día y 250 días laborales al año.

Se identifica y se separa cada equipo en función de su aplicación.

Equipos con funcionamiento a par variable (bombas, ventiladores, compresores)

- Bomba #1
- Bomba #2
- Bomba #3
- Glaseadora#1
- Condensadora
- Compresor de Pistón
- Evaporador
- Chiller #1
- Chiller #2
- Chiller #3

Equipos con funcionamiento a par constante (bandas transportadoras, grúas, transporte de materiales)

- Banda Transporte #1
- Banda Transporte #2
- Banda Transporte #3
- Banda Transporte #4

Se calcula mediante la ley de afinidad la energía consumida según el funcionamiento de cada equipo.

Equipos con funcionamiento a par variable (bombas, ventiladores, compresores)

**Tabla 5.** Cálculo de la energía consumida por los motores empleando la Variación de frecuencia.

FORMATO #5						
Cálculo de la energía consumida empleando un variador de frecuencia para controlar la velocidad de un motor de inducción						
<b>Empresa:</b>	<b>GRUPO NUEVA PESCANOVA</b>			<b>Fecha:</b>	<b>2/12/2023</b>	
Costo USD kW/h:	\$ 0.165					
Horas al día:	8					
Días al año:	250					
<p>Basados en la fórmula de afinidad <math>P_1/P_2 = (N_1/N_2)^3</math>, la ecuación a implementar será:  <math>E_{2(\%Vn)} = (kw) * (\% Vn)^3 * (\% \acute{O}p./Día) * (Cm) * (horas/día) * (días/año) * (USD/kW hora) = \text{USD/año}</math></p> <p><b>Donde:</b></p> <p><b>Pot. [kW]=</b> Potencia consumida por el motor expresada en kilowatts [kW]  <b>% Vn=</b> Porcentaje de la potencia del motor a velocidad constante  <b>% Op/Día=</b> Porcentaje de la operación por día  <b>Cm=</b> Cantidad de motores en el proceso o equipo  <b>E<sub>2 Total</sub>=</b> Energía total consumida empleando variación de velocidad</p>						
Proceso	Equipo	Pot. [kw]	% Vn	% Óp./Día	Cm	USD/año
Primer y segundo lavado	Bomba #1	10	80%	50.0%	1	\$ 844.80
		10	100%	25.0%	1	\$ 825.00
		10	50%	25.0%	1	\$ 103.13
	Bomba #2	10	25%	66.0%	1	\$ 34.03
		10	50%	33.0%	1	\$ 136.13
	Bomba #3	10	0%	0.0%	1	\$ -
	Banda Transp. #1	1	85%	100.0%	1	\$ 202.66
Banda Transp. #1	1	85%	100.0%	1	\$ 202.66	
Banda Transp. #1	1	85%	100.0%	1	\$ 202.66	
Preclasificación	Banda Transp. #2	2	85%	100.0%	1	\$ 405.32
	Banda Transp. #2	2	85%	100.0%	1	\$ 405.32
	Banda Transp. #2	2	85%	100.0%	1	\$ 405.32
Clasificación	Banda Transp. #3	3	85%	100.0%	1	\$ 607.98
	Banda Transp. #3	3	85%	100.0%	1	\$ 607.98
	Banda Transp. #3	3	85%	100.0%	1	\$ 607.98
Glaseado	Glaseadora #1	5.5	80%	33.0%	1	\$ 306.66
		5.5	75%	33.0%	1	\$ 252.68
		5.5	60%	33.0%	1	\$ 129.37
	Banda Transp. #4	2	85%	100.0%	1	\$ 405.32
Congelación	Condensadora	22	80%	50.0%	1	\$ 1,858.56
		22	100%	25.0%	1	\$ 1,815.00

		22	50%	25.0%	1	\$ 226.88
	Compresor Pistón	12.5	80%	50.0%	1	\$ 1,056.00
		12.5	100%	25.0%	1	\$ 1,031.25
		12.5	50%	25.0%	1	\$ 128.91
	Evaporador	5	80%	50.0%	1	\$ 422.40
		5	100%	25.0%	1	\$ 412.50
		5	50%	25.0%	1	\$ 51.56
Salas de procesamiento	Chiller #1	25	60%	20.0%	1	\$ 356.40
		25	100%	30.0%	1	\$ 2,475.00
		25	30%	50.0%	1	\$ 111.38
	Chiller #2	25	60%	20.0%	1	\$ 356.40
		25	100%	30.0%	1	\$ 2,475.00
		25	30%	50.0%	1	\$ 111.38
	Chiller #3	25	60%	20.0%	1	\$ 356.40
		25	100%	30.0%	1	\$ 2,475.00
		25	30%	50.0%	1	\$ 111.38

**$E_2 \text{ Total} =$  \$ 22,516.403**

**Notas:**

La bomba 2 es una bomba que solo trabaja para mantener la presión de la tubería respaldando la bomba 1.

La bomba 3 es una bomba de respaldo en caso de que la bomba 1 o 2 falle. Por tal motivo, se considera con un trabajo de 0 tiempo.

Todos los motores identificados bajo el funcionamiento de control por par constante son gestionados al 85% de la velocidad nominal gracias al algoritmo de control vectorial estándar "**U/F VC Standard motor law**", este garantizará que en todo momento habrá disponibilidad del torque máximo del motor en cualquier velocidad trabajan a velocidad constante.

**Elaboró:****Firma:**

### PASO 5. Determinar el Ahorro energético

El cálculo se realiza contrastando la energía total obtenida a velocidad constante y la energía total obtenida empleando variadores de frecuencia.

Este contraste permitirá cuantificar el ahorro energético logrado.

$$\text{Ahorro} = E_1 - E_2$$

Donde:

$E_1$  = Energía total consumida a velocidad constante.

$E_2$  = Energía total consumida empleando variadores de frecuencia.

$E_1 \text{ TOTAL}_{100\%} = \$ 50,737.5 \text{ USD/año.}$

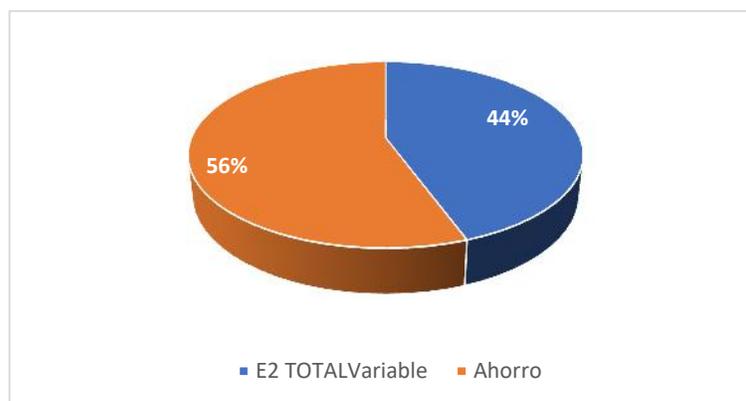
$E_2 \text{ TOTAL}_{\text{Variable}\%} = \$ 22,516.40 \text{ USD/año.}$

**Figura 3. Contraste Energético Monetario**



$$\text{Ahorro Monetario} = E_1 - E_2 = \$ 28,221.10$$

**Figura 4. Contraste Energético Porcentual**



$$\text{Ahorro Porcentual} = \left( \frac{E_1 T \quad 1\%}{(E_1 T \quad 1\% - E_2 T \quad V_t \quad \%)} \right) * 100\% = 5 \%$$

## PASO 6. Evaluación de la instalación eléctrica.

La siguiente tabla contiene la resolución de problemas respecto a las características mínimas para el uso de variador en la instalación eléctrica (Información en tabla 2). En esta de detalla:

- ) Calificación del motor para uso en variación de frecuencia.
- ) Cable apto para uso en variación de frecuencia.
- ) Aplicabilidad de la longitud de los cables según la Norma Internacional Europea IEC.
- ) Rangos de la longitud de los cables del variador al motor.

**Tabla 6.** Resolución de problemas Armónicos, Onda Reflejada y Ruido en Modo Común.

FORMATO #6										
Resolución de problemas										
<i>Empresa:</i> GRUPO PEZCANOVA							<i>Fecha:</i> 2/18/2023			
Características mínimas para el uso de variador							Solución de problemas			
Equipo	Inv.D [SI]	Cab. P/ VSD (SI)	Long. CI [m]	Norma IEC60034-25	Dist. VSD/Mot. [<50m]	Dist. VSD/Mot. [50-100m]	Inv.D [SI]	Cab. P/ VSD (SI)	Filtro de armónicos en la entrada	Filtros de salida (Según tabla IEC60034-25)
Bomba #1	SI	NO	20	NO	SI	NO		Comprar cable especial	La selección se realizará una vez se determinen los modelos de los VSD y se obtengan las corrientes de contaminación armónicas que producen estos equipos.	Filtro no requerido
Bomba #2	SI	NO	20	NO	SI	NO		Comprar cable especial		Filtro no requerido
Bomba #3	SI	NO	20	NO	SI	NO		Comprar cable especial		Filtro no requerido
Banda Transp. #1	NO	NO	25	SI	SI	NO	Comprar motor	Comprar cable especial		Filtro no requerido
Banda Transp. #1	NO	NO	27	SI	SI	NO	Comprar motor	Comprar cable especial		Filtro no requerido
Banda Transp. #1	NO	NO	30	SI	SI	NO	Comprar motor	Comprar cable especial		Filtro no requerido
Banda Transp. #2	NO	NO	35	SI	SI	NO	Comprar motor	Comprar cable especial		Filtro no requerido
Banda Transp. #2	NO	NO	35	SI	SI	NO	Comprar motor	Comprar cable especial		Filtro no requerido
Banda Transp. #2	NO	NO	41	SI	SI	NO	Comprar motor	Comprar cable especial		Filtro no requerido
Banda Transp. #3	SI	NO	21	SI	SI	NO		Comprar cable especial		Filtro no requerido
Banda Transp. #3	SI	NO	23	SI	SI	NO		Comprar cable especial		Filtro no requerido
Banda Transp. #3	SI	NO	27	SI	SI	NO		Comprar cable especial		Filtro no requerido

Glaseadora #1	SI	NO	19	SI	SI	NO		Comprar cable especial	Filtro no requerido
Banda Transp. #4	NO	NO	51	SI	NO	SI	Comprar motor	Comprar cable especial	Filtro no requerido
Condensadora	SI	NO	56	SI	NO	SI		Comprar cable especial	Filtro no requerido
Compresor Pistón	SI	NO	56	SI	NO	SI		Comprar cable especial	Filtro no requerido
Evaporador	SI	NO	56	SI	NO	SI		Comprar cable especial	Filtro no requerido
Chiller #1	SI	NO	60	SI	NO	SI		Comprar cable especial	Filtro dv/dt requerido
Chiller #2	SI	NO	60	SI	NO	SI		Comprar cable especial	Filtro dv/dt requerido
Chiller #3	SI	NO	60	SI	NO	SI		Comprar cable especial	Filtro dv/dt requerido

**Abreviaturas de encabezado:**

<i>Inv. D [SI]:</i>	<i>Motor calificado como "Inverter Duty" para uso en variación de frecuencia "SI" o "NO"</i>
<i>Cab. P/VSD:</i>	<i>Cable a la alimentación del motor de para uso en variadores [Baja capacitancia y simétricos] "SI" o "NO"</i>
<i>Long. CI [m]:</i>	<i>Longitud del cable instalado del variador al motor expresado en metros "m"</i>
<i>Norma IEC60034-25:</i>	<i>Apto según norme de aplicación de filtros entre motor y VSD respecto a la longitud del cable instalado "SI" o "NO"</i>
<i>Dist. VSD/Mot. [&lt;50m]:</i>	<i>Longitud del cable instalado del variador al motor menor a 50 metros "SI" o "NO"</i>
<i>Dist. VSD/Mot. [50-100m]:</i>	<i>Longitud del cable instalado del variador al motor en un rango de 50 y 100 metros "SI" o "NO"</i>

**Elaboró:**

**Firma:**

## PASO 7. Selección de equipos a implementarse.

La siguiente tabla contiene la información del consumo de intensidad, potencia y tensión del motor según placa de datos. Los modelos de los interruptores de protección termomagnética, contactor de accionamiento, variador de frecuencia, filtros de salida y filtro de armónicos en la entrada fueron seleccionados gracias al software *EcostruXture Motor Configurator* desarrollado por la marca internacional *Schneider Electric*. ([EcoStruxure™ Motor Control Configurator](#))

**Tabla 7.** Tabla de selección de equipos de gestión de motor usando variación de frecuencia.

<i>Empresa:</i>	<b>GRUPO PEZCANOVA</b>						<i>Fecha:</i>	<b>2/11/2023</b>	
<b>Equipo</b>	<b>Corriente Consumida Datos de Placa [A]</b>	<b>Potencia [kw]</b>	<b>Tensión [Volt]</b>	<b>Modelo del Interruptor</b>	<b>Modelo del Contactor</b>	<b>Modelo del VDF</b>	<b>Corriente armónica Según fabricante</b>	<b>Filtro dv/dt</b>	
Bomba #1	14.15	10	480	GV2L22	LC1D18P7	ATV320D11N4B	8.49	Filtro no requerido según tabla IEC60034-25	
Bomba #2	14.15	10	480	GV2L22	LC1D18P7	ATV320D11N4B	8.49	Filtro no requerido según tabla IEC60034-25	
Bomba #3	14.15	10	480	GV2L22	LC1D18P7	ATV320D11N4B	8.49	Filtro no requerido según tabla IEC60034-25	
Banda Transp. #1	2.83	1	240	GV2L14	LC1D09P7	ATV320U11M3C	8.49	Filtro no requerido según tabla IEC60034-25	
Banda Transp. #1	2.83	1	240	GV2L14	LC1D09P7	ATV320U11M3C	1.69	Filtro no requerido según tabla IEC60034-25	
Banda Transp. #1	2.83	1	240	GV2L14	LC1D09P7	ATV320U11M3C	1.69	Filtro no requerido según tabla IEC60034-25	
Banda Transp. #2	5.66	2	240	GV2L20	LC1D09P7	ATV320U22M3C	1.69	Filtro no requerido según tabla IEC60034-25	
Banda Transp. #2	5.66	2	240	GV2L20	LC1D09P7	ATV320U22M3C	3.39	Filtro no requerido según tabla IEC60034-25	
Banda Transp. #2	5.66	2	240	GV2L20	LC1D09P7	ATV320U22M3C	3.39	Filtro no requerido según tabla IEC60034-25	
Banda Transp. #3	8.49	3	240	GV2L22	LC1D09P7	ATV320U30M3C	3.39	Filtro no requerido según tabla IEC60034-25	
Banda Transp. #3	8.49	3	240	GV2L22	LC1D09P7	ATV320U30M3C	5.09	Filtro no requerido según tabla IEC60034-25	
Banda Transp. #3	8.49	3	240	GV2L22	LC1D09P7	ATV320U30M3C	5.09	Filtro no requerido según tabla IEC60034-25	
Glaseadora #1	7.78	5.5	480	GV2L22	LC1D09P7	ATV320U55N4B	5.09	Filtro no requerido según tabla IEC60034-25	
Banda Transp. #4	5.66	2	240	GV2L20	LC1D09P7	ATV320U22M3C	4.66	Filtro no requerido según tabla IEC60034-25	
Condensadora	31.13	22	480	BDL36080	LC1D50AP7	ATV630D22N4	3.39	Filtro no requerido según tabla IEC60034-25	
Compresor Pistón	17.68	12.5	480	GV3L40	LC1D25P7	ATV320D15N4B	18.67	Filtro no requerido según tabla IEC60034-25	
Evaporador	7.07	5	480	GV2L22	LC1D09P7	ATV320U55N4B	10.60	Filtro no requerido según tabla IEC60034-25	
Chiller #1	35.37	25	480	BDL36080	LC1D50AP7	ATV630D30N4	4.24	VW3A5305	
Chiller #2	35.37	25	480	BDL36080	LC1D50AP7	ATV630D30N4	21.22	VW3A5305	
Chiller #3	35.37	25	480	BDL36080	LC1D50AP7	ATV630D30N4	21.22	VW3A5305	
				Se recomienda seleccionar un filtro activo de armónicos de			148.56Amp.	Modelo: PCSP200D5N12	

**Elaboró:**

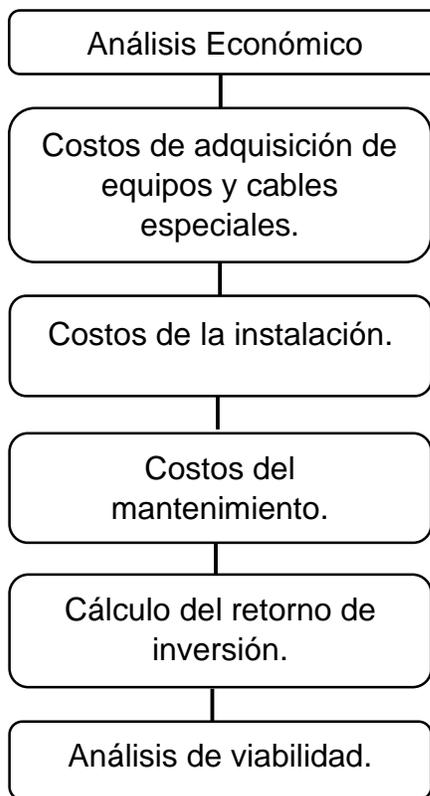
Los cálculos en la siguiente tabla se usan para la selección del calibre del conductor a emplearse en los motores gestionados con variadores de velocidad. Según OLFLEX® están basados en las tablas: tabla 430.250 ampacidad de motores a plena carga (NEC), multiplicado por el 125% según el artículo 430.22; tabla DIN VDE 0298-4 (ver anexo 22) para la ampacidad del cable a 30°C; teniendo en cuenta una altura no mayor a 1km.

**Tabla 8.** Tabla de selección de cables para el motor usando variación de frecuencia.

FORMATO #8 Selección de conductor uso VSD				
<i>Empresa:</i>	GRUPO NUEVA PESCANOVA		<i>Fecha:</i>	2/18/2023
Equipo	Corriente Consumida Datos de Placa [A]	Potencia [kw]	Tensión [Volt]	Calibre [AWG]
Bomba #1	14.15	10	480	12
Bomba #2	14.15	10	480	12
Bomba #3	14.15	10	480	12
Banda Transp. #1	2.83	1	240	14
Banda Transp. #1	2.83	1	240	14
Banda Transp. #1	2.83	1	240	14
Banda Transp. #2	5.66	2	240	14
Banda Transp. #2	5.66	2	240	14
Banda Transp. #2	5.66	2	240	14
Banda Transp. #3	8.49	3	240	14
Banda Transp. #3	8.49	3	240	14
Banda Transp. #3	8.49	3	240	14
Glaseadora #1	7.78	5.5	480	14
Banda Transp. #4	5.66	2	240	14
Condensadora	31.13	22	480	8
Compresor Pistón	17.68	12.5	480	10
Evaporador	7.07	5	480	14
Chiller #1	35.37	25	480	6
Chiller #2	35.37	25	480	6
Chiller #3	35.37	25	480	6
<i>Elaboró:</i>				

## Análisis económico.

Diagrama de flujo método de análisis económico



### **PASO 1. Costo de adquisición de equipos para la gestión del motor y cables especiales usando variación de frecuencia.**

Los siguientes precios son cotizados con la marca Schneider Electric, actualmente líder en el mercado nacional en los equipos de control y automatización industrial. Prestan una garantía de 12 meses contra desperfectos de fábrica y cuentan con soporte técnico local.

Estos equipos tienen una durabilidad de 20 años, siempre y cuando se les de mantenimiento cada 6 meses.

Los requerimientos de los catálogos fueron identificados en el PASO 7. (Selección de equipos a implementarse).

**Tabla 9.** Tabla de costos de adquisición equipos para la gestión de motor con variación de frecuencia.

FORMATO #9									
Costos de equipos para la gestión de motor con variación de frecuencia									
<b>Empresa:</b>	<b>GRUPO PESCANOVA</b>						<b>Fecha</b>	<b>2/18/2023</b>	
<b>Equipo</b>	<b>Modelo del Interruptor</b>	<b>P/Unit.</b>	<b>Modelo del Contactador</b>	<b>P/Unit.</b>	<b>Modelo del VDF</b>	<b>P/Unit.</b>	<b>Filtro dv/dt</b>	<b>P/Unit4</b>	
Bomba #1	GV2L22	\$ 76.84	LC1D18P7	\$ 29.61	ATV320D11N4B	\$ 974.22			
Bomba #2	GV2L22	\$ 76.84	LC1D18P7	\$ 29.61	ATV320D11N4B	\$ 974.22			
Bomba #3	GV2L22	\$ 76.84	LC1D18P7	\$ 29.61	ATV320D11N4B	\$ 974.22			
Banda Transp. #1	GV2L14	\$ 59.13	LC1D09P7	\$ 26.59	ATV320U11M3C	\$ 187.45			
Banda Transp. #1	GV2L14	\$ 59.13	LC1D09P7	\$ 26.59	ATV320U11M3C	\$ 187.45			
Banda Transp. #1	GV2L14	\$ 59.13	LC1D09P7	\$ 26.59	ATV320U11M3C	\$ 187.45			
Banda Transp. #2	GV2L20	\$ 62.10	LC1D09P7	\$ 26.59	ATV320U22M3C	\$ 250.38			
Banda Transp. #2	GV2L20	\$ 62.10	LC1D09P7	\$ 26.59	ATV320U22M3C	\$ 250.38			
Banda Transp. #2	GV2L20	\$ 62.10	LC1D09P7	\$ 26.59	ATV320U22M3C	\$ 250.38			
Banda Transp. #3	GV2L22	\$ 76.84	LC1D09P7	\$ 26.59	ATV320U30M3C	\$ 387.56			
Banda Transp. #3	GV2L22	\$ 76.84	LC1D09P7	\$ 26.59	ATV320U30M3C	\$ 387.56			
Banda Transp. #3	GV2L22	\$ 76.84	LC1D09P7	\$ 26.59	ATV320U30M3C	\$ 387.56			
Glaseadora #1	GV2L22	\$ 76.84	LC1D09P7	\$ 26.59	ATV320U55N4B	\$ 653.44			
Banda Transp. #4	GV2L20	\$ 62.10	LC1D09P7	\$ 26.59	ATV320U22M3C	\$ 250.38			
Condensadora	BDL36080	\$ 147.55	LC1D50AP7	\$ 97.52	ATV630D22N4	\$ 2,000.59			
Compresor Pistón	GV3L40	\$ 82.30	LC1D25P7	\$ 38.77	ATV320D15N4B	\$ 1,230.32			
Evaporador	GV2L22	\$ 76.84	LC1D09P7	\$ 26.59	ATV320U55N4B	\$ 653.44			
Chiller #1	BDL36080	\$ 147.55	LC1D50AP7	\$ 97.52	ATV630D30N4	\$ 2,410.69	VW3A5305	\$ 1,976.23	
Chiller #2	BDL36080	\$ 147.55	LC1D50AP7	\$ 97.52	ATV630D30N4	\$ 2,410.69	VW3A5305	\$ 1,976.23	
Chiller #3	BDL36080	\$ 147.55	LC1D50AP7	\$ 97.52	ATV630D30N4	\$ 2,410.69	VW3A5305	\$ 1,976.23	
Filtro de Armónicos	PCSP200D5N2	\$ 32,479.52			ATV630D30N4	\$ 2,410.69	VW3A5305	\$ 1,976.23	
		<b>\$34,192.53</b>		<b>\$ 836.76</b>		<b>\$19,829.76</b>		<b>\$ 7,904.92</b>	
<b>Sub-total</b>	<b>\$ 62,763.97</b>								
<b>Importación (12.5%)</b>	<b>\$ 7,531.68</b>								
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 70,295.65</b>								
<b>Elaboró:</b>									

Los siguientes precios fueron cotizados con la marca General Cable canalizados con su distribuidor local Silva Internacional, S.A.

Los requerimientos de las capacidades de los conductores fueron estimados en la tabla 8. (Tabla de selección de cables para el motor usando variación de frecuencia).

**Tabla 10.** Tabla de costos de adquisición de motores aptos para uso con variación de frecuencia.

<b>FORMATO #10</b>					
<b>Costos de motores aptos para uso con variación de frecuencia</b>					
<i>Empresa: GRUPO PESCANOVA</i>					<i>2/26/2023</i>
Proceso	Equipo	Pot. [kw]	In Motor [A]	Tens. [V]	P/Unit (USD)
Primer y segundo lavado	Banda Transp. #1	1	2.8	240V D 3F	\$ 278.15
	Banda Transp. #1	1	2.8	240V D 3F	\$ 278.15
	Banda Transp. #1	1	2.8	240V D 3F	\$ 278.15
Preclasificación	Banda Transp. #2	2	5.7	240V D 3F	\$ 315.10
	Banda Transp. #2	2	5.7	240V D 3F	\$ 315.10
	Banda Transp. #2	2	5.7	240V D 3F	\$ 315.10
Clasificación	Banda Transp. #3	3	8.5	240V D 3F	\$ 356.78
	Banda Transp. #3	3	8.5	240V D 3F	\$ 356.78
	Banda Transp. #3	3	8.5	240V D 3F	\$ 356.78
Glasiado	Banda Transp. #4	2	5.7	240V D 3F	\$ 315.10
					<b>\$ 3,165.19</b>
<b>Sub-total</b>	<b>\$ 3,165.19</b>				
<b>Importación (9.2%)</b>	<b>\$ 379.82</b>				
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3,545.01</b>				
<b>Abreviaturas de encabezado:</b>					
<i>Pot. [kw]:</i>					
<i>In Motor [A]:</i> <span style="float: right;"><i>Potencia consumida por el motor expresada en kilowatts "kW"</i></span>					
<i>Tens. [V]:</i> <span style="float: right;"><i>Intensidad nominal del motor medida en amperios "A"</i></span>					
<b>Elaboró:</b>					<b>Firma:</b>

**Tabla 11.** Tabla de costos de adquisición de cables para el motor usando variación de frecuencia.

FORMATO #10				
Costos de adquisición de cables para uso con variación de frecuencia				
<b>Empresa:</b>	<b>GRUPO PESCANOVA</b>			<b>Fecha:</b> 2/18/2023
Equipo	Calibre [AWG]	Long. Ci [m]	P/ Unit. (USD / metro lineal)	P/Total. (USD / metro lineal)
Bomba #1	12	20	\$ 4.82	\$ 96.40
Bomba #2	12	20	\$ 4.82	\$ 96.40
Bomba #3	12	20	\$ 4.82	\$ 96.40
Banda Transp. #1	14	25	\$ 4.54	\$ 113.50
Banda Transp. #1	14	27	\$ 4.54	\$ 122.58
Banda Transp. #1	14	30	\$ 4.54	\$ 136.20
Banda Transp. #2	14	35	\$ 4.54	\$ 158.90
Banda Transp. #2	14	35	\$ 4.54	\$ 158.90
Banda Transp. #2	14	41	\$ 4.54	\$ 186.14
Banda Transp. #3	14	21	\$ 4.54	\$ 95.34
Banda Transp. #3	14	23	\$ 4.54	\$ 104.42
Banda Transp. #3	14	27	\$ 4.54	\$ 122.58
Glaseadora #1	14	19	\$ 4.54	\$ 86.26
Banda Transp. #4	14	51	\$ 4.54	\$ 231.54
Condensadora	8	56	\$ 5.98	\$ 334.88
Compresor Pistón	10	56	\$ 5.62	\$ 314.72
Evaporador	14	56	\$ 4.54	\$ 254.24
Chiller #1	6	60	\$ 10.11	\$ 606.60
Chiller #2	6	60	\$ 10.11	\$ 606.60
Chiller #3	6	60	\$ 10.11	\$ 606.60
<b>Total</b>				<b>\$ 4,529.20</b>
<b>Sub-total</b>	\$	<b>4,529.20</b>		
<b>IVA (15%)</b>	\$	<b>543.50</b>		
<b>TOTAL</b>	\$	<b>5,072.70</b>		
<b>Elaboró:</b>				

## PASO 2. Costo de la instalación.

La instalación de estos equipos la realizará el personal interno de la empresa bajo supervisión del proveedor. Por tal motivo, se deprecia el costo de instalación.

## PASO 3. Costo del mantenimiento.

Los mantenimientos son ejecutados por el personal interno de la empresa e incluidos anualmente en el presupuesto operativo, por lo cual la adición de estos equipos no alteraría significativamente en el tiempo de ejecución y mano de obra invertida. Por tal motivo, se deprecia el costo de instalación.

## PASO 4. Cálculo del retorno de la inversión.

Para este paso se usará el cálculo por medio de la división entre los costos de adquisición e instalación y la energía ahorrada, esto da como resultado un valor en años.

$$R \text{ d l c i n } \acute{o}n = \frac{(C \text{ d a } \acute{o}n e + C \text{ d I n } \acute{o}n)}{Aho (e. e \acute{d}o l i U)}$$

Donde el costo de adquisición será igual al costo de equipos para la gestión del motor más el costo de los conductores para uso en variador de frecuencia.

$$R \text{ d l c i n } \acute{o}n = \frac{(\$ 70,295.65 + \$ 5,072.70 + \$ 3,545.01)U}{(\$ 28,221.10)} = 2.8$$

$$R \text{ d l c i n } \acute{o}n \approx 3 \text{ a\~{n}o}$$

## PASO 4. Determinar la viabilidad económica del proyecto.

De acuerdo con las directrices internas de la compañía respecto al retorno de inversión, se define si el proyecto es viable económicamente.

En el análisis realizado se observa que los costos de inversión son altos, sin embargo, el ahorro generado teóricamente en toda la planta es considerablemente atractivo y la tecnología posee un excelente desempeño y durabilidad.

GRUPO NUEVA PESCANOVA está comprometido con el desarrollo sostenible de toda su operación. En años anteriores realizaron una inversión en la transformación de toda su iluminación en LED para eficientar su consumo energético. Los resultados del análisis se ajustan a los planes corporativos de inversión. Por tal motivo, el proyecto es viable.

## Conclusión.

La implementación de esta tecnología de variación de frecuencia permite conseguir un considerable ahorro en la energía consumida en la planta. Este ahorro se amplifica cuando se aplica funcionamiento de par variable, sin embargo, aún en par constante gracias a los algoritmos control de motor específicos desarrollados por los fabricantes de estos equipos se obtiene un ahorro del 56% de la energía que se consumiría sin la implementación de esta tecnología.

Las ventajas que se obtiene al instalar un variador de frecuencia para controlar la velocidad de los motores de inducción son:

- ) Disminución en los costos de mantenimiento de los equipos asociados al sistema que se va a controlar con el variador de frecuencia, ya que reduce el estrés mecánico del equipo y de la misma instalación eléctrica.
- ) Paralelo a esto, la incorporación completa de filtros de armónicos y filtros de salida permiten aumentar la vida útil del transformador principal de potencia al liberarlo de corrientes armónicas que sobrecalientan su núcleo.
- ) Los conductores eléctricos trabajan a su capacidad nominal sin sobrecalentamiento por este mismo efecto armónico.
- ) El ahorro en energía que se obtiene al controlar la velocidad del motor.

La metodología del análisis técnico y económico desarrollada es práctica y permite identificar de manera fácil y rápida, la viabilidad de la implementación de esta tecnología.

Se determinó técnicamente que es viable la implementación del variador de frecuencia gracias al ahorro del 56% respecto al no usarla.

Se determinó que es económicamente viable al conseguir un retorno de la inversión en poco menos de tres años teniendo en cuenta que los costos de los mantenimientos no variarán en la programación actual de estos. Y también, la operatividad de la planta se vuelve más competitiva alineándose con las metas corporativas de eficiencia energética.

Se recomienda aplicar esta tecnología a todos los motores de inducción en la planta.

## Referencia

- Arlen. (2016). *Arlen.es*. Obtenido de Clasificación de aislamiento:  
<https://alren.es/documentacion/disenio-electrico/clasificacion-aislamiento/>
- EL CONSEJO DE DIRECCION DEL INSTITUTO. (2000). *NORMATIVA DE TARIFAS*. Managua.
- ICE & Cooperación Alemana. (2022). *Buenas Practicas de eficiencia energética para motores eléctricos industriales*. Costa Rica.
- ICE, Instituto costarricense de energía. (2017). *Buenas prácticas de eficiencia energética para motores Eléctricos Industriales*. Obtenido de grupoice:  
<https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/99e8cc9f-13ae-43e2-95eb-1be48772ad60/Motores+El%C3%A9ctricos+web.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IZQ11Si>
- Instituto Nicaragüense de Energía. (2000). *NORMATIVA DE TARIFAS*. Managua.
- Universidad Tecnológica Nacional de Argentina, Consultado en 2020 mediante sitio Web: [http://www.fra.utn.edu.ar/download/carreras/ingenierias/electrica/materias/planestudio/quintonivel/electronicall/apuntes/variadores\\_de\\_frecuencia.pdf](http://www.fra.utn.edu.ar/download/carreras/ingenierias/electrica/materias/planestudio/quintonivel/electronicall/apuntes/variadores_de_frecuencia.pdf)
- Philips. (2023). *Lighting Philips*. Obtenido de Eficiencia Energetica:  
<https://www.lighting.philips.es/sistemas/temas/luz-blanca-led/eficiencia-energetica>
- Risoul. (2020). *Risoul*. Obtenido de Fenómeno de onda reflejada y cómo afecta tus equipos: <https://www.risoul.com.mx/blog/fenomeno-de-onda-reflejada-y-como-afecta-tus-equipos#:~:text=La%20onda%20reflejada%20es%20la,tiempo%20>
- Schneider Electric CA, LTDA. (2020). *Gestión eficiente de Motores.*, (pág. 1). Costa Rica.
- Schneider, E. (2010). *Schneider Electric*. Obtenido de  
<https://www.se.com/es/es/faqs/FA34026/>
- Schneider, Electric (2019). *Schneider Electric*. Obtenido de  
<https://www.se.com/ww/en/work/products/industrial-automation-control/tools/motor-control-configurator.jsp>
- Sotelo, W. (s.f.). *Conferencia Efectos Colaterales de la Instalación de Drives*. Obtenido de Schneider Electric: <https://www.youtube.com/watch?v=Qs4O03EvD4I>

## BIBLIOGRAFÍA

[APPLICATION GUIDE FOR AC ADJUSTABLE SPEED DRIVE SYSTEMS, NEMA standards publication, National electrical manufactures association, Rosslyn 2001.

BALDOR, No. CTG-GLYCOL-1A/1B 200-OM-219 Manual de instalación y mantenimiento de motores Baldor Electric, 1997.

BARNES, Malcolm, PRACTICAL VARIABLE SPEED DRIVES AND POWER ELECTRONICS, primera edición, Elsevier Linacre house, London, 2003.

CLENET, Daniel, Cuaderno Técnico No. 208, Arrancadores y variadores de velocidad electrónicos, [Consultado 24 de octubre, 2009]. Versión digital en: <http://www.schneiderelectric.es>.

CHAPMAN, Stephen J., MAQUINAS ELECTRICAS, Tercera edición, Traducido por Ing. Eduardo Rozo Castillo, Mc. Graw Hill, Santa fe de Bogotá.

DE ALMEIDA Aníbal T., Fernando J. T. E. FERREIRA, Paula FONSECA, Bruno CHRETIEN, Hugh FALKNER, Juergen C. C. REICHERT, Mogens WEST, Sandie B. NIELSEN, Dick BOTH, VSDs for Electric Motor Systems, [Consultado 05 de febrero, 2010]. Versión digital en: <http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/motorchallenge/pdf/VSDs-SAVE-Study-Final-Report.pdf>.

FRAILE MORA, Jesús, MÁQUINAS ELÉCTRICAS, quinta edición, capítulo 7, Mc. Graw Hill - Interamericana de Venezuela, Caracas.

HYUNDAI, No. CW-1A/1B 200-OM-345, Manual de instalación y mantenimiento de motor Hyundai, 1997.

INDUSTRIAL MOTORS & DRIVES CATALOG, Catalogo para selección de drives  
Reliance Electric, 2004.

L. STEBBINS, Wayne, Are you certain understand the economics for applying  
ASD systems to centrifugal loads, [consultado 09 de mayo de 2010], Versión digital  
en: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/tocresult.jsp?reload=true&isnumber=7694&isYear=2007>.

LOBOSCO, Orlando S., Días, José Luis, Selección y Aplicación de motores,  
Marcombo y Boixareu editores, Siemens Aktiengesellschaft, Berlín y Múnich, 1982.

MANTILLA PEÑALBA, LUIS FERNANDO, Gestión energética de los motores  
eléctricos: mejora de la eficiencia de los accionamientos con el uso de variadores de  
velocidad, Departamento de ingeniería eléctrica, Universidad de Cantabria, 2005.

MORA, Juan José, MELENDEZ, Joaquim, Caracterización de Huecos de Tensión  
para Localización de Fallas en Sistemas de Distribución - Un Primer Paso Hacia  
un Método Híbrido, [consultado 30 de septiembre de 2010], revista Scientia et  
Technica Año X, No 25, Agosto 2004. UTP. ISSN 0122-1701, versión digital  
en: <http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/1571217-22.pdf>

Jorge A., Espinoza M., Guillermo, Diseño de un variador de velocidad, [Consultado 24  
de marzo, 2010]. Versión digital en: [www.funken.com.mx](http://www.funken.com.mx).

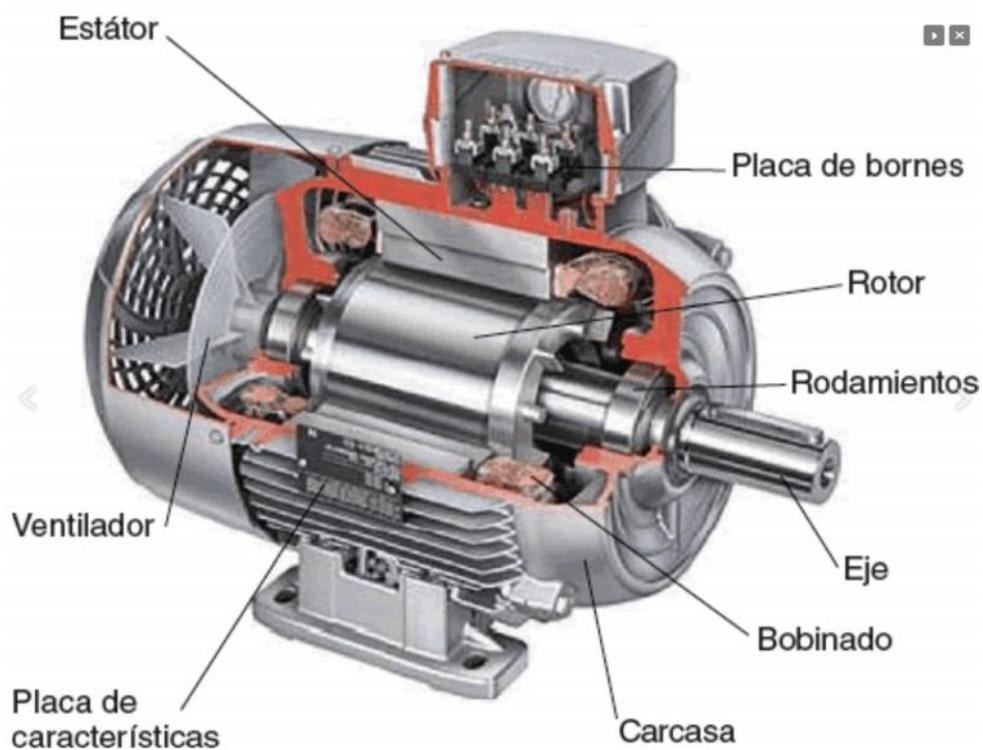
MURAVLEVA, Oleg, Energetic parameters of induction motors as the basis of energy  
saving in a variable speed, Tomsk Polytechnic University, Russia, [consultado 15 de  
Julio de 2010], Versión digital en: <http://www.leonardo-energy.org>.

Wilmar Sotelo, Conferencia Efectos Colaterales de la Instalación de Drives, [2020],  
versión digital : <https://www.youtube.com/watch?v=Qs4O03EvD4I&t=795s>

## **ANEXOS**

## Anexo 1

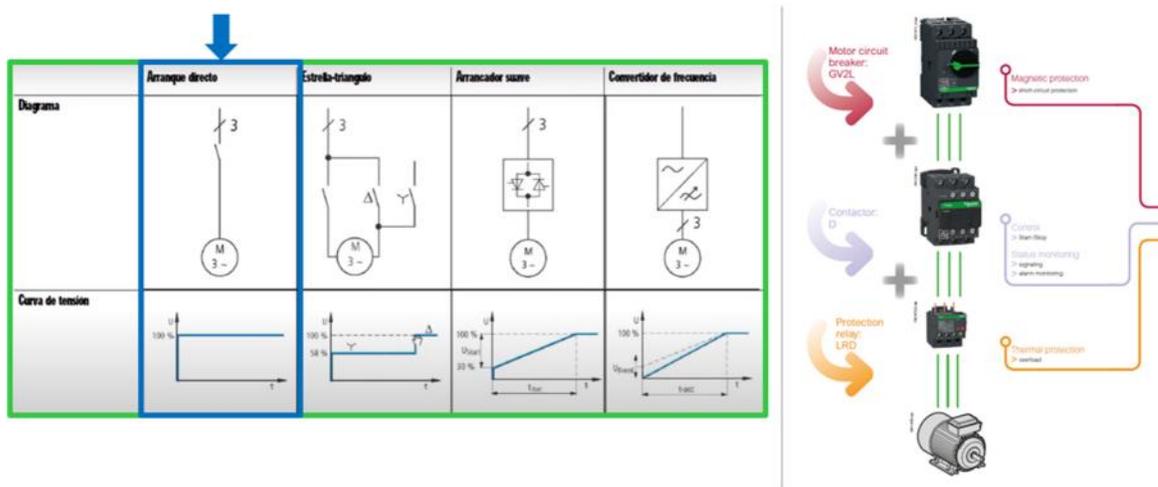
Partes del motor eléctrico.



*Fuente:* Portal educativo Partesdel.com. Equipo de redacción profesional.  
(2017). versión digital: [https://www.partesdel.com/motor\\_electrico.html](https://www.partesdel.com/motor_electrico.html).

## Anexo 2(a)

Diagrama y esquema de arranque directo.

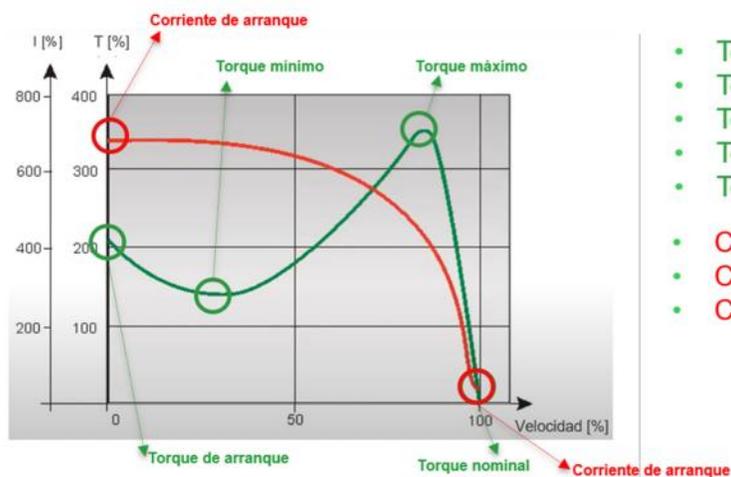


Fuente: (Schneider Electric CA, LTDA, 2020)

## Anexo 2(b)

Gráfica Corriente (I), Torque (T), Velocidad

Arranque directo DOL (Direct-On-Line)

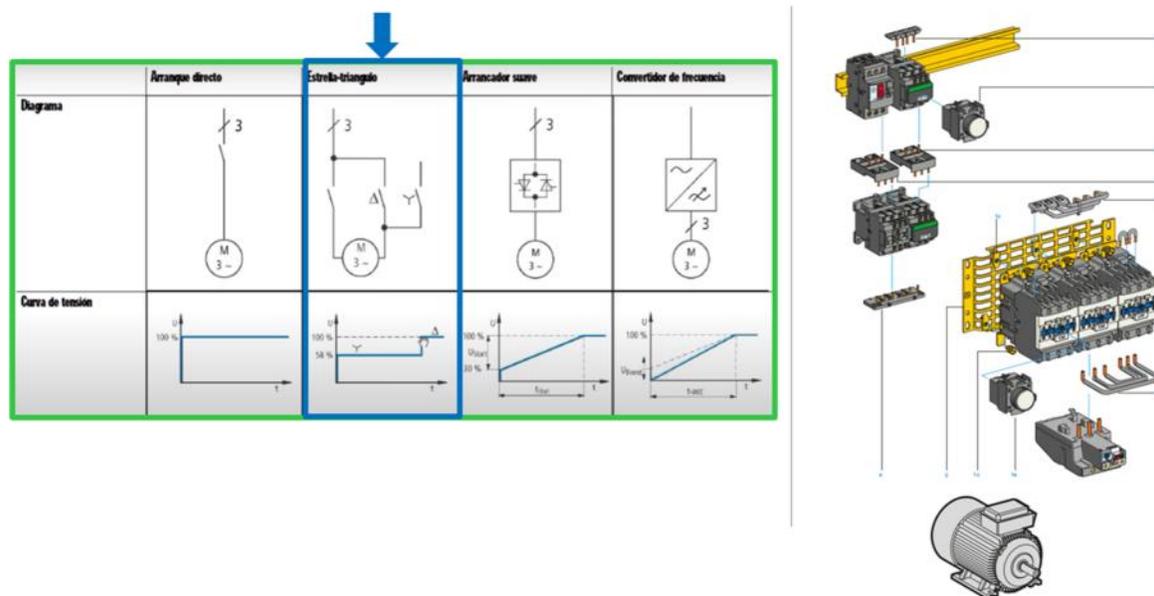


- Torque de arranque  $\sim 2 \times T_n$
- Torque mínimo en el arranque  $\sim 1,5 \times T_n$
- Torque máximo en el arranque  $\sim 3 \times T_n$
- Torque nominal =  $T_n$
- Torque sin carga = 0
- Corriente de arranque (INRUSH)  $\sim 7 \times I_n$
- Corriente nominal =  $I_n$
- Corriente sin carga  $\sim 0,3 \times I_n$

Fuente: (Schneider Electric CA, LTDA, 2020)

## Anexo 3(a)

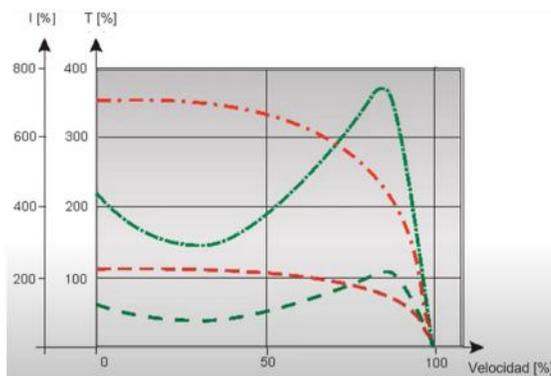
Diagrama y esquema de arranque directo estrella-delta.



(Schneider Electric CA, LTDA, 2020)

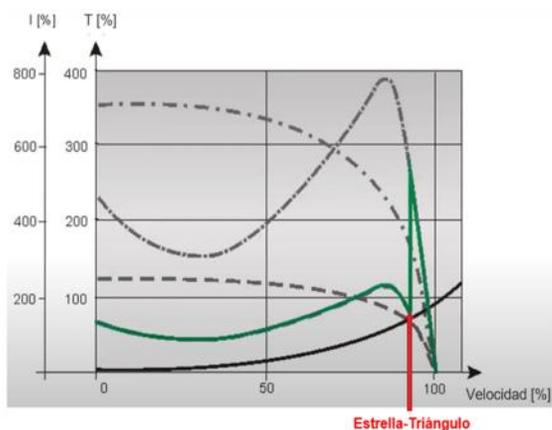
## Anexo 3(b)

### Gráfica Corriente (I), Torque (T), Velocidad



- Torque =  $f(V^2)$
- Al arrancar en estrella (Y), lo hago con una tensión reducida (220V).  
→ Torque = 1/3 Torque DOL
- $I = f(V)$
- Al arrancar en estrella (Y), lo hago con una tensión reducida (220V).
- $V = \frac{Vn}{\sqrt{3}}, \rightarrow \frac{I}{\sqrt{3}}$
- La corriente también se reduce  $\rightarrow \frac{I}{\sqrt{3}}$
- Efecto Final  $\rightarrow I = \frac{1}{3} I$

### Arranque directo (Star-delta)

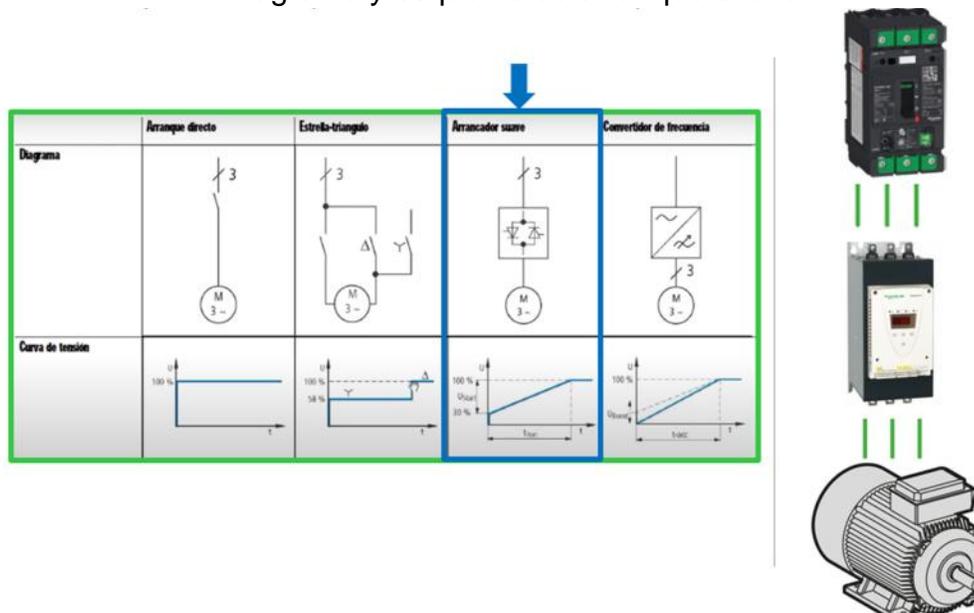


- El cambio estrella a triángulo debe realizarse en el instante que el par motor en estrella es igual al par resistente, de lo contrario el motor conectado en estrella no tendría fuerza suficiente para vencer el par resistente y seguir acelerando el motor.
- Luego el motor se conecta en conexión Delta con voltaje completo, corriente y par.

Fuente: (Schneider Electric CA, LTDA, 2020)

## Anexo 4(a)

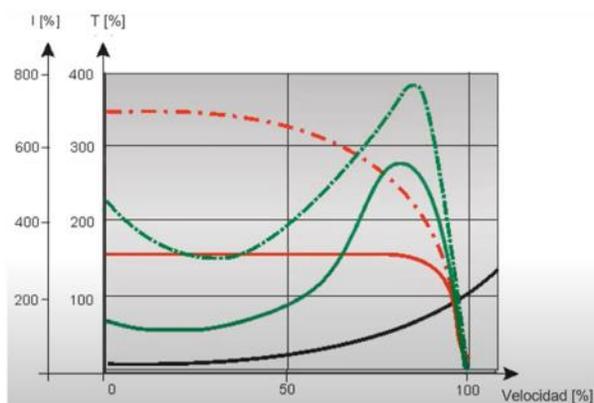
Diagrama y esquema de arranque suave.



Fuente: (Schneider Electric CA, LTDA, 2020)

## Anexo 4(b)

Gráfica Corriente (I), Torque (T), Velocidad



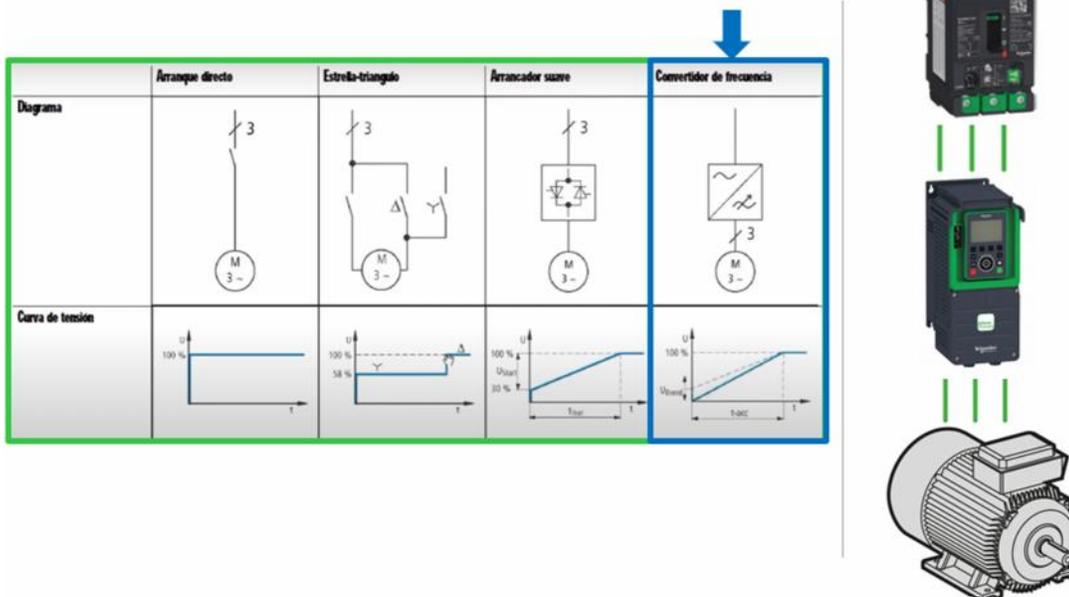
- Mediante la programación del equipo, se puede indicar que corriente máxima se enviará al motor para el arranque.
- Se configura un tiempo para indicar la rampa de tensión en el arranque.
- Luego de llegar a condiciones nominales, se suele realizar un Bypass mediante un contactor para "puentear" el arrancador suave.

Fuente: (Schneider Electric CA, LTDA, 2020)

## Anexo 5

Diagrama y esquema de arranque controlado mediante variación de frecuencia.

### Velocidad Controlada (Variación Frecuencia)



Fuente: (Schneider Electric CA, LTDA, 2020)

## Anexo 6

Códigos QR generados por un variador de frecuencia Schneider Electric.

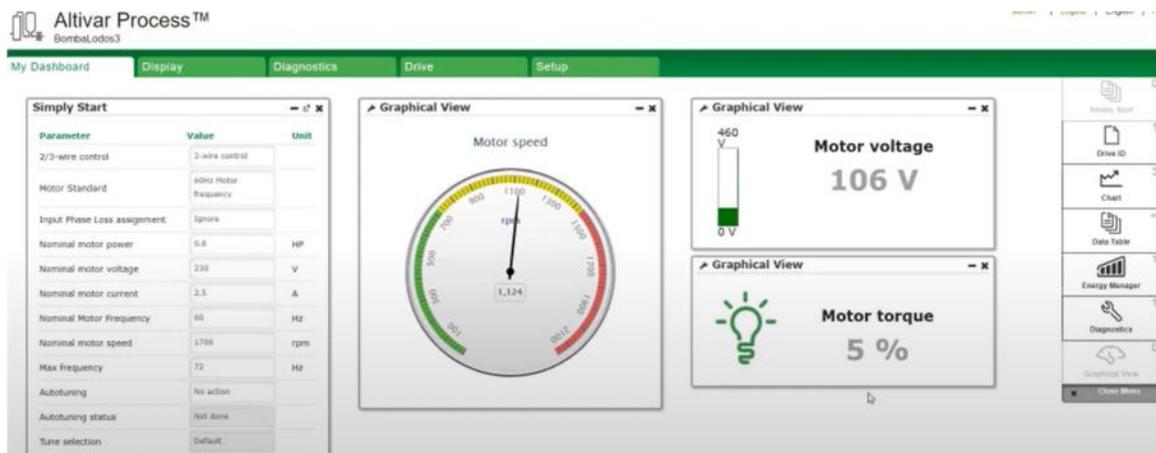


*Fuente:* Wilmar Sotelo, Conferencia Efectos Colaterales de la Instalación de Drives, [2020], versión digital:

<https://www.youtube.com/watch?v=Qs4O03EvD4I&t=795s>

## Anexo 6a

Lecturas eléctricas al instante.



*Fuente:* Wilmar Sotelo, Evolución de la Transformación Digital en Variación de Velocidad, [2022], versión digital:

<https://www.youtube.com/watch?v=mqNrm8OMKMc>

## Anexo 6b

Consumos de energía en días, meses o años.



*Fuente:* Wilmar Sotelo, Evolución de la Transformación Digital en Variación de Velocidad, [2022], versión digital:

<https://www.youtube.com/watch?v=mqNrm8OMKMc>

## Anexo 6c

Comparativa de punto de operación de bomba versus la máxima eficiencia.

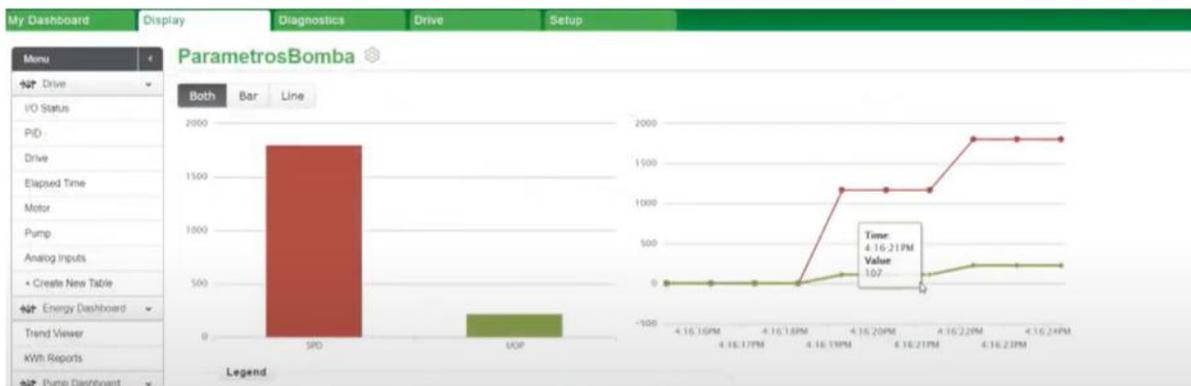


*Fuente:* Wilmar Sotelo, Evolución de la Transformación Digital en Variación de Velocidad, [2022], versión digital:

<https://www.youtube.com/watch?v=mqNrm8OMKMc>

## Anexo 6d

Creación de graficas de tendencia en tiempo real.



*Fuente:* Wilmar Sotelo, Evolución de la Transformación Digital en Variación de Velocidad, [2022], versión digital:

<https://www.youtube.com/watch?v=mqNrm8OMKMc>

## Anexo 6e

Historial de errores y conozca el contexto en el momento del evento

Messaging	
ETHF : Embedded Ethernet communication interruption	2020-04-07 22:16
SLF1 : Modbus communication interruption	2020-03-12 10:55
SLF1 : Modbus communication interruption	2020-03-12 10:54
SLF1 : Modbus communication interruption	2020-03-12 10:54
IPPF : Inlet Pressure detected error	2020-02-21 14:54
IPPF : Inlet Pressure detected error	2020-02-21 14:34
MPLF : Lead pump not available	2020-02-21 10:35

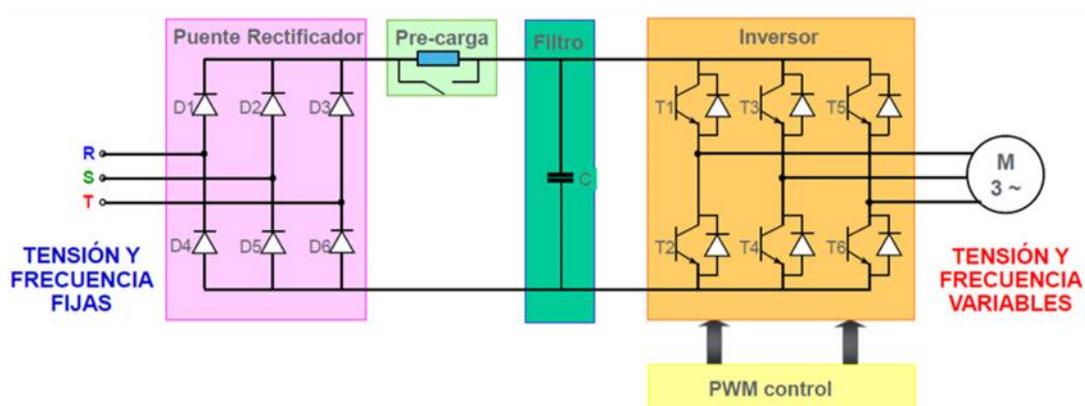
Detail/Context			
Code	Long Label	Value	Causes :
HMS	Drive state	STO active	Embedded Ethernet has detected an error in FDR server management
ETA	CIA402 State Register	0x0250	
ETI	Internal State Register	0x8002	Remedy : Check the FDR error code register for more details
CMD	Command register	0x0005	
LCR	Motor current	0 A	
ULN	Mains voltage	341.4 V	

*Fuente:* Wilmar Sotelo, Evolución de la Transformación Digital en Variación de Velocidad, [2022], versión digital:

<https://www.youtube.com/watch?v=mqNrm8OMKMc>

## Anexo 7

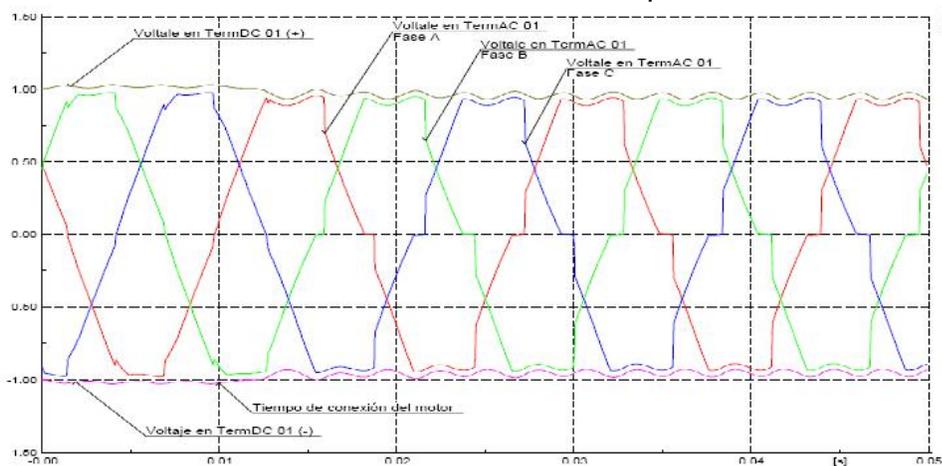
Etapas de un variador de velocidad basado en la modulación de frecuencia en la alimentación al motor de inducción.



*Fuente:* (Schneider Electric CA, LTDA, 2020)

### Anexo 7(a)

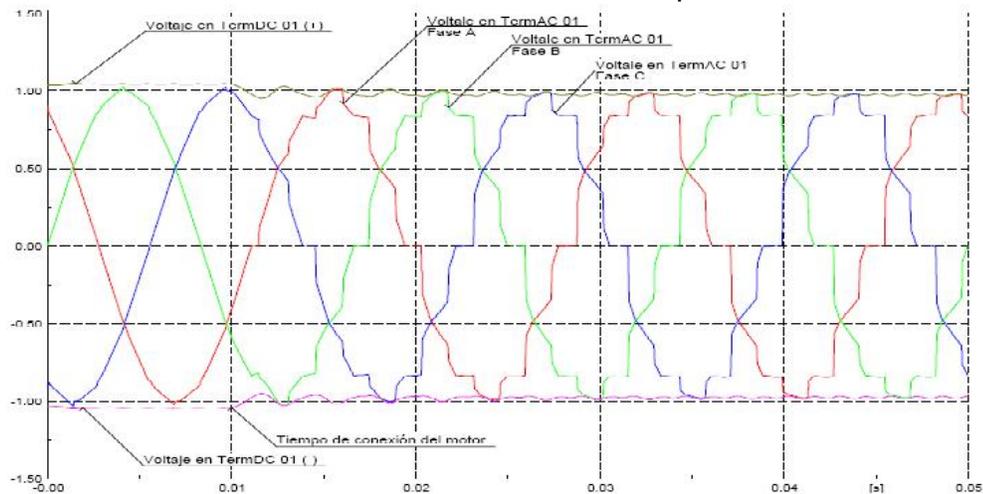
Forma de onda del voltaje en el bus de conexión de CA y en los buses de DC del variador de velocidad de 6 pulsos



*Fuente:* JORGE A. MORALES V., GUJILLERMO ESPINOZA M., FUNKEN INGENIEROS S.A. DE C.V. Diseño de un variador de velocidad en DLFSILENT 13.2. México DF: FUNKEN INGENIEROS, 5p.

## Anexo 7(b)

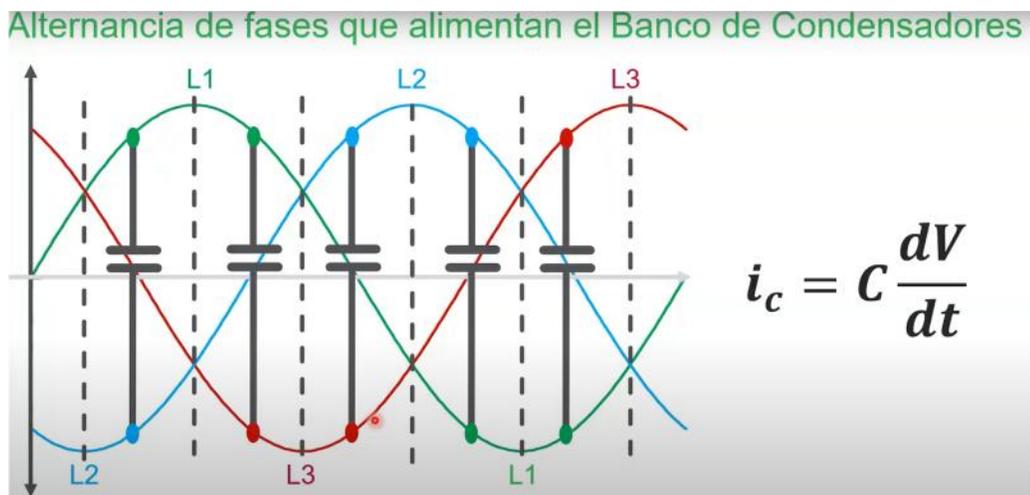
Forma de onda del voltaje en el bus de conexión de CA y en los buses de CD del variador de velocidad de 12 pulsos.



Fuente: JORGE A. MORALES V., GUJILLERMO ESPINOZA M., FUNKEN INGENIEROS S.A. DE C.V. Diseño de un variador de velocidad en DLFSILENT 13.2. México DF: FUNKEN INGENIEROS, 5p.

## Anexo 8

Diagrama de alternancia de fases que alimentan al banco de condensadores.

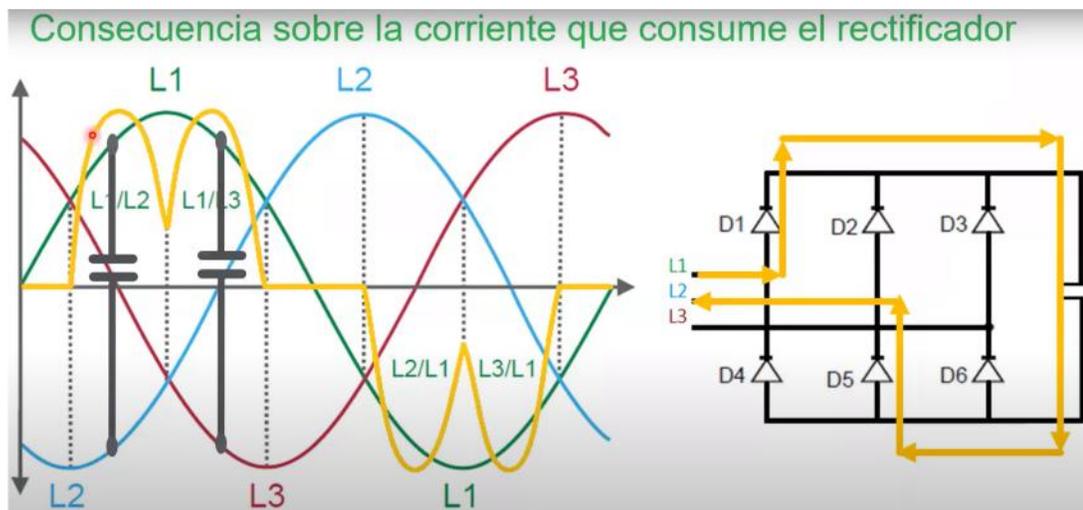


Fuente: Wilmar Sotelo, Conferencia Efectos Colaterales de la Instalación de Drives, [2020], versión digital:

<https://www.youtube.com/watch?v=Qs4O03EvD4I&t=795s>

### Anexo 8(a)

Consecuencia sobre la corriente que consume el rectificador.

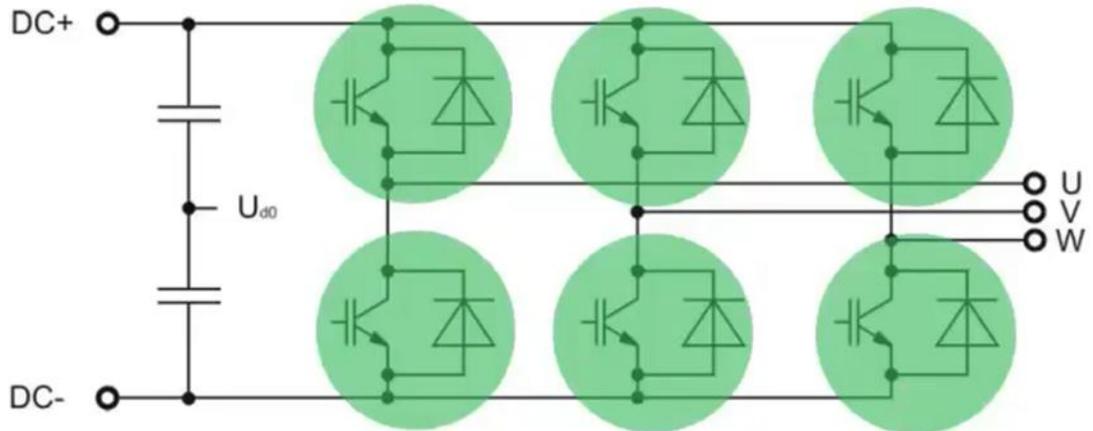


Fuente: Wilmar Sotelo, Conferencia Efectos Colaterales de la Instalación de Drives, [2020], versión digital:

<https://www.youtube.com/watch?v=Qs4O03EvD4I&t=795s>

## Anexo 9

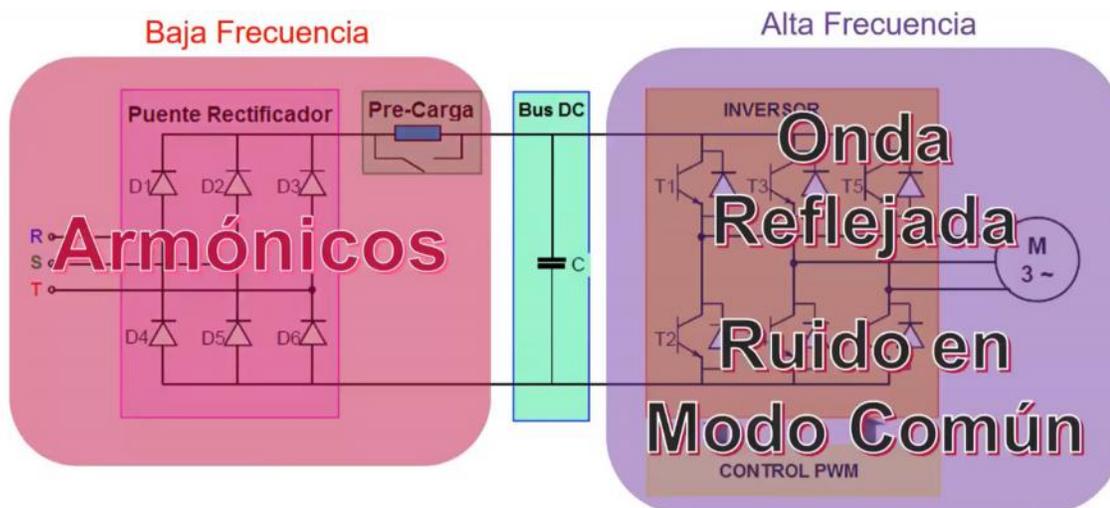
Esquema del puente inversor con IGBT



*Fuente:* Wilmar Sotelo, Conferencia Efectos Colaterales de la Instalación de Drives, [2020], versión digital:  
<https://www.youtube.com/watch?v=Qs4O03EvD4I&t=795s>

## Anexo 10

Efectos colaterales de los variadores de frecuencia.



Confidential Property of Schneider Electric | Page 47

Life Is On | Schneider Electric

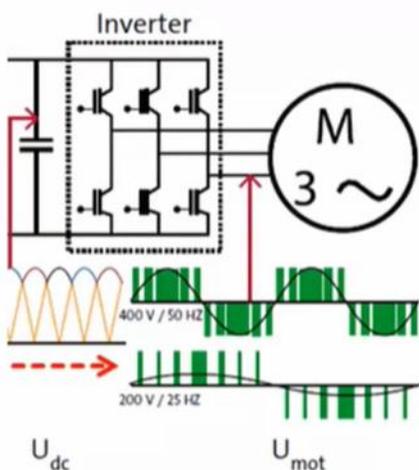
*Fuente:* Wilmar Sotelo, Conferencia Efectos Colaterales de la Instalación de Drives, [2020], versión digital:

<https://www.youtube.com/watch?v=Qs4O03EvD4I&t=795s>

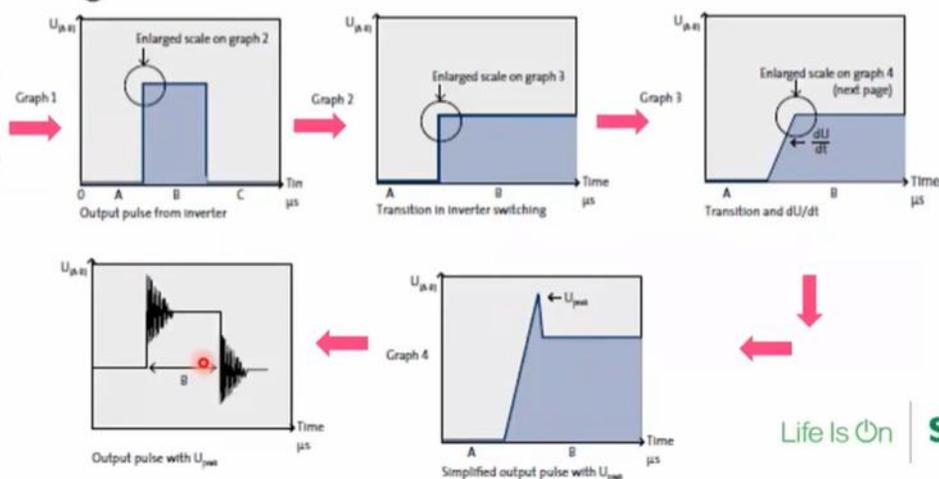
## Anexo 11

### Efecto dv/dt

Alto dV/dt y Aumento del Vpico debida a la capacitancia del cable entre el Drive y el Motor



- Se produce por el cambio de impedancia en el camino del PWM que viaja desde el Drive hacia el Motor.
- A mayor capacitancia parásita mas fuerte será el cambio de impedancias.
- La capacitancia parásita aumenta con la longitud del cable y con el blindaje.
- También depende de la tecnología del cable y el tipo de instalación, (Bandeja, ducto, tubería, etc...)



Confidential Property of Schneider Electric | Page 70

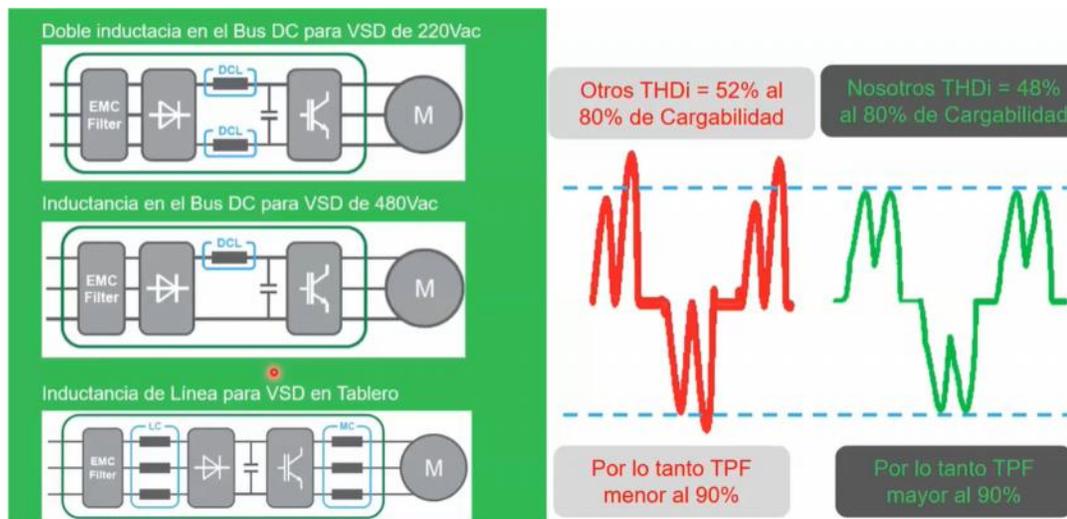
Life Is On | Schneider Electric

Fuente: Wilmar Sotelo, Conferencia Efectos Colaterales de la Instalación de Drives, [2020], versión digital:

<https://www.youtube.com/watch?v=Qs4O03EvD4I&t=795s>

## Anexo 12

Limitación de armónicos y mejora del factor de potencia mediante inductancias.

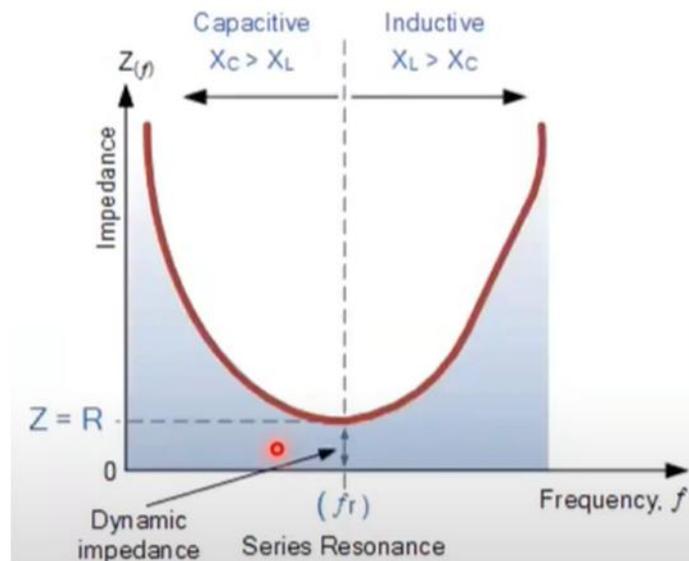


Fuente: Wilmar Sotelo, Conferencia Efectos Colaterales de la Instalación de Drives, [2020], versión digital:

<https://www.youtube.com/watch?v=Qs4O03EvD4I&t=795s>

## Anexo 13

Diagrama impedancia vs frecuencia en filtros pasivos

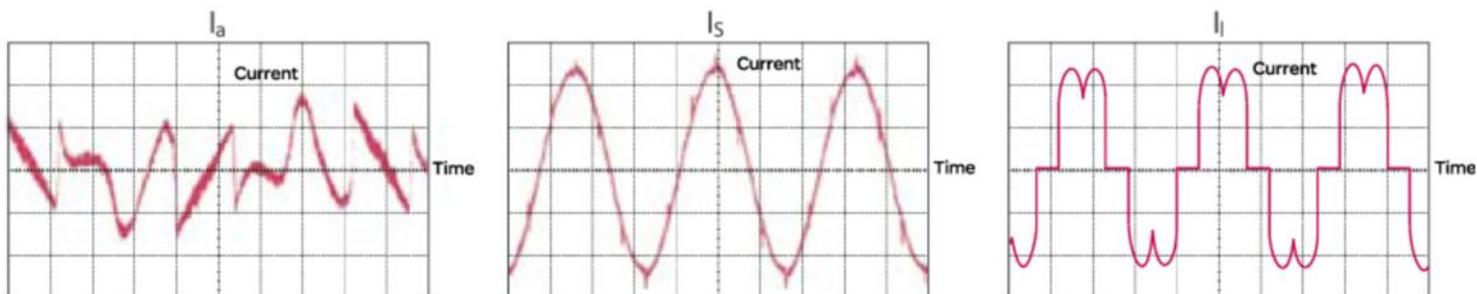


*Fuente:* Wilmar Sotelo, Conferencia Efectos Colaterales de la Instalación de Drives, [2020], versión digital:

<https://www.youtube.com/watch?v=Qs4O03EvD4I&t=795s>

## Anexo 14

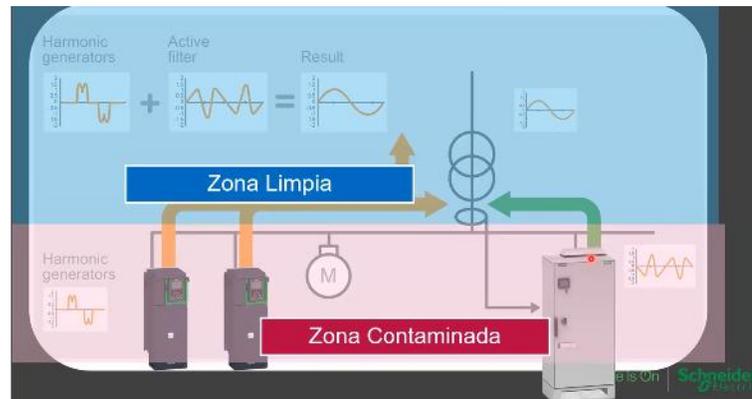
La corriente armónica generada por filtro de armónicos inyectada en el sistema para cancelar el armónico de una carga VSD.



Fuente: Facogem Industrial SRL, ¿Qué es un Filtro Activo Accusine?, [Consultado en febrero 2023], versión digital: <https://www.facogemi.com.pe/blog/que-es-un-filtro-activo-acc>

## Anexo 15

Zonas en la instalación eléctrica con un filtro activo de armónicos.

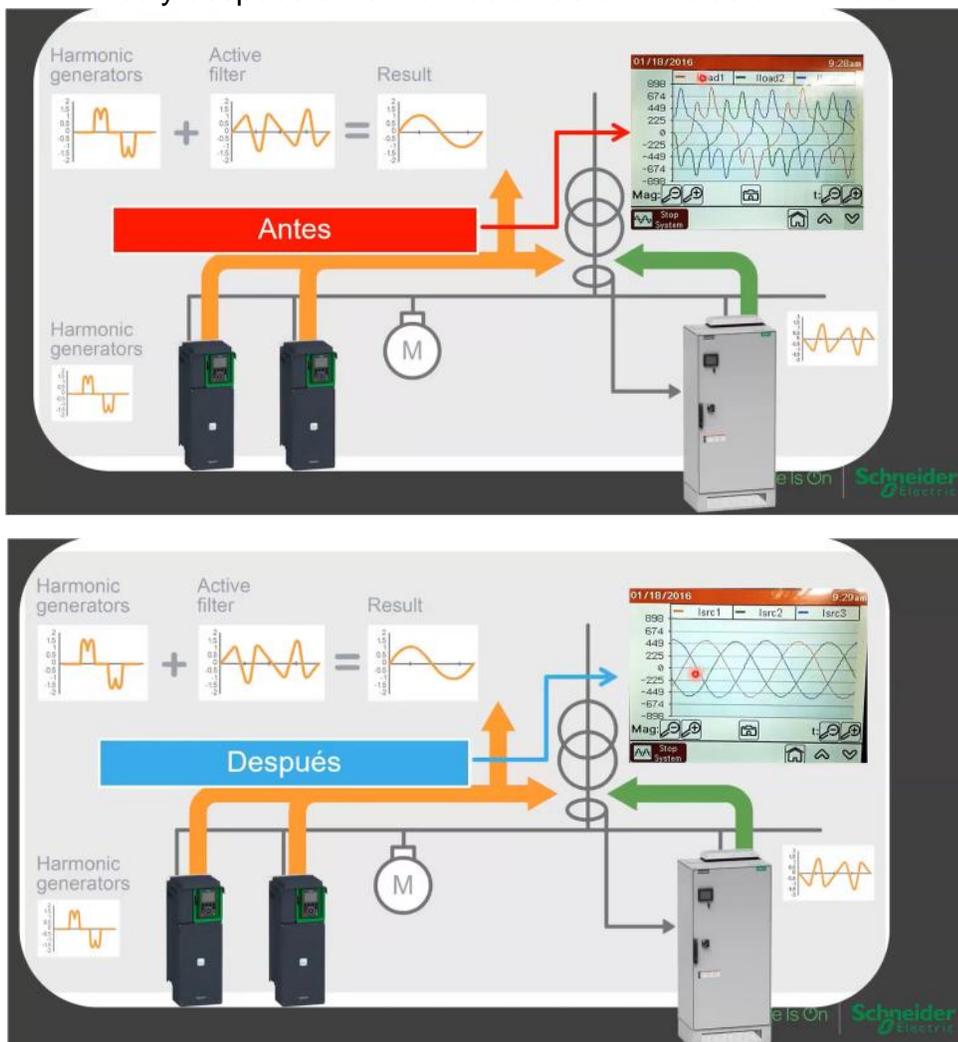


*Fuente:* Wilmar Sotelo, Conferencia Efectos Colaterales de la Instalación de Drives, [2020], versión digital:

<https://www.youtube.com/watch?v=Qs4O03EvD4I&t=795s>

## Anexo 16

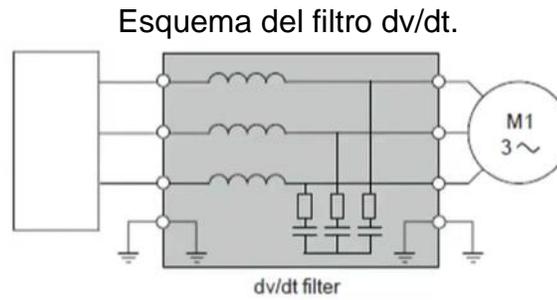
Antes y después en la instalación de un filtro de armónicos.



Fuente: Wilmar Sotelo, Conferencia Efectos Colaterales de la Instalación de Drives, [2020], versión digital:

<https://www.youtube.com/watch?v=Qs4O03EvD4I&t=795s>

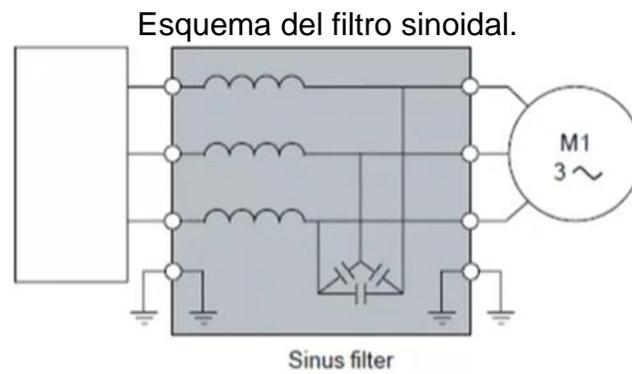
## Anexo 17



*Fuente:* Wilmar Sotelo, Conferencia Efectos Colaterales de la Instalación de Drives, [2020], versión digital:

<https://www.youtube.com/watch?v=Qs4O03EvD4I&t=795s>

## Anexo 18



*Fuente:* Wilmar Sotelo, Conferencia Efectos Colaterales de la Instalación de Drives, [2020], versión digital:

<https://www.youtube.com/watch?v=Qs4O03EvD4I&t=795s>

## Anexo 19

### Chiller



Fuente: Mott MacDonald's How desalination affects chiller energy use in the Middle East

## Anexo 20

### Bandas transportadoras



## Anexo 21

Longitud permitida del variador al motor según el estándar IEC60034-25.

Motor cable length (unshielded cable)	Motor conforming to IEC60034-25	Motor NOT- conforming to IEC60034-25
1 m (66 ft) < Lm < 50 m (164 ft)	No Requiere Filtro	No Requiere Filtro
50 m (66 ft) < Lm < 100 m (328 ft)	No Requiere Filtro	Recomendado Filtro dV/dt
100 m (328 ft) < Lm < 300 m (984 ft)	No Requiere Filtro	Filtro dV/dt
300 m (328 ft) < Lm < 500 m (984 ft)	Filtro dV/dt	Filtro Senoidal
500 m (328 ft) < Lm < 1000 m (984 ft)	Filtro Senoidal	Filtro Senoidal

*Fuente:* Wilmar Sotelo, Conferencia Efectos Colaterales de la Instalación de Drives, [2020], versión digital:

<https://www.youtube.com/watch?v=Qs4O03EvD4I&t=795s>

## Anexo 22

### Tabla de selección de cable para VSD

TABLA DE SELECCIÓN DE CABLE PARA VARIADOR BASADAS EN HP DE MOTOR o kW Y VOLTAJE **										
CABALLOS DE FUERZA (HP)	VOLTAJE 3Ø			Amp. Del cable a 30°C	CALIBRE		NUMERO DE PARTE USO VFD BLINDADO		NUMERO DE PARTE NO BLINDADO	
	220-240	440-480	550-600		AWG	mm <sup>2</sup>	USO INTERIOR <sup>a</sup>	USO EXTERIOR <sup>b</sup>	USO INTERIOR <sup>a</sup>	USO EXTERIOR <sup>c</sup>
	1/2-5 HP [0.37-3.7kW]	10 HP [7.5 kW]	10-15 HP [7.5-11 kW]		26	14	2.5	0036426	0036440	00100883
7 1/2 HP [5.5 kW]	15 HP [11 kW]	20 HP [15 kW]	34	12	4	0036427	0036441	00101013	1120360	
10 HP [7.5 kW]	20 HP [15 kW]	30 HP [22 kW]	44	10	6	0036428	0036442	00101063	1120366	
15 HP [11 kW]	30 HP [22 kW]	40 HP [30 kW]	61	8	10	0036429	0036443	00101093	1120370	
20 HP [15 kW]	40 HP [30 kW]	50 HP [37 kW]	82	6	16	0036430	0036444	00101123	1120374	
25 HP [18.5 kW]	50 HP [37 kW]	60 HP [45 kW]	108	4	25	0036431	0036445	00101153	1120378	
40 HP [30 kW]	75 HP [55 kW]	100 HP [75 kW]	135	2	35	0036432	0036446	00101173	1120382	
50 HP [37 kW]	100 HP [75 kW]	125 HP [90 kW]	168	1 - 1/0	50	0036433	0036447	00101193	1120385	
60 HP [45 kW]	125 HP [90 kW]	150 HP [110 kW]	207	2/0	70	0036434	0036448	00101203	1120387	
75 HP [55 kW]	150 HP [110 kW]	200 HP [150 kW]	250	3/0	95	0036435	0036449	00101213	1120389	
			292	4/0	120	0036436	0036450	00103093	1120390	
100 HP [75 kW]	200 HP [150 kW]	250 HP [185 kW]	335	300 kcmil	150	0036437	0036451	00103113**	***	
	250 HP [185 kW]	300 HP [225 kW]	382	350 kcmil	185	0036438	0036479	00103123	***	
	300 HP [225 kW]	350 HP [260 kW]	453	500 kcmil	240	0037014 <sup>e</sup>	***	***	***	

Tabla 430.250 ampacidad de motores a plena carga (NEC)