

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Análisis de la eficiencia energética en los motores eléctricos de una  
fábrica de helados y conos

Trabajo de graduación en modalidad de Tesis presentado por:

José David López Sequen

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala, 2017



Análisis de la eficiencia energética en los motores eléctricos  
de una fábrica de helados y conos

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Análisis de la eficiencia energética en los motores eléctricos de una  
fábrica de helados y conos


Trabajo de graduación en modalidad de Tesis presentado por:

José David López Sequen


para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica


Guatemala, 2017

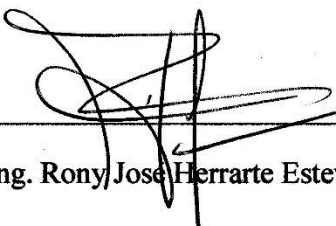
Vo. Bo.:

(f)   
Ing. Victor Hugo Ayerdi Bardales

Tribunal Examinador:

(f)   
Ing. Victor Hugo Ayerdi Bardales

(f)   
Ing. Raúl Eduardo Loarca Velásquez

(f)   
Ing. Rony Jose Herrarte Esteves

**Fecha de aprobación:**  
Guatemala, 08 de junio de 2017

# CONTENIDO

LISTADO DE CUADROS .....	viii
LISTADO DE FIGURAS .....	xi
RESUMEN.....	xii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS .....	2
A. OBJETIVO GENERAL .....	2
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
III. JUSTIFICACIÓN.....	3
IV. MARCO TEÓRICO.....	4
A. MOTORES ELÉCTRICOS.....	4
B. FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA ENERGÍA.....	4
C. FUENTES DE ARMÓNICOS .....	6
D. EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS.....	6
E. FILTROS PASIVOS PARA ARMÓNICOS.....	7
F. FILTROS ACTIVOS DE POTENCIA .....	8
V. ANTECEDENTES.....	9
A. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	9
B. ESTUDIO REALIZADO EN 2003.....	9
C. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO.....	10
D. RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO.....	10
VI. METODOLOGÍA .....	15
A. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN .....	15
B. INVENTARIO DE CARGAS ELÉCTRICAS Y EQUIPOS. ....	16
C. VALIDACIÓN DEL INVENTARIO DE CARGAS .....	20
D. MOTORES ELÉCTRICOS CRÍTICOS .....	21
E. MEDICIONES DE VOLTAJE, CORRIENTE, TEMPERATURA E INSPECCIÓN DE EQUIPOS .....	24
F. CÁLCULOS PARA DETERMINAR POTENCIA APARENTE, REACTIVA ..... Y EL FACTOR DE POTENCIA .....	28
G. CÁLCULOS DE MUESTRA PARA DETERMINAR SI LA POTENCIA DE LOS EQUIPOS ES ADECUADA .....	34
H. EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	40

VII. RESULTADOS .....	43
A. MOTORES ELÉCTRICOS CRÍTICOS.....	43
B. POTENCIAS TRIFÁSICAS Y FACTOR DE POTENCIA PROMEDIO .....	43
C. CAIDAS DE TESNSIÓN .....	44
D. CARGAS TÉRMICAS Y CAPACIDAD DE LOS CUARTOS FRÍOS .....	45
E. AHORROS AL IMPLEMENTAR VARIADORES DE FRECUENCIA .....	47
F. AHORROS POR CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA. ....	47
VIII.DISCUSIÓN .....	48
IX. CONCLUSIONES .....	50
X. RECOMENDACIONES .....	51
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	52
XII. ANEXOS .....	54
Anexo 1. Evaluación de temperaturas del compresor Copeland No. 1 .....	54
Anexo 2. Evaluación de temperaturas del compresor Copeland No. 2.....	54
Anexo 3. Evaluación de temperaturas del compresor Copeland No. 3 .....	55
Anexo 4. Evaluación de temperaturas del compresor Copeland No. 4.....	55
Anexo 5. Evaluación de temperaturas del compresor Copeland No. 5 .....	56
Anexo 6. Evaluación de temperaturas del compresor Copeland No. 6.....	56
Anexo 7. Evaluación de temperaturas del compresor Copeland No. 7 .....	57
Anexo 8. Evaluación de temperaturas del compresor Copeland No. 8.....	57
Anexo 9. Plano cuartos fríos, numeración de los cuartos .....	58
Anexo 10. Planos constructivos de la planta productora de helados y conos (Primer Nivel) .....	59
Anexo 11. Planos constructivos de la planta productora de helados y conos (Segundo nivel) .....	60
Anexo 12. Carta psicométrica a la presión de 1 atmosfera .....	61
Anexo 13. Coeficiente de Desempeño para espacios refrigerados de almacenamiento de productos .....	62
Anexo 14. Cotización para variadores de frecuencia.....	63
Anexo 15. Cotización banco de capacitores de 60 KVAR 240 voltios y 3 etapas.....	64

## LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Consumo de energía eléctrica en equipos con motores de inducción de hasta 300 KW .....	4
Cuadro 2. Datos generales de la empresa productora de helados y conos .....	9
Cuadro 3. Valores de voltaje medidos .....	9
Cuadro 4. Valores de corriente medidos.....	9
Cuadro 5. Valores de potencia medidos .....	10
Cuadro 6. Valores del factor de potencia medidos .....	10
Cuadro 7. Cronograma de actividades y visitas a la planta de helados.....	15
Cuadro 8. Historial del consumo de energía eléctrica de la planta de helados. Facturas emitidas por EEGSA .....	16
Cuadro 9. Datos de los equipos del área de elaboración de conos.....	17
Cuadro 10. Datos de los equipos del área de elaboración de paletas .....	17
Cuadro 11. Datos de los calderines, bombas de agua y compresores de aire .....	17
Cuadro 12. Datos de los equipos del área de pasteurizado .....	18
Cuadro 13. Datos de los equipos del área de envasado .....	18
Cuadro 14. Datos de los equipos del área de refrigeración.....	18
Cuadro 15. Datos de las lámparas y luminarias .....	19
Cuadro 16. Datos de las lámparas y luminarias (Continuación).....	20
Cuadro 17. Comparación de los consumos de energía eléctrica reales y estimados, y porcentaje de variación.....	20
Cuadro 18. Consumo de energía por área de la planta .....	21
Cuadro 19. Matriz de criticidad de los principales motores eléctricos .....	23
Cuadro 20. Resultado de la matriz de criticidad y criterio de evaluación.....	23
Cuadro 21. Listado y descripción de los compresores de refrigeración .....	24
Cuadro 22. Especificaciones del termómetro infrarrojo digital HER-425.....	25
Cuadro 23. Especificaciones de la pinza amperimétrica Fluke 333.....	25
Cuadro 24. Voltajes máximos y mínimos medidos en el tablero de distribución .....	25
Cuadro 25. Temperaturas máximas medidas en los compresores. Ver anexos.....	26
Cuadro 26. Mediciones de corriente y voltaje, compresor Copeland 1 .....	26
Cuadro 27. Mediciones de corriente y voltaje, compresor Copeland 2 .....	26

Cuadro 28. Mediciones de corriente y voltaje, compresor Copeland 3 .....	27
Cuadro 29. Mediciones de corriente y voltaje, compresor Copeland 4 .....	27
Cuadro 30. Mediciones de corriente y voltaje, compresor Copeland 5 .....	27
Cuadro 31. Mediciones de corriente y voltaje, compresor Copeland 6 .....	27
Cuadro 32. Mediciones de corriente y voltaje, compresor Copeland 7 .....	28
Cuadro 33. Mediciones de corriente y voltaje, compresor Copeland 8 .....	28
Cuadro 34. Coeficiente ( $\tan\phi_1 - \tan\phi_2$ ), en función del factor de potencia actual y deseada. ....	31
Cuadro 35. Valores calculados para el factor de potencia, potencia activa, aparente y reactiva .....	32
Cuadro 36. Potencias trifásicas y factor de potencia totales de la instalación para los ocho .....	32
compresores de refrigeración.....	
Cuadro 37. Requerimientos para el banco de capacitores .....	32
Cuadro 38. Valores calculados para el factor de potencia, potencia activa, aparente y reactiva .....	32
Cuadro 39. Potencias trifásicas y factor de potencia totales de la instalación para los ocho .....	33
compresores de refrigeración.....	
Cuadro 40. Requerimientos para el banco de capacitores .....	33
Cuadro 41. Valores calculados para el factor de potencia, potencia activa, aparente y reactiva .....	33
Cuadro 42. Potencias trifásicas y factor de potencia totales de la instalación para los ocho .....	33
compresores de refrigeración.....	
Cuadro 43. Requerimientos para el banco de capacitores .....	33
Cuadro 44. Propiedades de algunos alimentos comunes .....	35
Cuadro 45. Propiedades de algunos materiales de construcción .....	37
Cuadro 46. Calor aportado por una persona según la temperatura del espacio refrigerado.....	37
Cuadro 47. Ganancia de calor por motores eléctricos usados en cuartos fríos .....	39
Cuadro 48. COP de los cuartos de refrigeración.....	40
Cuadro 49. Sanciones por bajo factor de potencia.....	42
Cuadro 50. Periodo de recuperación de la inversión para corregir el factor de potencia de la instalación .....	42
eléctrica .....	
Cuadro 51. Descripción de los equipos con los motores eléctricos críticos .....	43

Cuadro 52. Valores promedio para la eficiencia, factor de potencia y potencias trifásicas de los compresores de refrigeración.....	43
Cuadro 53. Potencias trifásicas y factor de potencia .....	44
Cuadro 54. Banco de capacitores necesario para corregir el factor de potencia .....	44
Cuadro 55. Caída de tensión en el tablero de distribución y en las acometidas de los compresores de refrigeración.....	44
Cuadro 56. Dimensiones de los cuartos fríos .....	45
Cuadro 57. Carga térmica del producto .....	45
Cuadro 58. Datos para el cálculo de la carga térmica por transmisión .....	45
Cuadro 59. Carga térmica por transmisión .....	45
Cuadro 60. Carga térmica interna .....	45
Cuadro 61. Carga térmica por infiltración .....	46
Cuadro 62. Carga térmica de los equipos .....	46
Cuadro 63. Carga térmica total que se debe remover en cada cuarto frío.....	46
Cuadro 64. Ahorro energético y económico por desconexión de equipos en los cuartos fríos de mantenimiento .....	47
Cuadro 65. Ahorro energético y económico por implementación de variadores de frecuencia.....	47
Cuadro 66. Periodo de recuperación de la inversión en variadores de frecuencia de 15 HP y 7.5 HP .....	47
Cuadro 67. Periodo de recuperación de la inversión para corregir el factor de potencia de la instalación eléctrica de los compresores de refrigeración.....	47
Cuadro 68. Identificación de los cuartos fríos en la planta .....	58

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Ilustración de una onda de tensión sin contenido de armónicos a una frecuencia y amplitud constante ..... de 60Hz y 1pu, respectivamente.....	5
Figura 2. Ilustración de una onda de tensión con un 30% de contenido del 5° armónico.....	5
Figura 3. Ilustración de la conexión de los bancos de capacitores respecto a las cargas no lineales. .... a) Circuito en paralelo y b) Circuito en serie.....	6
Figura 4. Filtro pasivo en serie .....	7
Figura 5. Filtros pasivos en paralelo. a) Filtro sintonizado simple y b) Filtro pasa alto. ....	7
Figura 6. Filtros activos de potencia en las configuraciones paralelo y serie. ....	8
Figura 7. Gráfica de voltaje. Acometida eléctrica 3 x 75 KVA 120/240 V .....	11
Figura 8. Gráfica de corriente. Acometida eléctrica 3 x 75 KVA 120/240 V .....	12
Figura 9. Gráfica potencia trifásica. Acometida eléctrica 3 x 75 KVA 120/240 V .....	13
Figura 10. Gráfica del factor de potencia. Acometida eléctrica 3 x 75 KVA 120/240 V .....	14
Figura 11. Distribución del consumo energético de la planta productora de helados y conos.....	21
Figura 12. Equipos que más consumo de energía en el área de refrigeración .....	22
Figura 13. Triángulo de potencias eléctricas trifásicas .....	29

## RESUMEN

El siguiente trabajo de graduación consiste en el análisis de la eficiencia energética en los motores eléctricos de una fábrica de helados y conos. El estudio busca identificar cuáles son los motores eléctricos críticos para analizar su estado, capacidad, eficiencia, caídas de tensión en la instalación eléctrica y el factor de potencia de los motores eléctricos. La metodología utilizada para el estudio fue la investigación y recopilación de información en la planta, para lo cual se estableció un cronograma actividades y visitas a realizar, se tomaron datos técnicos de los equipos y se realizaron mediciones directas a los equipos.

Empleando la metodología descrita, se estableció que los motores eléctricos de los compresores de refrigeración son los equipos críticos. El estudio se enfocó a estos motores y se estimaron las potencias: aparente, activa y reactiva; que estos equipos demandan. Se estimó el factor de potencia de cada compresor y el factor de potencia del conjunto de compresores. El valor estimado para el factor de potencia no fue adecuado, así que se procedió a calcular un banco de condensadores que aportara la potencia reactiva necesaria para obtener un factor de potencia de 0.95.

El estado de los compresores de refrigeración es aceptable, su funcionamiento y operación es normal; únicamente se encontró la formación de escarcha en algunas tuberías que van a los cuartos fríos. El bajo factor de potencia de la instalación se soluciona al implementar un banco de capacitores de 60 kVAR.

# I. INTRODUCCIÓN

Según la Comisión Nacional de la Energía Eléctrica (CNEE), los motores eléctricos son los usuarios de mayor consumo de energía en el sector industrial, alcanzando a consumir entre un 60 y 70% de la energía en las plantas industriales. El presente trabajo trata sobre el estudio de la eficiencia energética en los motores eléctricos de una fábrica de helados y conos, se busca identificar cuáles son los motores eléctricos críticos para enfocar el estudio hacia ellos y poder estimar el factor de potencia, eficiencia energética, así como identificar puntos de mejora y evaluar económicamente la implementación de los hallazgos.

La metodología utilizada fue la recopilación de información y mediciones en los equipos, para lo que se estableció un cronograma de actividades de las visitas a la planta, se determinó cuáles son los motores eléctricos críticos, se realizaron mediciones de corriente, voltaje y temperatura, se hicieron cálculos para estimar el factor de potencia y cálculos para estimar el coeficiente de desempeño de los cuartos fríos. Finalmente se hizo la evaluación económica para determinar la viabilidad de implementar variadores de frecuencia y corregir el factor de potencia de la instalación eléctrica de la planta.

Se determinó que los motores críticos pertenecen al área de refrigeración, en concreto, los motores eléctricos de los compresores de refrigeración de los cuartos fríos. Los criterios que influyeron para determinar la criticidad de estos equipos fueron: el alto consumo de energía eléctrica, los compresores consumen un 18.5% de la energía utilizada en la planta; el tiempo de operación, los costos de mantenimiento y la influencia en la pérdida de producción si los equipos fallan. Para determinar el factor de potencia de cada motor eléctrico se asumió la potencia activa y la eficiencia de cada motor eléctrico. Se plantearon tres escenarios, uno optimista donde se estimó el factor de potencia más alto posible, un escenario pesimista para determinar el factor de potencia más bajo posible y un escenario intermedio para obtener un factor de potencia intermedio entre el escenario optimista y pesimista. Con esos datos se estimó el factor de potencia de la instalación en general y se calculó un banco de condensadores para corregir el factor de potencia. Para el cálculo del COP de los cuartos fríos, se realizaron cálculos para estimar la carga térmica de los cuartos fríos y con la potencia de entrada de los compresores se calculó el COP.

Se determinó que para corregir el factor de potencia de 0.68 a un valor de 0.95 se necesita un banco de condensadores de 60 kVAr con un costo de Q. 24,500.00 y la inversión se recupera en un mes (máximo dos meses en el escenario optimista con un factor de potencia más alto), dado que la penalización por bajo factor de potencia es de Q. 24,942.97. En cuanto a la viabilidad de implementar variadores de frecuencia se determinó que se necesitan dos variadores, uno de 15 HP con un costo de Q 8,570.67 y uno de 7.5 HP con un costo de Q 5,210.00, estos variadores disminuyen el gasto de potencia y la inversión se recupera en 3 meses para el variador de 15 HP y en 5 meses para el variador de 7.5 HP.

## II. OBJETIVOS

### A. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia y las instalaciones eléctricas de los principales motores eléctricos de los equipos utilizados en una fábrica de helados.

### B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar cuáles son los motores críticos en la fábrica de helados.
2. Evaluar el factor de potencia de cada uno de los motores críticos en la fábrica de helados.
3. Determinar la caída de tensión en las acometidas principales y las acometidas de los motores eléctricos.
4. Establecer si la capacidad de los motores eléctricos instalados en los equipos, son adecuadas para la correcta operación del equipo.
5. Evaluar la viabilidad para la instalación de variadores de frecuencia en los motores eléctricos que necesitan una demanda de potencia variable.
6. Evaluar el impacto económico que causará la implementación de las recomendaciones a los resultados del estudio.

### III. JUSTIFICACIÓN

La fábrica de helados está dividida en las siguientes áreas: producción de conos, peletería, envasado, pasteurizado y refrigeración; en todas estas áreas se utilizan máquinas equipadas con motores eléctricos, ya sea para impulsar ventiladores, bombas, compresores, bandas transportadoras, mezcladoras, etc. Según la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE 2010), los motores eléctricos son los usuarios de mayor consumo de energía eléctrica en las plantas industriales. Con un consumo aproximado de entre 60 y 70 % del consumo de energía eléctrica de una industria.

Para una planta que opera las 24 horas del día y en la cual la aplicación de los motores eléctricos es amplia, la energía eléctrica representa uno de sus costos operacionales más importantes. Esta es una de las razones principales para evaluar los motores eléctricos de la fábrica de helados, ya que dicho estudio permitirá establecer el estado energético actual de los motores, es decir, identificar pérdidas de carga, determinar el factor de potencia y la eficiencia de los motores. Con los resultados obtenidos del estudio se podrá identificar y evaluar oportunidades de ahorro de energía que buscan mejorar la eficiencia de la planta, reducir costos operacionales y a la vez disminuir el impacto ambiental que causa el uso de energías no renovables.

## IV. MARCO TEÓRICO

### A. MOTORES ELÉCTRICOS

Los motores eléctricos son las máquinas eléctricas más utilizadas en la industria, esto se ve reflejado en el consumo de energía eléctrica que representan para el sector industrial. Según Enrique Quispe (2003), los motores eléctricos consumen aproximadamente el 80% de la energía en el sector industrial, siendo el de inducción el motor eléctrico más utilizado. En la siguiente tabla se presenta el reparto de consumo eléctrico en los diferentes equipos que utilizan motores eléctricos de inducción. ( Quispe Oqueña, 2003)

Cuadro 1. Consumo de energía eléctrica en equipos con motores de inducción de hasta 300 KW

Tipo de carga	Consumo en %
Bombas	32%
Ventiladores	23%
Bandas transportadoras	15%
Compresores diversos	14%
Compresores de aire	8%
Otros tipos de carga	8%

( Quispe Oqueña, 2003)

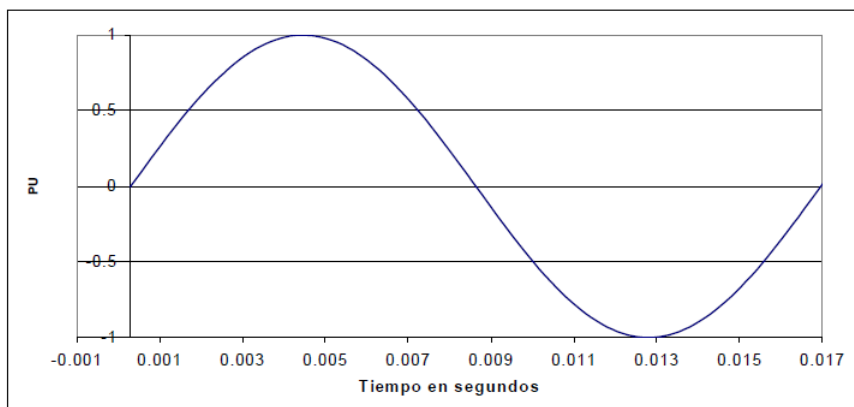
Un concepto importante al analizar los motores eléctricos es la eficiencia, este es un parámetro ligado a la productividad de la empresa, al igual que está relacionado con el consumo de energía. Al tratar los problemas de eficiencia no basta con utilizar motores de alta eficiencia, se debe hacer un análisis integral y considerar: la mejora de la calidad de la energía eléctrica, seleccionar adecuadamente la potencia, reducir las cargas sobre el motor, evaluar económicamente la selección de motores, utilizar controladores electrónicos de velocidad (variadores), y aplicar métodos de mantenimiento y reparación adecuada. ( Quispe Oqueña, 2003)

### B. FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA ENERGÍA.

Actualmente se ha incrementado el uso de cargas no lineales en las industrias, situación que genera problemas de calidad energética. Las cargas no lineales generan, a partir de las ondas sinusoidales y la frecuencia de la red, otras ondas a diferentes frecuencias que se propagan en las redes de transmisión y distribución eléctrica. El fenómeno de los armónicos ocasiona problemas, tanto a los usuarios como a las empresas encargadas de la distribución eléctrica; entre dichos problemas están: el sobrecalentamiento de cables, transformadores y motores; corriente excesiva por el neutro y el riesgo que los componentes del circuito entren en resonancia si se cuenta con bancos de capacitores para la corrección del factor de potencia de la instalación. (Tejada, 2010)

Una onda de tensión sin contenido de armónicos, debe tener una amplitud y frecuencia constante, tal y como se muestra en la siguiente figura donde se ilustra una onda de tensión con una frecuencia constante de 60 Hz y una amplitud de 1pu. (Archila, 2014)

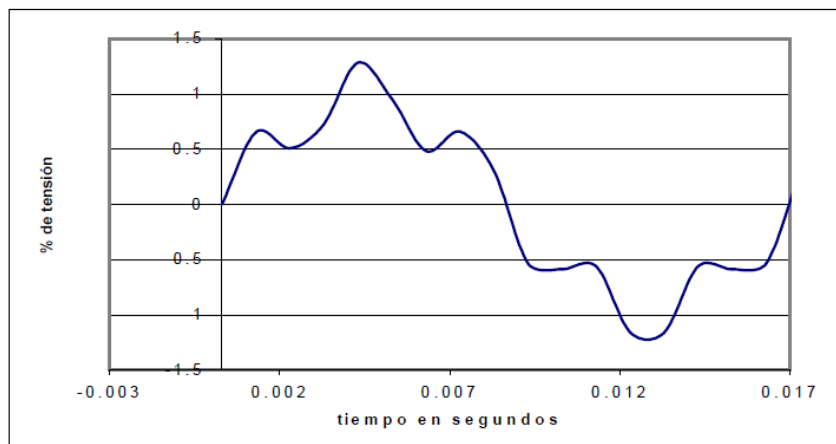
Figura 1. Ilustración de una onda de tensión sin contenido de armónicos a una frecuencia y amplitud constante de 60Hz y 1pu, respectivamente



(Archila 2014)

Cuando una onda de tensión y/o corriente no tiene la apariencia sinusoidal, como se ilustra en la Figura 1, esta tiene un contenido de armónico. Entonces, los armónicos son señales cuya frecuencia es un múltiplo de la frecuencia fundamental de la onda periódica. En la Figura 2 se ejemplifica una onda de tensión con un 30% de contenido del 5° armónico. (Archila, 2014)

Figura 2. Ilustración de una onda de tensión con un 30% de contenido del 5° armónico.



(Archila, 2014)

## C. FUENTES DE ARMÓNICOS

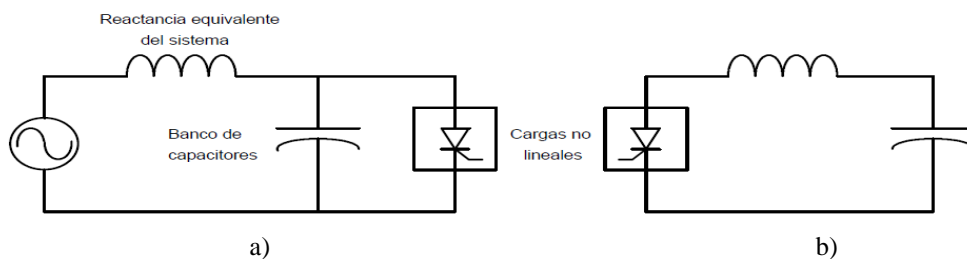
Partiendo de lo dicho en el apartado anterior, cualquier carga eléctrica no línea conectada a un sistema eléctrico causará una distorsión en las ondas de tensión y/o corriente, a continuación, se enlistan las fuentes principales de armónicos: (Tejada, 2010)

1. Saturación de transformadores
2. Corriente de energización de transformadores
3. Conexión al neutro de los transformadores
4. Fuerzas magneto-motrices en las máquinas rotatorias de CA.
5. Hornos de arco eléctrico
6. Lámparas fluorescentes
7. Fuentes reguladas por conmutación
8. Cargadores de baterías
9. Variadores de frecuencia para motores, drives e inversores.
10. Compensadores estáticos de potencia reactiva (Tejada, 2010)

## D. EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS

1. Efectos en los bancos de capacitores. El principal problema de los armónicos en los bancos de capacitores, es el riesgo que el circuito entre en resonancia, tanto conectado en serie como en paralelo. Según Tejada (2010), «A medida que aumenta la frecuencia, la reactancia inductiva del circuito equivalente del sistema de distribución aumenta, en tanto que la reactancia capacitiva de un banco de capacitores disminuye.» Por lo tanto, existirá al menos una frecuencia en la que las reactancias sean iguales y se producirá la resonancia. (Tejada, 2010)

Figura 3. Ilustración de la conexión de los bancos de capacitores respecto a las cargas no lineales. a) Circuito en paralelo y b) Circuito en serie.



(Tejada, 2010)

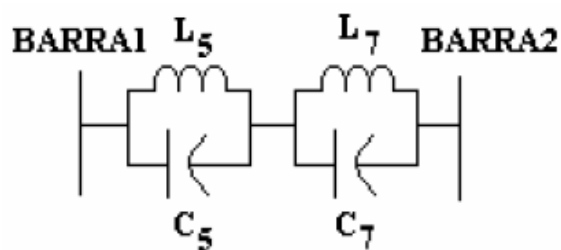
2. Efectos en los motores de inducción. En las máquinas de corriente alterna, los armónicos producen un aumento de pérdidas, disminuyendo la eficiencia y el torque generado. Cuando el voltaje que alimenta a un motor de inducción contiene armónicos, se incrementa las pérdidas en el rotor, estator y en el núcleo.

## E. FILTROS PASIVOS PARA ARMÓNICOS

Los filtros pasivos, al igual que el banco de capacitores, puede conectarse en serie y paralelo, con la finalidad de brindar al sistema de potencia un sumidero para las tensiones y corrientes armónicas, además de proveer al sistema toda o parte de la potencia reactiva que este necesita. (Rios, 2005)

Los filtros conectados en serie impiden el paso de una componente de frecuencia particular, desde el contaminante hacia el sistema o circuito de potencia, mediante el uso de una gran impedancia a la frecuencia especificada. Estos dispositivos cuentan con un inductor y un capacitor en paralelo, que se conectan en serie a la parte de la red que se quiere proteger. (Rios, 2005)

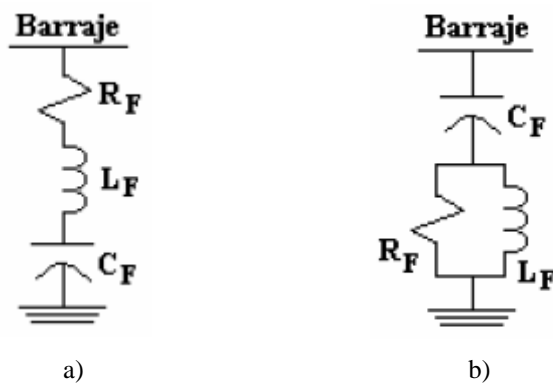
Figura 4. Filtro pasivo en serie



(Rios, 2005)

Los filtros conectados en paralelo proveen un paso alternativo de muy baja impedancia para las frecuencias armónicas, compuesta por un circuito RLC en conexión paralela con el sistema de alimentación. Las ventajas de utilizar un filtro en paralelo, respecto al filtro en serie, son: es más económico, solo permite el paso de las corrientes armónicas para las que fue sintonizado, proporciona parte de la potencia reactiva que necesita el sistema. Las configuraciones más utilizadas en filtros paralelos son: filtro sintonizado simple que elimina un armónico determinado utilizando un banco de condensadores conectados en serie con un inductor; y el filtro pasa alto que eliminan un amplio rango de frecuencias. (Rios, 2005)

Figura 5. Filtros pasivos en paralelo. a) Filtro sintonizado simple y b) Filtro pasa alto.



(Rios, 2005)

## F. FILTROS ACTIVOS DE POTENCIA

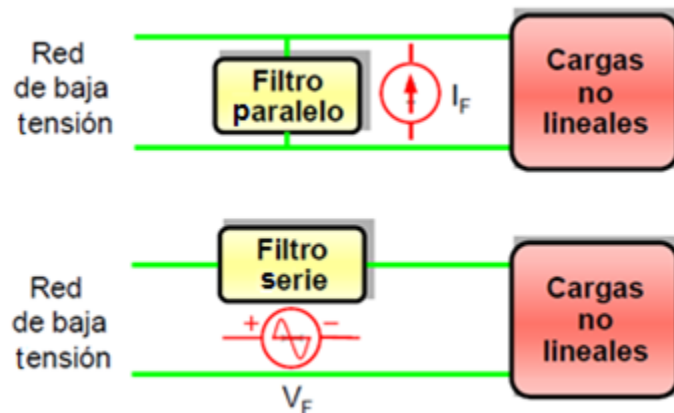
Los filtros activos, al igual que los filtros pasivos, tienen como objetivo la reducción de los armónicos en las redes de distribución de energía eléctrica. Tienen como principales ventajas, sobre los pasivos, la característica de adaptarse a las condiciones cambiantes de la carga de la propia red eléctrica, se reduce la probabilidad que ocurra el fenómeno de resonancia entre la red eléctrica y el filtro; y además de reducir los armónicos también contribuyen a la corrección del desfase entre las ondas de tensión y corriente ( $\cos \varphi$ ). Las funciones que deben cumplir los filtros activos de potencia son: (Lamich, 2005)

1. Reducción de los armónicos de corriente que circulan por la red, entre el APF y los centros de generación de energía.
2. Reducción de la corriente por el neutro. Si este existe la amplitud de los armónicos de corriente múltiplos de tres se suman a través del neutro.
3. Reducción de los armónicos de tensión en los puntos de conexión de las cargas.
4. Corrección del factor de potencia provocado por un  $\cos \varphi$  distinto de la unidad.
5. Equilibrado de la corriente que circula por las distintas fases.
6. Equilibrado de la tensión entre fases y con el neutro. (Lamich, 2005)

Los filtros activos de potencia se pueden clasificar dependiendo de la configuración de la conexión respecto a la carga. Las configuraciones son: filtros en serie, paralelos, serie-paralelo y mixtos.

Los filtros en paralelo actúan como una fuente de corriente que corrige los armónicos de corriente, para obtener una onda sinusoidal. En tanto que, los filtros en serie se comportan como una fuente de tensión en serie con la propia red y tienen la función de corregir los armónicos de tensión en los bornes de la carga para que la onda sea sinusoidal. (Lamich, 2005)

Figura 6. Filtros activos de potencia en las configuraciones paralelo y serie.



(Lamich, 2005)

## V. ANTECEDENTES

### A. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

El estudio de eficiencia energética de los motores eléctricos se realizó en una empresa dedicada a la producción y venta de helados. La empresa lleva más de 50 años en el mercado y actualmente es una de las empresas líderes en Guatemala en la producción y distribución de cornucopias y helados a granel. A continuación, se muestra un cuadro con la información de la empresa heladera. Algunos datos como el nombre y la ubicación se omiten por confidencialidad de la empresa.

Cuadro 2. Datos generales de la empresa productora de helados y conos

Datos generales de la empresa	
Nombre y actividad realizada en la empresa	Nombre confidencial - Productor de helados y conos
Ubicación	Domicilio confidencial
Número de trabajadores	48
Superficie del suelo total	2,793.44 m <sup>2</sup>
Superficie construida	1,785.66 m <sup>2</sup>
Superficie iluminada	1,402.23 m <sup>2</sup>
Jardín	195.65 m <sup>2</sup>
Aparcamiento	509.4 m <sup>2</sup>
Existencia de sistemas de ahorro de agua	Si
Producción/Consumo de energías renovables	No
Horarios	Turno 1: 06:30 a.m. a 03:30 p.m.
	Turno 2: 03:30 p.m. a 10:30 p.m.
	Turno 3: 10:30 p.m. a 06:30 a.m.

### B. ESTUDIO REALIZADO EN 2003

De acuerdo a un estudio realizado en la fábrica de helados y conos en julio de 2003, se realizó mediciones de voltaje, corriente, potencia y factor de potencia en la acometida secundaria. Se conectó el equipo de medición el día 21 a las 10:00 horas y fue retirado el día 23 a las 10:00 horas.

El equipo fue programado para hacer mediciones cada 15 minutos, registrando valores de corriente, voltaje, potencia y factor de potencia. A continuación, se presentan los valores máximos, mínimos y un promedio de dichos parámetros.

Cuadro 3. Valores de voltaje medidos

Descripción	Vab [voltios]	Vbc [voltios]	Vca [voltios]
Máximos medidos	242	244	237
Mínimos medidos	232	234n	227
Promedios	238	239	233

Cuadro 4. Valores de corriente medidos

Descripción	Ia [Amperios]	Ib [Amperios]	Ic [Amperios]
Máximos medidos	319	299	392
Mínimos medidos	76	79	78
Promedios	201	171	198

Cuadro 5. Valores de potencia medidos

Descripción	kW	kVAR	kVA
Máximos medidos	99	75	124
Promedios	59	47	76

Cuadro 6. Valores del factor de potencia medidos

Descripción	F.P.
Máximos medidos	0.98
Mínimos medidos	0.70
Promedios	0.77

## C. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

1. **Voltaje:** Si tomamos como referencia el voltaje nominal 240 Voltios, el valor máximo registrado esta un 1.66% arriba y el valor mínimo un 5.42% abajo del nominal, estas fluctuaciones se consideran normales, por lo tanto, los valores de voltaje son buenos.
2. **Corriente:** En los valores registrados se puede apreciar que el balanceo de las cargas es aceptable.
3. **Potencia:** La capacidad nominal total del banco de trasformadores instalado es de 225 KVA, la potencia total máxima medida fue de 124 KVA que representa el 55.12% de la capacidad del banco de trasformadores.
4. **Factor de potencia:** El factor de potencia promedio fue de 0.77 durante las 48 horas, valor muy bajo, pues el mismo establecido por los reglamentos de EEGSA es de 0.90.

## D. RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO

1. Mejorar el factor de potencia instalando un banco de capacitores automático de 60 KVAR, que tenga por lo menos tres etapas de 20KVAR cada una, el banco deberá de tener posibilidades de ampliación mediante la instalación de etapas adicionales. La capacidad del banco de capacitores ha sido calculada con la carga actual y deberá recalcularse cuando se incremente la carga instalada.
2. Realizar mantenimiento a los puntos de conexión entre los cables principales de entrada y el interruptor principal, se observaron con corrosión.

A continuación, se presentan las gráficas de voltaje, corriente, potencia y factor de potencia.

Figura 7. Gráfica de voltaje. Acometida eléctrica 3 x 75 KVA 120/240 V

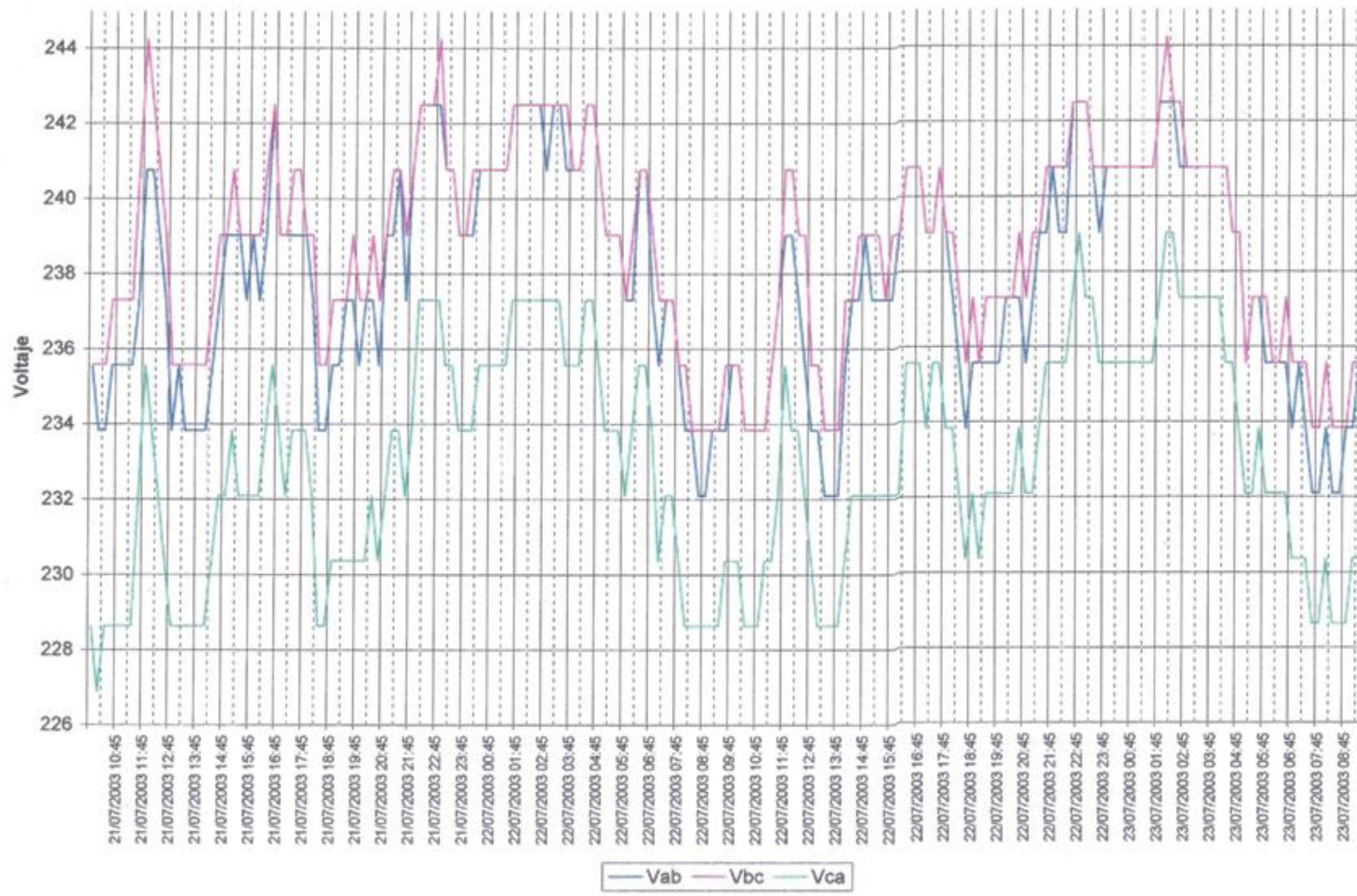


Figura 8. Gráfica de corriente. Acometida eléctrica 3 x 75 KVA 120/240 V

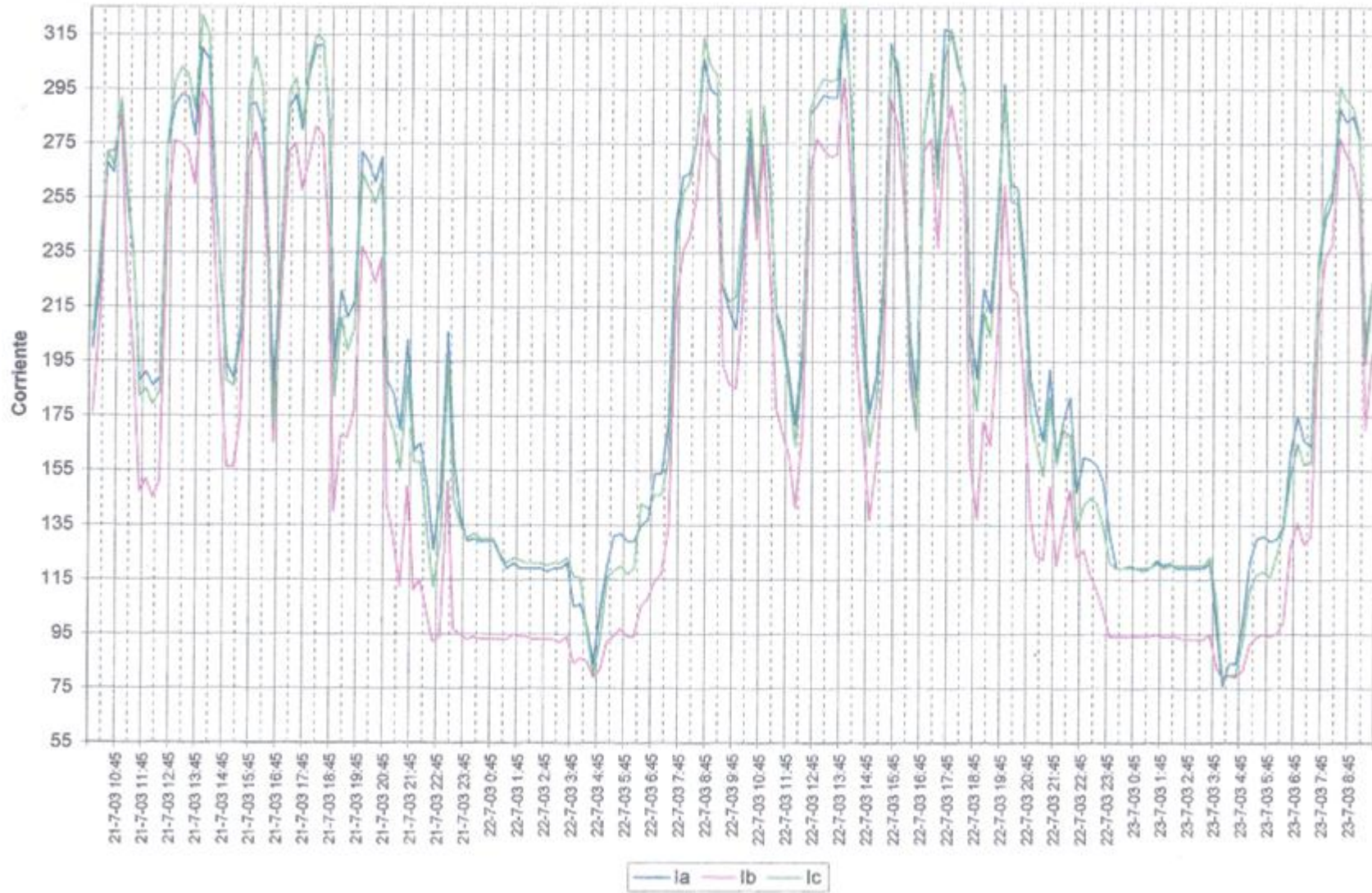


Figura 9. Gráfica potencia trifásica. Acometida eléctrica 3 x 75 KVA 120/240 V

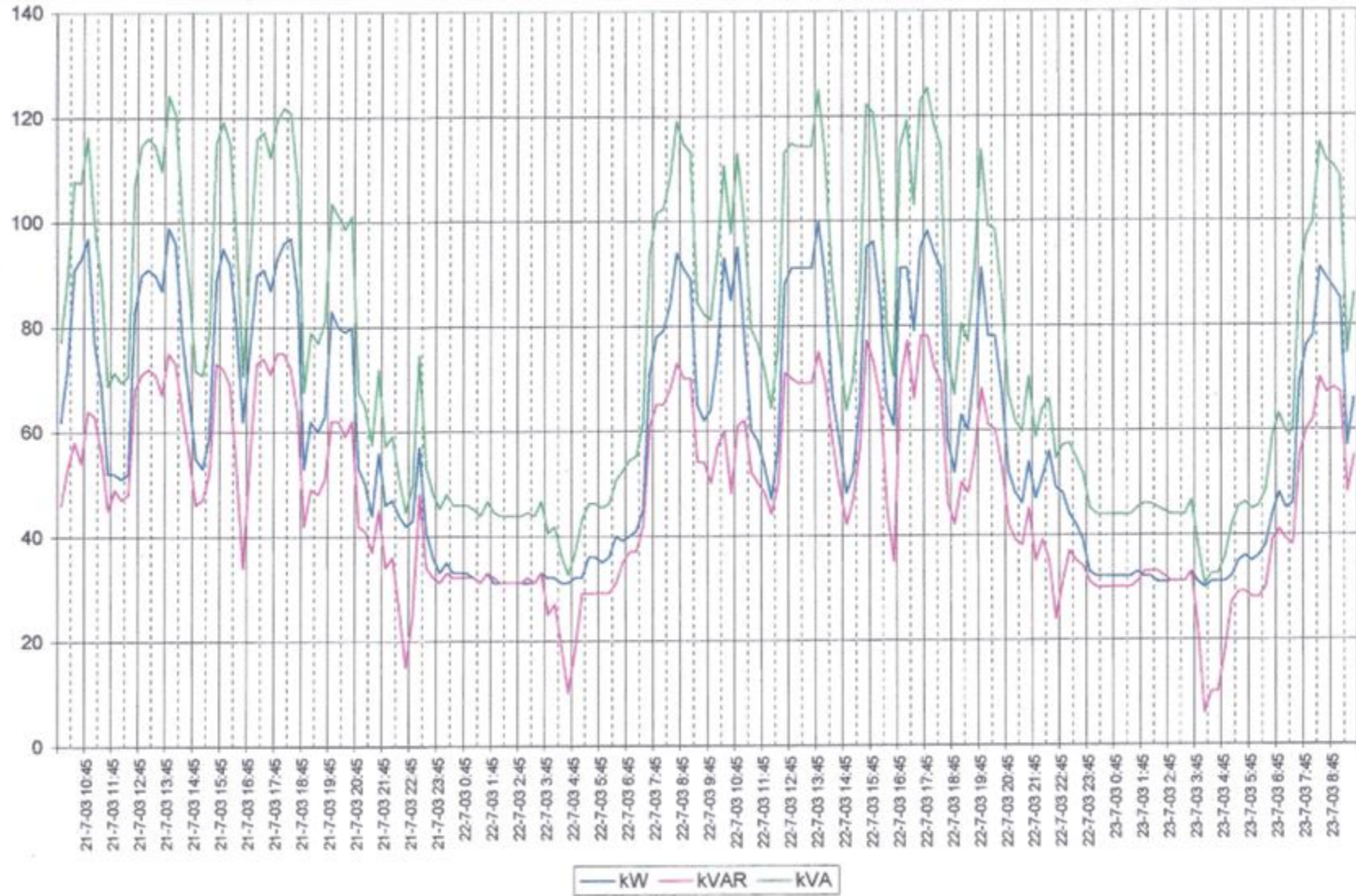
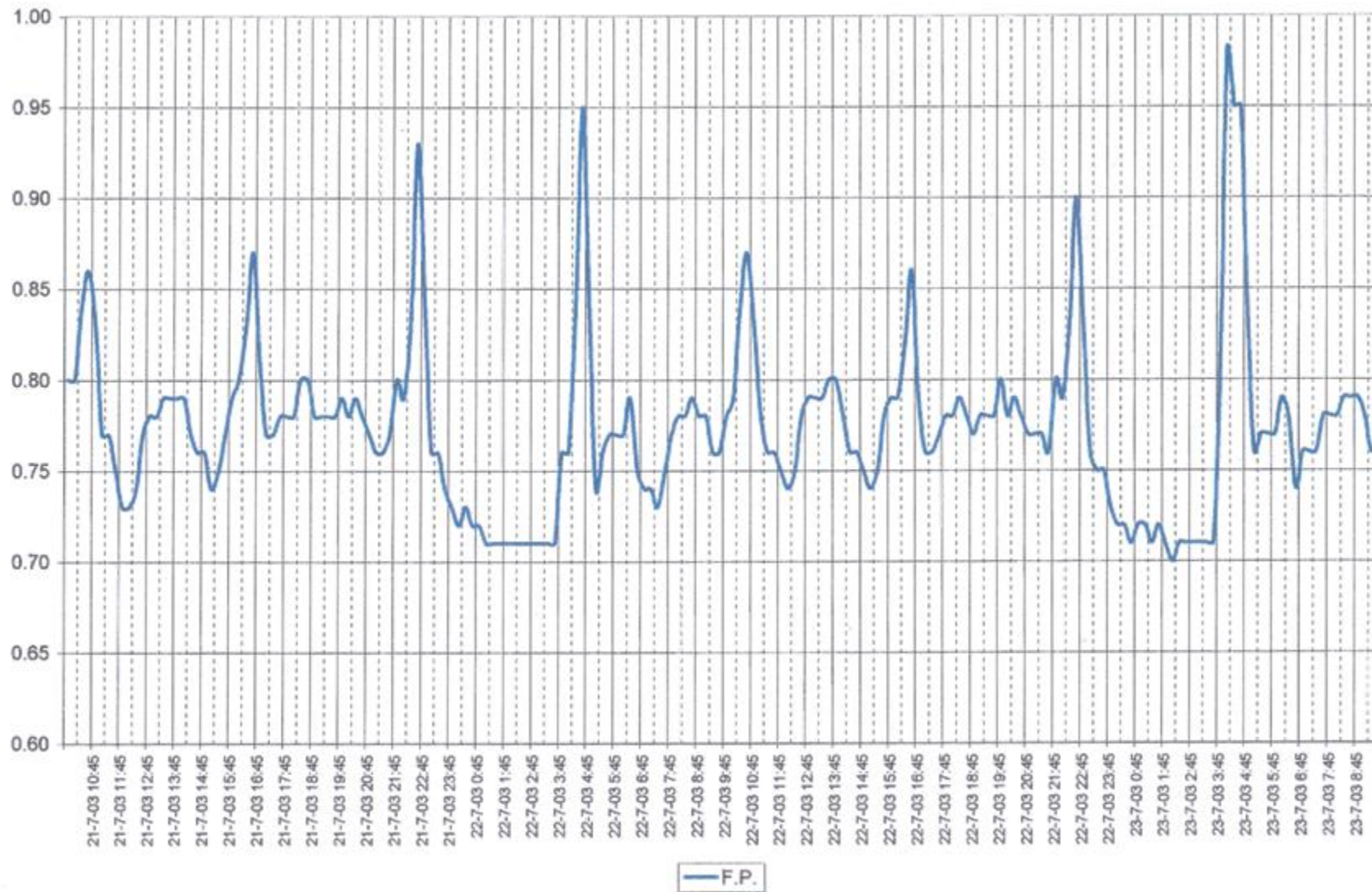


Figura 10. Gráfica del factor de potencia. Acometida eléctrica 3 x 75 KVA 120/240 V



## VI. METODOLOGÍA

La metodología que se utilizó para desarrollar el estudio de eficiencia energética, en los motores eléctricos de la planta productora de helados y conos, consiste en lo siguiente:

- A. Recopilación de información
- B. Inventario de cargas eléctricas y equipos
- C. Validación del inventario de cargas
- D. Establecer los motores eléctricos críticos
- E. Mediciones de voltaje, corriente, temperatura e inspección de equipos
- F. Cálculos de muestra para determinar potencia aparente, reactiva y factor de potencia.
- G. Cálculos de muestra para determinar si la potencia de los equipos es adecuada
- H. Evaluación económica

### A. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Fue necesario recopilar información útil para realizar el estudio, para lo cual se estableció un cronograma de actividades como guía para establecer fecha y hora en que serían realizadas las visitas a la planta, así como la actividad a realizar en cada visita. A continuación, se muestra un cuadro con la información descrita anteriormente:

Cuadro 7. Cronograma de actividades y visitas a la planta de helados.

No.	Fecha	Hora	Actividad
1	14/05/2016	9:00 a.m. - 11:30 a.m.	Recorrido por la planta para conocer el proceso
2	08/07/2016	9:00 a.m. - 11:00 a.m.	Inventario de equipos
3	16/07/2016	9:00 a.m. - 10:30 a.m.	Inspección de instalaciones eléctricas
4	05/08/2016	9:00 a.m. - 11:00 a.m.	Inspección de equipos
5	11/08/2016	9:00 a.m. - 10:00 a.m.	Mediciones de voltaje en el tablero de distribución
6	07/10/2016	8:30 a.m. - 10:30 a.m.	Medición de voltaje y corriente en los equipos críticos
7	11/10/2016	8:30 a.m. - 10:30 a.m.	Medición de voltaje y corriente en los equipos críticos

En la primera visita se pidió conocer el historial del consumo de energía eléctrica que la planta de helados tuvo durante el último año, para ello se contó con los recibos eléctrico emitidos por la Empresa Eléctrica de Guatemala. A continuación, se presenta un cuadro con los consumos eléctricos y el costo de la energía eléctrica que la planta ha consumido desde agosto de 2015 hasta julio de 2016.

Cuadro 8. Historial del consumo de energía eléctrica de la planta de helados. Facturas emitidas por EEGSA

Periodo de facturación	Mes	Días	Consumo total de energía [kWh]	Costo total [Q]
01/08/2015 al 31/08/2015	Agosto	31	118,013.92	140,219.07
01/09/2015 al 30/09/2015	Septiembre	30	113,331.30	122,245.73
01/10/2015 al 31/10/2015	Octubre	31	117,976.30	120,924.67
01/11/2015 al 30/11/2015	Noviembre	30	115,699.47	127,091.96
01/12/2015 al 31/12/2015	Diciembre	31	120,696.02	94,614.98
01/01/2016 al 31/01/2016	Enero	31	126,017.28	101,755.82
01/02/2016 al 29/02/2016	Febrero	29	106,696.14	93,943.32
01/03/2016 al 31/03/2016	Marzo	31	120,827.04	105,780.92
01/04/2016 al 30/04/2016	Abril	30	120,492.39	109,040.82
01/05/2016 al 31/05/2016	Mayo	31	117,906.08	120,210.54
01/06/2016 al 30/06/2016	Junio	30	110,033.07	114,523.82
01/07/2016 al 31/07/2016	Julio	31	112,338.49	110,174.23
	Totales		1,400,027.50	Q1,360,525.88

Lo siguiente fue conocer dónde se consume la energía eléctrica. Se realizó un recorrido por las instalaciones de la planta para familiarizarse con el proceso de producción de helados y conocer cuáles son los equipos que intervienen en el proceso. Durante el recorrido fue evidente notar que la planta está dividida en distintas áreas de acuerdo al producto o proceso que se lleva a cabo, en total se identificaron las siguientes áreas:

1. Elaboración de conos
2. Elaboración de paletas
3. Envasado
4. Pasteurizado
5. Calderines, bombas y compresores de aire
6. Refrigeración.
7. Iluminación y equipos de oficina

## B. INVENTARIO DE CARGAS ELÉCTRICAS Y EQUIPOS.

Para conocer dónde se consume la energía eléctrica en la planta se realizó un inventario de cargas eléctricas y equipos consumidores de energía eléctrica. A continuación, se presentan siete cuadros, uno por cada área en que está dividida la planta, que incluyen la potencia nominal de la carga, días y horas de operación del equipo, así como el consumo mensual de energía eléctrico de cada carga.

Cuadro 9. Datos de los equipos del área de elaboración de conos.

Proceso	Equipo	Potencia [W]	Cantidad	Horas	Días	kWh/mes
Cocina de cono	Motor de mezclador Wien	3,000.00	1	10	30	900.00
Cocina de cono	Motor de mezclador Baldor	3,728.50	1	10	30	1118.55
Cocina de cono	Motor de mezclador	4,000.00	1	10	30	1200.00
Cocina de cono	Marmita eléctrica	-	1	8	30	-
Cocina de cono	Balanza analítica Salter Brecknell	-	1	2	30	-
Cocina de cono	Balanza analítica Nom Nyce	-	1	10	30	-
Cono waffle	Motor Elektror	900	2	9	30	486.00
Cono waffle	Motor SEW	250	2	9	30	135.00
Cono waffle	Selladora con calor	120	1	5	30	18.00
Cono waffle	Motor Sew-Eurodrive	200	1	10	30	60.00

Cuadro 10. Datos de los equipos del área de elaboración de paletas

Proceso	Equipo	Potencia [W]	Cantidad	Horas	Días	kWh/mes
Paletería	Máquina helado Tetra Huyer Frigus SF	18,170.00	1	4	8.67	630.14
Paletería	Sorbetera Machinox Ind. COM LTDA	1,370.00	1	10	30	411.00
Paletería	Paleta No.2 POLOS	10,000.00	1	14	30	4200.00
Paletería	Baño María Machinox	4,000.00	2	14	29	3248.00
Paletería	Empacadora paletas	1,500.00	1	14	30	630.00
Paletería	Paleta No. 1 Picomachi	8,900.00	1	14	30	3738.00
Paletería	Secadores de manos HD automatic	80	2	3	30	14.40

Cuadro 11. Datos de los calderines, bombas de agua y compresores de aire

Proceso	Equipo	Potencia [W]	Cantidad	Horas	Días	kWh/mes
Calderín	Calderín Bongioanni	20,000.00	1	12	30	7200.00
Calderín	Calderín Bongioanni	20,000.00	1	-	-	
Calderín	Calderín Bongioanni	20,000.00	1	8	4.33	692.80
Agua potable	Bomba 1	745.7	1	9	30	201.34
Agua potable	Bomba 2	1,118.55	1	9	30	302.01
Aire comprimido	Compresor	3,728.50	1	20	30	2237.10
Aire comprimido	Compresor	5,592.75	1			0.00

Cuadro 12. Datos de los equipos del área de pasteurizado

Proceso	Equipo	Potencia [W]	Cantidad	Horas	Días	kWh/mes
Pasteurizado 1	Máquina de enfriamiento (Chilled)	14,000.00	1	6	4.33	363.72
Pasteurizado 1	Homogenizador Tetra Pak Hoyer	11,185.50	1	4	4.33	193.73
Pasteurizado 1	Agitador de mezcla modelo M7180	745.7	2	20	30	894.84
Pasteurizado 1	Bomba Trasiego 1.5 hp	1,118.55	1	20	30	671.13
Pasteurizado 2	Máquina de enfriamiento (Chilled)	25,500.00	1	10	30	7650.00
Pasteurizado 2	Pasteurizador GOL Frigomat	6,500.00	1	10	30	1950.00
Pasteurizado 2	Ventilador (AC)	-	1	18	30	
Pasteurizado 2	Pesa marca UWE	5	1	1	30	0.15
Pasteurizado 2	Pasteurizadora modelo MxP1200B + Bomba trasiego	48,500.00	1	10	30	14550.00
Pasteurizado 2	Balanza analítica marca Sartonas	1	1	3	30	0.09

Cuadro 13. Datos de los equipos del área de envasado

Proceso	Equipo	Potencia [W]	Cantidad	Horas	Días	kWh/mes
Envasado	Máquina helado cremoso tetra pak Hoyer Frigus	16,500.00	3	10	26	12870.00
Envasado	Motor mezclador	745.7	4	10	26	775.53
Envasado	Empacadora Envasomatick Flexipack	2,500.00	1	6	4.33	64.95

Cuadro 14. Datos de los equipos del área de refrigeración

Proceso	Equipo	Potencia [W]	Cantidad	Horas	Días	kWh/mes
Blast Freezer 1	Condensador	49.71	4	17	30	101.41
Blast Freezer 1	Compresor Copeland No. 1	11,185.50	1	17	30	5704.60
Blast Freezer 1	Condensador	49.71	10	17	30	253.52
Blast Freezer 1	Compresor Copeland No. 2	11,185.50	1	17	30	5704.60
Blast Freezer 2	Compresor Copeland No. 8	20,133.90	1	17	30	10268.29
Blast Freezer 2	Condensador	49.71	4	17	30	101.41
Enfriamiento	Bomba Torre 2	11,185.50	1	15	30	5033.48
Enfriamiento	Bomba Torre 1	3,728.50	1	10	30	1118.55
Enfriamiento	Torre de enfriamiento 1	2,982.80	1	15	30	1342.26
Enfriamiento	Torre de enfriamiento 2	820.27	1	10	30	246.08
Mantenimiento 1	Condensador	49.71	8	17	30	202.82
Mantenimiento 1	Compresor Copeland No. 3 y 4	11,185.50	2	17	30	11409.21
Mantenimiento 2	Condensador	49.71	6	17	30	152.11
Mantenimiento 2	Compresor Copeland No. 5 y 6	2,982.80	2	17	30	3042.46
Mantenimiento 2	Compresor Copeland No. 7	5,592.75	1	17	30	2852.30

Cuadro 15. Datos de las lámparas y luminarias

Proceso	Equipo	Potencia [W]	Cantidad	Horas	Días	kWh/mes
Cocina de cono	Lámpara fluorescente T-12	28	2	10	30	16.80
Pasillo	Lámpara UV	29	1	24	30	20.88
Pasillo	Lámpara fluorescente T-12	40	5	24	30	144.00
Almacenamiento	Lámpara fluorescente T-8	32	16	1	30	15.36
Calderas	Lámpara UV	29	1	24	30	20.88
Bodega Materia Prima	Lámpara de mercurio	200	1	4	30	24.00
Blast Freezer 3	Lámpara incandescente	75	2	24	30	108.00
Antecámara	Lámpara incandescente	75	1	24	30	54.00
Blast Freezer 1	Lámpara incandescente	75	2	24	30	108.00
Oficina de supervisores	Lámpara fluorescente T-12	40	2	8	22	14.08
Gerencia Industrial	Lámpara fluorescente T-12	40	2	5	22	8.80
Exterior	Lámpara de mercurio con fotocelda	200	3	12	30	216.00
Cono waffle	Lámpara de mercurio	625	5	10	30	937.50
Cono waffle	Lámpara fluorescente T-12	40	6	10	30	72.00
Cono waffle	Lámpara fluorescente T-12	92	2	10	30	55.20
Bodega Materia Prima	Lámpara fluorescente T-12	40	4	5	30	24.00
Bodega producto terminado	Lámpara de mercurio	200	11	18	30	1188.00
Paletería	Lámpara fluorescente T-12	40	26	24	20	499.20
Envasado	Lámpara fluorescente T-12	40	32	16	6	122.88
Pasteurizado 1	Lámpara fluorescente T-12	40	24	16	6	92.16
Pasillo	Lámpara fluorescente T-12	40	8	18	30	172.80
Pasteurizado 2	Lámpara fluorescente T-12	92	32	18	30	1589.76
Refrescos	Lámpara fluorescente T-8	32	16	4	4.33	8.87
Calderas	Lámpara fluorescente T-12	92	4	3	30	33.12
Oficina de supervisores	Lámpara fluorescente T-12	40	1	4	20	3.20
Área de carga	Lámpara de mercurio	625	2	10	30	375.00
Ventas	Lámpara T-6	32	2	2	22	2.82
Corredor bodega	Lámpara T-6	32	6	2	30	11.52
Bodega de producto terminado	Ventilador	35	1	8	30	8.40
Bodega de producto terminado	Sellador	300	2	3	30	54.00
Bodega de lácteos (bodega 3)	Cámara fría FOGEL (dos puertas)	186.43	2	24	30	268.46
Bodega de lácteos (bodega 3)	Cámara fría FOGEL (una puerta)	372.85	1	24	30	268.45
Bodega Materia Prima	Congelador	400	1	24	30	288.00

Cuadro 16. Datos de las lámparas y luminarias (Continuación)

Proceso	Equipo	Potencia [W]	Cantidad	Horas	Días	kWh/mes
Gerencia	Monitor LCD	182	1	4	22	16.02
Gerencia	UPS	25	1	24	30	18.00
Cocina de supervisores	UPS	25	1	24	30	18.00
Cocina de supervisores	Switch	18	3	24	30	38.88
Cocina de supervisores	Monitor LCD	182	2	4	22	32.03
Cocina de supervisores	Monitor CRT	300	1	4	22	26.40
Gerencia Industrial	Laptop	120	1	5	22	13.20
Gerencia Gestión de Calidad	Laptop	120	1	4	30	14.40
Ventas	Refrigerador Wood's Custom	250	1	24	30	180.00
Ventas	UPS	25	1	24	30	18.00
Ventas	Monitor LCD	182	1	4	22	16.02

### C. VALIDACIÓN DEL INVENTARIO DE CARGAS

Una vez realizado el inventario de cargas de la planta, fue necesario validar la información recopilada. La forma en que se validó la información fue comparando el costo real de los consumos de energía eléctrica mensuales (recibos emitidos por EEGSA) con el costo estimado obtenido a través de multiplicar el consumo estimado por la tarifa del mes correspondiente. En el Cuadro 15, se tabularon los datos mencionados anteriormente y se calculó el porcentaje de desviación entre el costo estimado y el costo real. La columna consumo estimado muestra el total de kWh /mes que corresponde a la suma de dicha columna en los cuadros 9 a 14.

Cuadro 17. Comparación de los consumos de energía eléctrica reales y estimados, y porcentaje de variación

Mes	Consumo estimado [kWh /mes]	Tarifa (Q/kWh)	Costo estimado [Q]	Costo Real [Q]	% Desviación
Agosto de 2015	122,156.65	1.19	Q145,366.41	Q140,219.07	3.67%
Septiembre de 2015	122,156.65	1.08	Q131,929.18	Q122,245.73	7.92%
Octubre de 2015	122,156.65	1.02	Q124,599.78	Q120,924.67	3.04%
Noviembre de 2015	122,156.65	1.1	Q134,372.31	Q127,091.96	5.73%
Diciembre de 2015	122,156.65	0.78	Q95,282.19	Q94,614.98	0.71%
Enero de 2016	122,156.65	0.81	Q98,946.89	Q101,755.82	2.76%
Febrero de 2016	122,156.65	0.88	Q107,497.85	Q93,943.32	14.43%
Marzo de 2016	122,156.65	0.88	Q107,497.85	Q105,780.92	1.62%
Abril de 2016	122,156.65	0.9	Q109,940.98	Q109,040.82	0.83%
Mayo de 2016	122,156.65	1.02	Q124,599.78	Q120,210.54	3.65%
Junio de 2016	122,156.65	1.04	Q127,042.92	Q114,523.82	10.93%
Julio de 2016	122,156.65	0.98	Q119,713.52	Q110,174.23	8.66%
Desviación promedio					5.33%

Del Cuadro 15 se observó que, en todos los meses, a excepción del mes de junio, el costo estimado es mayor que el costo real, lo cual es lógico porque el costo estimado está basado en que todos los equipos funcionan a su máxima capacidad. Las mayores variaciones en los costos del consumo eléctrico son de 14.43% (febrero de 2016) y de 10.93% (junio de 2016); en los demás meses la variación es menor al 10%. El porcentaje de variación promedio es de 5.33 %, lo cual es aceptable al igual que los porcentajes de variación en cada mes, por lo tanto, el inventario de cargas es válido.

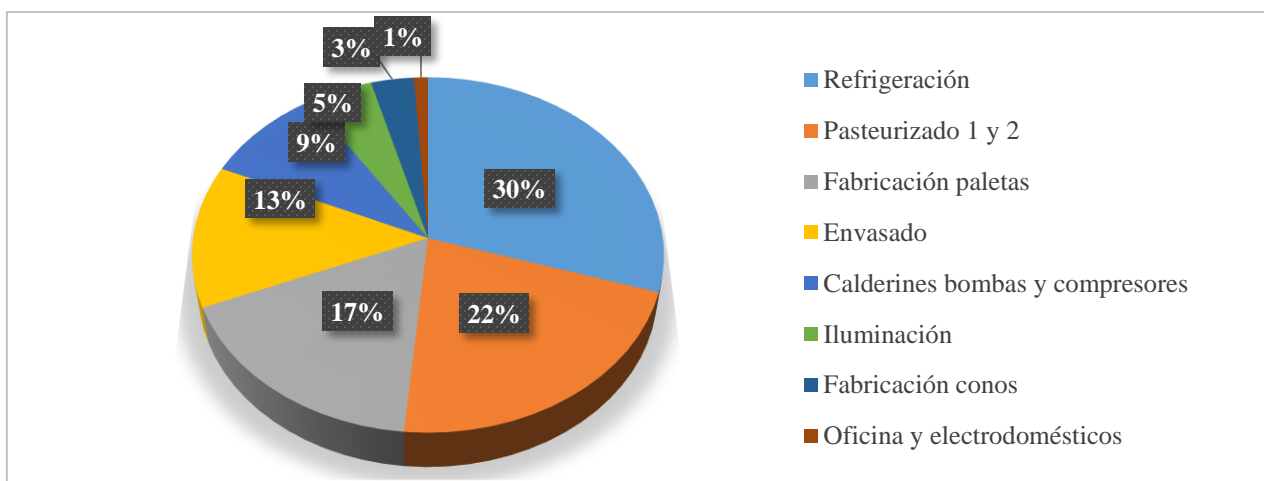
## D. MOTORES ELÉCTRICOS CRÍTICOS

Para establecer cuáles son los motores críticos se evaluó el consumo de energía eléctrica en cada una de las áreas de la planta, esto para determinar qué áreas representan el mayor consumo de energía eléctrica y cuál es el costo asociado a ese consumo. A continuación, se presenta un cuadro con el consumo y costo de cada área, también se presenta una gráfica que representa el porcentaje del consumo por cada área.

Cuadro 18. Consumo de energía por área de la planta

Área de proceso	kWh/Mes	Costo estimado
Oficina y electrodomésticos	1,278.25	Q 1,406.08
Pasteurizado 1 y 2	2,123.85	Q 2,336.24
Fabricación conos	3,917.55	Q 4,309.31
Iluminación	5,938.83	Q 6,532.71
Calderines bombas y compresores	11,081.20	Q 12,189.32
Envasado	15,676.66	Q 17,244.33
Fabricación paletas	21,002.14	Q 23,102.35
Pasteurizado 2	24,150.24	Q 26,565.26
Refrigeración	36,212.68	Q 39,833.95
<b>Total</b>	<b>121,381.40</b>	<b>Q 133,519.54</b>

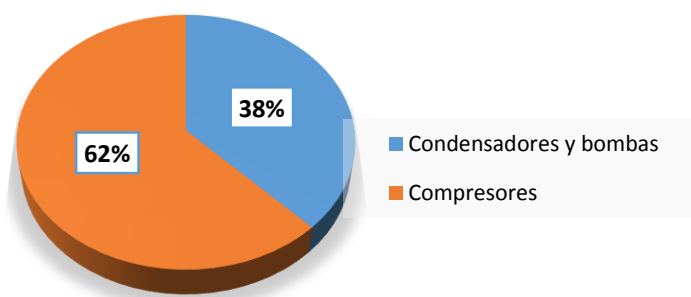
Figura 11. Distribución del consumo energético de la planta productora de helados y conos



De la Figura 11 se observó que el área de compresores representa un mayor consumo de energía con un 30%, seguido por el área de pasteurización (20%) y fabricación de paletas (17%). Basado en estos consumos, se analizó la cantidad de motores eléctricos en cada área. En el área de compresores se cuenta con 8 compresores Copeland Discus cada uno con su respectivo motor eléctrico; en el área de pasteurizado existen 4 motores eléctricos; en el área de fabricación de paletas hay 3 motores eléctricos.

Es notable que el área de compresores es la que tiene un mayor número de motores eléctricos y que estos representan la mayor parte del consumo del área de refrigeración; esta afirmación se hace con base a la Figura 12 que muestra el porcentaje del consumo eléctrico de los compresores en el área de refrigeración.

Figura 12. Equipos que más consumo de energía en el área de refrigeración



Finalmente, para determinar cuáles son los motores críticos se elaboró una matriz de criticidad con los motores eléctricos con una potencia de 27 HP (20,133.90 KW) hasta 1/3 HP (250 KW). En total se incluyeron 19 motores eléctricos en la matriz. A continuación, se presenta la matriz de criticidad y el criterio que se utilizó para establecer la criticidad.

Cuadro 19. Matriz de criticidad de los principales motores eléctricos

Equipo	Potencia [watts]	Riesgo de seguridad ocupacional	Riesgo al medio ambiente	Perdida de producción	Costo de mantenimiento	Costo del consumo de energía	Criticidad	Clasificación
		15%	15%	25%	20%	25%		
1 Motor de mezclador No.1	3,000.00	5	3	7	4	2	4.2	B
2 Motor de mezclador No.2	3,728.50	5	3	7	5	2	4.4	B
3 Motor de mezclador No.3	4,000.00	5	3	7	5	2	4.4	B
4 Motor Elektror, máquina de conos	900.00	5	3	7	3	2	4.0	C
5 Motor SEW, máquina de conos	250.00	5	3	7	2	2	3.8	C
6 Bomba de agua potable No. 1	745.70	5	3	7	3	1	3.8	C
7 Bomba de agua potable No. 2	1,118.55	5	3	7	3	1	3.8	C
8 Motor mezclador	745.70	5	3	7	3	1	3.8	C
9 Compresor de aire No.1	3,728.50	6	4	4	5	3	4.4	B
10 Compresor Copeland No.1	11,185.50	7	6	9	8	8	7.6	A
11 Compresor Copeland No.2	11,185.50	7	6	9	8	8	7.6	A
12 Compresor Copeland No.3	11,185.50	7	6	8	8	8	7.4	A
13 Compresor Copeland No.4	11,185.50	7	6	8	8	8	7.4	A
14 Compresor Copeland No. 5	2,982.80	7	6	8	6	5	6.4	B
15 Compresor Copeland No. 6	2,982.80	7	6	8	6	5	6.4	B
16 Compresor Copeland No. 7	5,592.75	7	6	8	8	6	7.0	A
17 Compresor Copeland No. 8	20,133.90	7	6	9	10	10	8.4	A
18 Bomba torre de enfriamiento No.1	11,185.50	7	3	7	7	4	5.6	B
19 Bomba torre de enfriamiento No.2	3,728.50	6	3	7	5	2	4.6	B

Cuadro 20. Resultado de la matriz de criticidad y criterio de evaluación

Código	Descripción	Clasificación	No. de equipos
A	Crítico	$A \geq 7$	6
B	No tan crítico	$4 < B < 7$	8
C	No crítico	$C \leq 4$	5
Total de equipos			19

De la matriz de criticidad se observa que los motores críticos son los motores eléctricos de los compresores de refrigeración de 7.5 HP, 15 HP (cuatro motores) y 27 HP; en total son 6 los compresores críticos; pero ya que existen otros dos compresores de 4 HP se decidió analizar todo el conjunto de los compresores del sistema de refrigeración de los cuartos fríos.

En el cuadro siguiente se muestra el listado de los compresores, la potencia nominal y el cuarto frío al que corresponden, así como la función de cada cuarto frío.

Cuadro 21. Listado y descripción de los compresores de refrigeración

No. de compresor	Potencia [HP]	Descripción
Copeland No.1	15	Compresores de refrigeración del cuarto frío 1, encargado de endurecer el producto terminado hasta una temperatura de -30°C
Copeland No.2	15	
Copeland No.3	15	Compresores del cuarto frío de mantenimiento 1. Cuarto encargado de mantener el producto a una temperatura de -25°C.
Copeland No.4	15	
Copeland No.5	4	Compresores del cuarto frío de mantenimiento 2. Cuarto encargado de mantener el producto a una temperatura de -25°C.
Copeland No.6	4	
Copeland No.7	7.5	
Copeland No.8	27	Compresores de refrigeración del cuarto frío 1, encargado de endurecer el producto terminado hasta una temperatura de -30°C

## E. MEDICIONES DE VOLTAJE, CORRIENTE, TEMPERATURA E INSPECCIÓN DE EQUIPOS

Se realizó una inspección visual de los equipos para evaluar su estado, observar las condiciones de operación y el entorno en que se encuentran los equipos. En la inspección no se observó ninguna anomalía en cuanto a daños en el equipo, no se observó corrosión, no se observaron fugas ni escurrimiento de lubricantes. En cambio, sí se observó que en algunos compresores se forma escarcha en las tuberías debido a que estas no están aisladas. En la sección de anexos se muestran ocho cuadros donde se puede observar el estado de cada compresor.

Para evaluar el funcionamiento de los equipos se realizaron mediciones de temperatura en diferentes puntos del compresor. Se realizaron mediciones de corriente y voltaje de alimentación, para poder determinar la potencia que demanda los motores eléctricos de los compresores. En el tablero de distribución se midió la tensión.


Para medir la temperatura se utilizó un termómetro laser STEREN HER-425 y para medir la corriente y amperaje se utilizó una pinza amperimétrica Fluke 333. En el cuadro 18 y 19 se muestran los datos de los equipos de medición utilizados.

## 1. Equipos de medición

Cuadro 22. Especificaciones del termómetro infrarrojo digital HER-425

	Especificaciones	
	Apuntador láser clase 2	
	Rango de temperatura: -20°C a 350°C	
	Precisión: -20°C a 50°C +/- 2.5°C	
	51°C a 350°C +/- (lectura *1.5% + 1°C)	
	Tiempo de respuesta: 500 ms	
	Potencia de láser: <1 mW	
	Longitud de onda: 630 – 670 nm	
	Botón de selección de °C o °F	
	Alimentación: 9 Vcc (1 pila de 9 V cuadrada)	
	Lectura máxima, mínima y promedio	
	Función de retención de datos de 10 segundos	
Distancia máxima para medición: 12 m		

Cuadro 23. Especificaciones de la pinza amperimétrica Fluke 333

	Especificaciones	
	Diámetro del conductor medible	0.12" o 30,5 mm máx.
	Temperatura de funcionamiento	-14 a 122 ° F (-10 a 50°C)
	Humedad de funcionamiento	<90% @ <30 °C, <75% @ 30 a 55°C
	Altitud de funcionamiento	0-2500 m
	Clasificación del IP	IP 40
	Tamaño	240 x 80 x 44 mm, (9,375 x 3,125 x 1,625 in.)
	Peso	310G, (11 oz)
	Vibración	Random 2 g, 5 a 500 Hz
	EMI / RFI	Cumple con EN61326-1

## 2. Medición de voltaje en el tablero de distribución

Cuadro 24. Voltajes máximos y mínimos medidos en el tablero de distribución

Voltajes medidos	V12 [Voltios]	V23 [Voltios]	V31 [Voltios]
Máximos	240.4	238.1	240.4
Mínimos	240.1	237.4	239.9

3. Mediciones de temperatura en los compresores. En el Cuadro 22 se presentan las temperaturas máximas medidas en los compresores; con base en estas mediciones se evaluó el funcionamiento del compresor, las temperaturas se midieron en tres puntos distintos, los detalles y puntos de medición se detallan en los anexos.

Cuadro 25. Temperaturas máximas medidas en los compresores. Ver anexos

Descripción	Potencia [HP]	Temperatura Máxima	Estado
Compresor Copeland No. 1	15	76.9°C	Aceptable
Compresor Copeland No. 2	15	79.1°C	Aceptable
Compresor Copeland No. 3	15	89.3°C	Aceptable
Compresor Copeland No. 4	15	91.8°C	Aceptable
Compresor Copeland No. 5	4	71.3°C	Aceptable
Compresor Copeland No. 6	4	54.7°C	Aceptable
Compresor Copeland No. 7	7.5	79.0°C	Aceptable
Compresor Copeland No. 8	27	42.5 °C	Aceptable

4. Mediciones de corriente y voltaje en los compresores. Los datos obtenidos al medir la corriente y voltaje de motores eléctricos de los compresores de refrigeración se presentan en los cuadros 21 al 28.

Cuadro 26. Mediciones de corriente y voltaje, compresor Copeland 1

Medición	Voltaje [V]	Corriente [A]
Fase 1-2	236.2	33.1
Fase 2-3	238.7	42.7
Fase 3-1	239	38.6
Fase 1 y tierra física	117.6	-
Fase 2 y tierra física	118.7	-
Fase 3 y tierra física	209.1	-

Cuadro 27. Mediciones de corriente y voltaje, compresor Copeland 2

Medición	Voltaje [V]	Corriente [A]
Fase 1-2	236.3	38.1
Fase 2-3	238.7	38.6
Fase 3-1	238	40.3
Fase 1 y tierra física	117.5	-
Fase 2 y tierra física	118.3	-
Fase 3 y tierra física	209.3	-

Cuadro 28. Mediciones de corriente y voltaje, compresor Copeland 3

Medición	Voltaje [V]	Corriente [A]
Fase 1-2	236.2	35.4
Fase 2-3	238.7	37.2
Fase 3-1	239.0	34.9
Fase 1 y tierra física	117.6	-
Fase 2 y tierra física	118.7	-
Fase 3 y tierra física	209.1	-

Cuadro 29. Mediciones de corriente y voltaje, compresor Copeland 4

Medición	Voltaje [V]	Corriente [A]
Fase 1-2	236.3	38.5
Fase 2-3	238.7	39.3
Fase 3-1	238.0	41.8
Fase 1 y tierra física	117.5	-
Fase 2 y tierra física	118.3	-
Fase 3 y tierra física	209.3	-

Cuadro 30. Mediciones de corriente y voltaje, compresor Copeland 5

Medición	Voltaje [V]	Corriente [A]
Fase 1-2	230.4	11.3
Fase 2-3	230.7	12.4
Fase 3-1	228.1	10.9
Fase 1 y tierra física	117.6	-
Fase 2 y tierra física	118.7	-
Fase 3 y tierra física	209.1	-

Cuadro 31. Mediciones de corriente y voltaje, compresor Copeland 6

Medición	Voltaje [V]	Corriente [A]
Fase 1-2	230.3	10.8
Fase 2-3	228.5	9.6
Fase 3-1	231.2	11.7
Fase 1 y tierra física	117.5	-
Fase 2 y tierra física	118.3	-
Fase 3 y tierra física	209.3	-

Cuadro 32. Mediciones de corriente y voltaje, compresor Copeland 7

Medición	Voltaje [V]	Corriente [A]
Fase 1-2	239.1	21.4
Fase 2-3	239.4	22.9
Fase 3-1	236.8	22.7
Fase 1 y tierra física	118.2	-
Fase 2 y tierra física	209.1	-
Fase 3 y tierra física	218.8	-

Cuadro 33. Mediciones de corriente y voltaje, compresor Copeland 8

Medición	Voltaje [V]	Corriente [A]
Fase 1-2	239.7	77.4
Fase 2-3	239.0	80.6
Fase 3-1	237.1	68.7
Fase 1 y tierra física	118.3	-
Fase 2 y tierra física	200.8	-
Fase 3 y tierra física	118.1	-

## F. CÁLCULOS PARA DETERMINAR POTENCIA APARENTE, REACTIVA Y EL FACTOR DE POTENCIA.

Para conocer la potencia aparente, potencia reactiva y el factor de potencia, se realizaron cálculos basados en las mediciones de corriente y voltaje. Se plantearon tres escenarios para la eficiencia de los motores eléctricos de los compresores y se asumió que la potencia activa de cada compresor es la potencia nominal. Para realizar los cálculos se siguió el procedimiento que se describe a continuación:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \eta \cdot \cos \varphi$$

(Ecuación 1)

Donde:

P es la potencia activa, potencia nominal del motor

U es la tensión de línea

I es la corriente absorbida por el motor

$\eta$  es la eficiencia del motor

$\cos \varphi$  es el factor de potencia

El primer parámetro que se calculó fue el factor de potencia de cada uno de los motores eléctricos, para esto se despejó el  $\cos \varphi$  de la ecuación 1. Los valores de  $P$ ,  $U$ ,  $I$  y  $\eta$  utilizados para calcular el factor de potencia varían dependiendo el escenario para el cual se realizaron los cálculos.

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \eta}$$

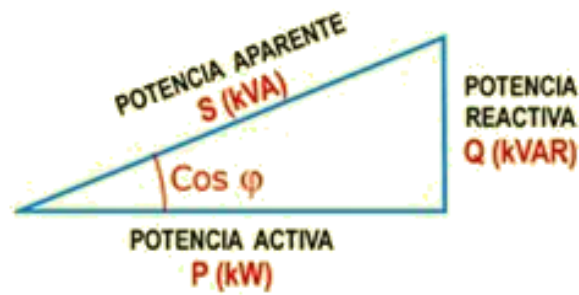
La potencia aparente se calculó utilizando la siguiente ecuación, donde se utilizó la potencia activa, la eficiencia y el factor de potencia calculado anteriormente.

$$S = \frac{P}{\eta \cdot \cos \varphi}$$

(Ecuación 2)

Con la potencia activa, aparente y el factor de potencia se pudo construir el triángulo de potencias. La potencia reactiva se calcula utilizando el teorema de Pitágoras, donde la potencia activa ( $P$ ) y potencia aparente ( $S$ ) representan el cateto adyacente y la hipotenusa, respectivamente, tal y como ilustra en la en la siguiente figura:

Figura 13. Triángulo de potencias eléctricas trifásicas



Entonces la potencia reactiva se obtuvo de la siguiente forma:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Una vez calculadas las potencias trifásicas (aparente, activa y reactiva) y el factor de potencia de cada uno de los motores, se calculó el factor de potencia total de la instalación que incluye los ocho motores eléctricos de los compresores de refrigeración. La potencia activa total se encontró sumando la potencia activa de cada compresor; lo mismo se realizó en el caso de la potencia aparente total. La potencia reactiva se calculó con el teorema de Pitágoras, como se indicó anteriormente.

Una vez calculadas las potencias trifásicas totales, se calculó el factor de potencia total de la instalación; nuevamente se hace uso del triángulo de potencias (Figura 14), el factor de potencia total está dado por

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Un factor de potencia en el rango de 0.90 a 0.98 es un valor aceptable. De lo contrario se debe corregir el factor de potencia a un valor específico en el rango del 0.90 a 0.98. Para este estudio se decidió corregir el factor de potencia a un valor de 0.95, siguiendo el siguiente procedimiento:

Como se observa en el triángulo de potencia en la Figura 13, para aumentar el factor de potencia ( $\cos \varphi$ ) se debe hacer más pequeño el ángulo  $\varphi$ , o bien, reducir la potencia reactiva, para esto, se debe instalar un banco de capacitores. La capacidad del banco de capacitores (potencia reactiva), capacitancia y corriente, se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{\text{capacitores}} = P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$C = \frac{P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \cdot 10^6}{3 \cdot U^2 \cdot \omega} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$I = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

$Q_{\text{capacitores}}$  es la potencia reactiva del banco de capacitores

C es la capacitancia de los capacitores

I es la corriente de los capacitores

$\varphi_1$  se obtiene del coseno inverso del factor de potencia actual de la instalación

$\varphi_2$  se obtiene del coseno inverso del factor de potencia deseado

P es la potencia activa

U es la tensión de la red eléctrica

$\omega$  es la frecuencia de la red eléctrica

En el siguiente cuadro se presenta el valor de  $(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$  para facilitar el cálculo de la potencia reactiva y la capacitancia del banco de capacitores. Los valores se dan en función del factor de potencia actual y el factor de potencia deseado.

Cuadro 34. Coeficiente ( $\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2$ ), en función del factor de potencia actual y deseada.

		Factor de potencia deseado												
		$\cos \varphi$	0.80	0.85	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99
Factor de potencia existente	0.55	0.768	0.899	1.034	1.063	1.092	1.123	1.156	1.190	1.227	1.268	1.315	1.376	1.518
	0.56	0.729	0.860	0.995	1.024	1.053	1.084	1.116	1.151	1.188	1.229	1.276	1.337	1.479
	0.57	0.691	0.822	0.957	0.986	1.015	1.046	1.079	1.113	1.150	1.191	1.238	1.299	1.441
	0.58	0.655	0.785	0.920	0.949	0.979	1.009	1.042	1.076	1.113	1.154	1.201	1.262	1.405
	0.59	0.618	0.749	0.884	0.913	0.942	0.973	1.006	1.040	1.077	1.118	1.165	1.226	1.368
	0.60	0.583	0.714	0.849	0.878	0.907	0.938	0.970	1.005	1.042	1.083	1.130	1.191	1.333
	0.61	0.549	0.679	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.157	1.299
	0.62	0.515	0.646	0.781	0.810	0.839	0.870	0.903	0.937	0.974	1.015	1.062	1.123	1.265
	0.63	0.483	0.613	0.748	0.777	0.807	0.837	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
	0.64	0.451	0.581	0.716	0.745	0.775	0.805	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.058	1.201
	0.65	0.419	0.549	0.685	0.714	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.919	0.966	1.027	1.169
	0.66	0.388	0.519	0.654	0.683	0.712	0.743	0.775	0.810	0.847	0.888	0.935	0.996	1.138
	0.67	0.358	0.488	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.966	1.108
	0.68	0.328	0.459	0.594	0.623	0.652	0.683	0.715	0.750	0.787	0.828	0.875	0.936	1.078
	0.69	0.299	0.429	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.907	1.049
	0.70	0.270	0.400	0.536	0.565	0.594	0.625	0.657	0.692	0.729	0.770	0.817	0.878	1.020
	0.71	0.242	0.372	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
	0.72	0.214	0.344	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
	0.73	0.186	0.316	0.452	0.481	0.510	0.541	0.573	0.608	0.645	0.686	0.733	0.794	0.936
	0.74	0.159	0.289	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.75	0.132	0.262	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882	
0.76	0.105	0.235	0.371	0.400	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.605	0.652	0.713	0.855	
0.77	0.079	0.209	0.344	0.373	0.403	0.433	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829	
0.78	0.052	0.183	0.318	0.347	0.376	0.407	0.439	0.474	0.511	0.552	0.599	0.660	0.802	
0.79	0.026	0.156	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.634	0.776	
0.80	--	0.130	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608	0.750	
0.81	--	0.104	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724	
0.82	--	0.078	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.556	0.698	
0.83	--	0.052	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.530	0.672	
0.84	--	0.026	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646	
0.85	--	--	0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620	
0.86	--	--	0.109	0.138	0.167	0.198	0.230	0.265	0.302	0.343	0.390	0.451	0.593	
0.87	--	--	0.082	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567	

1. Escenario 1. Cálculos utilizando una eficiencia de un 90%, valor menor del voltaje y corriente de alimentación.

Cuadro 35. Valores calculados para el factor de potencia, potencia activa, aparente y reactiva

Equipo	Eficiencia [ $\eta$ ]	Factor de potencia [f.d.p.]	Potencias		
			Activa [W]	Aparente [VA]	Reactiva [VAr]
Compresor 1	90%	0.92	11185.50	13541.55	7632.71
Compresor 2	90%	0.80	11185.50	15593.71	10865.00
Compresor 3	90%	0.87	11185.50	14277.95	8873.81
Compresor 4	90%	0.79	11185.50	15757.42	11098.69
Compresor 5	90%	0.77	2982.80	4306.38	3106.09
Compresor 6	90%	0.87	2982.80	3799.43	2353.41
Compresor 7	90%	0.71	5592.75	8777.20	6764.65
Compresor 8	90%	0.79	20133.90	28212.98	19763.56

Cuadro 36. Potencias trifásicas y factor de potencia totales de la instalación para los ocho compresores de refrigeración

Potencias			Factor de Potencia [f.d.p.]
Activa [W]	Aparente [VA]	Reactiva [VAr]	
76434.24	104266.62	70917.81	0.73

Cuadro 37. Requerimientos para el banco de capacitores

Descripción	Valor	Dimensiones
Potencia Reactiva	44331.86	VAr
Capacitancia	4275.84	$\mu$ F
Corriente	106.65	A

2. Escenario 2. Cálculos utilizando una eficiencia en el rango de 84% a 88%, valores del voltaje y la corriente de alimentación promedio

Cuadro 38. Valores calculados para el factor de potencia, potencia activa, aparente y reactiva

Equipo	Eficiencia [ $\eta$ ]	Factor de Potencia [f.d.p.]	Potencias		
			Activa [W]	Aparente [VA]	Reactiva [VAr]
Compresor 1	84%	0.84	11185.50	15801.09	11160.61
Compresor 2	86%	0.81	11185.50	16137.69	11632.27
Compresor 3	85%	0.89	11185.50	14848.05	9764.70
Compresor 4	88%	0.77	11185.50	16496.31	12124.88
Compresor 5	85%	0.75	2982.80	4653.15	3571.37
Compresor 6	84%	0.82	2982.80	4322.50	3128.40
Compresor 7	86%	0.70	5592.75	9234.79	7348.65
Compresor 8	84%	0.77	20133.90	31242.32	23889.52

Cuadro 39. Potencias trifásicas y factor de potencia totales de la instalación para los ocho compresores de refrigeración

Potencias			Factor de Potencia [f.d.p.]
Activa [W]	Aparente [VA]	Reactiva [VAr]	
76434.24	112735.91	82868.53	0.68

Cuadro 40. Requerimientos para el banco de capacitores

Descripción	Valor	Dimensiones
Potencia reactiva	57325.68	VAR
Capacitancia	5529.10	$\mu$ F
Corriente	137.90	A

3. Escenario 3. Cálculos utilizando una eficiencia en el rango de 76% al 83%, mayor voltaje y corriente de alimentación

Cuadro 41. Valores calculados para el factor de potencia, potencia activa, aparente y reactiva

Equipo	Eficiencia $[\eta]$	Factor de potencia [f.d.p.]	Potencias		
			Activa [W]	Aparente [VA]	Reactiva [VAr]
Compresor 1	80%	0.79	11185.50	17750.06	13782.20
Compresor 2	76%	0.88	11185.50	16752.40	12471.06
Compresor 3	82%	0.88	11185.50	15463.75	10677.65
Compresor 4	83%	0.78	11185.50	17375.93	13296.91
Compresor 5	80%	0.72	2982.80	5154.58	4203.88
Compresor 6	78%	0.79	2982.80	4863.60	3841.55
Compresor 7	82%	0.72	5592.75	9519.35	7703.19
Compresor 8	81%	0.74	20133.90	33504.79	26780.54

Cuadro 42. Potencias trifásicas y factor de potencia totales de la instalación para los ocho compresores de refrigeración

Potencias			Factor de Potencia [f.d.p.]
Activa [W]	Aparente [VA]	Reactiva [VAr]	
76434.24	120384.46	93006.59	0.63

Cuadro 43. Requerimientos para el banco de capacitores

Descripción	Valor	Dimensiones
Potencia reactiva	69096.55	VAR
Capacitancia	6664.40	$\mu$ F
Corriente	166.22	A

Para cada uno de los tres escenarios se calculó el factor de potencia de la instalación eléctrica de los compresores y se calculó los requerimientos del banco de capacitores necesario para corregir el factor de potencia a un valor de  $\cos \varphi = 0.95$ . Es importante mencionar que el procedimiento para realizar estos cálculos

se simplifica si se utiliza un analizador de redes o un equipo de medición de la calidad de la energía eléctrica, ya que a través de estos equipos se obtiene directamente las potencias eléctricas y el factor de potencia general de la instalación. Dado de que no fue posible conseguir este equipo, se decidió realizar los escenarios presentados para poder hacer una propuesta de mejora.

## G. CÁLCULOS DE MUESTRA PARA DETERMINAR SI LA POTENCIA DE LOS EQUIPOS ES ADECUADA

Para determinar si la potencia de los equipos críticos es adecuada, se calculó el trabajo y el tiempo en que deben realizar su función. Para este estudio, en el que se analizaron los compresores de refrigeración de los cuartos fríos, se calculó el calor que se debe extraer de los cuartos fríos. Se calculó la carga térmica del producto, carga térmica por transmisión, carga térmica interna, carga térmica por infiltración y carga térmica de los equipos. Dado que existen dos cuartos de refrigeración y dos cuartos de mantenimiento, en el cálculo de los cuartos de mantenimiento se omite la carga térmica del producto, ya que el producto ya se encuentra congelado y únicamente se debe mantener el producto a determinada temperatura.

1. Carga térmica del producto. Cantidad de energía a eliminar para enfriar desde la temperatura inicial hasta el punto de congelación del helado

$$Q_1 = m \cdot c_1 \cdot (T_f - T_1)$$

(Ecuación 6)

Cantidad de energía a eliminar para congelar el producto

$$Q_2 = m \cdot h_{if}$$

(Ecuación 7)

Cantidad de energía a eliminar para enfriar desde el punto de congelación hasta la temperatura final debajo del punto de congelación:

$$Q_3 = m \cdot c_2 \cdot (T_2 - T_f)$$

(Ecuación 8)

Donde:

$Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$  = cantidad de energía a eliminar, kJ

$m$  = es la masa del producto, kg

$c_1$  = es el calor específico antes del punto de congelación

$c_2$  = es el calor específico después del punto de congelación

$h_{if}$  = es el calor latente de fusión

$T_1$  = temperatura inicial de producto en estado líquido

$T_2$  = temperatura final de producto en estado sólido (congelado)

$T_f$  = es la temperatura final del producto, temperatura del cuarto frío

La capacidad de refrigeración requerida se determina a partir del tiempo en que se necesita extraer el calor del producto. La capacidad está dada por la ecuación:

$$\dot{Q}_p = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3600 \cdot n}$$

Donde:

$\dot{Q}_p$  = carga de refrigeración del producto, kW

n = tiempo de refrigeración, horas

Los valores para el calor específico se obtienen del cuadro 42, que muestra las propiedades de algunos alimentos comunes.

Cuadro 44. Propiedades de algunos alimentos comunes

Alimentos	Contenido de agua, % (masa)	Punto de congelación, °C	Calor específico, kJ/kg · K		Calor latente de fusión, kJ/kg
			Por encima del punto de congelación	Por debajo del punto de congelación	
Helado	63	-5.6	2.95	1.63	210
Mantequilla	16	—	—	1.04	53
Manzanas	84	-1.1	3.65	1.90	281
Naranjas	87	-0.8	3.75	1.94	291
Papas	78	-0.6	3.45	1.82	261
Pavo	64	—	2.98	1.65	214
Plátanos	75	-0.8	3.35	1.78	251
Queso suizo	39	-10.0	2.15	1.33	130
Salmón	64	-2.2	2.98	1.65	214
Sandía	93	-0.4	3.96	2.01	311
Tomates (maduros)	94	-0.5	3.99	2.02	314

(Cengel & Boles, 2012)

2. Carga térmica por transmisión. El calor sensible por las paredes, piso y techo se calcula en estado estable por la ecuación siguiente

$$\dot{Q}_t = U \cdot A \cdot \Delta T$$

(Ecuación 9)

Donde:

$\dot{Q}_t$  = ganancia de calor, W

A = área de la superficie, m<sup>2</sup>

$\Delta T$  = diferencia entre la temperatura del ambiente exterior y la temperatura interior, K

El coeficiente global de transferencia  $U$  de calor de la pared, el piso o el techo, puede ser calculado por la siguiente ecuación:

$$U = \frac{1}{1/h_i + x/k + 1/h_o}$$

(Ecuación 10)

Donde:

$U$  = coeficiente global de transferencia de calor

$x$  = espesor de la pared en, m

$k$  = conductividad térmica de la pared,  $W/(m^2 \cdot K)$

$h_f$  = coeficiente de convección de la superficie interna

$h_o$  = coeficiente de convección de la superficie externa

Para aire cuasiestático es usual utilizar un valor de 1.6 para  $h_f$  y  $h_i$ , y para superficies expuestas al viento a una velocidad de 25 km/h, se asume un valor de 6 para  $h_o$ . Para pared gruesa y conductividad térmica baja, el coeficiente  $x/k$  hace al coeficiente de transferencia global de calor tan pequeño que  $1/h_i$  y  $1/h_o$  sean insignificantes.

En el caso de las paredes y el techo de los cuartos fríos, que están contruidos con más de un material, el coeficiente  $x/k$  representa la resistencia compuesta de los materiales. En este caso, el coeficiente global de transferencia de calor se calcula con la siguiente ecuación:

$$U = \frac{1}{1/h_i + x_1/k_1 + x_2/k_2 + x_3/k_3 + 1/h_o}$$

(Ecuación 11)

En el Cuadro 43 se muestran algunas propiedades para algunos materiales. El piso del cuarto frío está hecho de concreto, y las paredes están compuestas por acero inoxidable separado por fibra de vidrio utilizada como aislante.

Cuadro 45. Propiedades de algunos materiales de construcción

Material	Espesor, $L$ mm	Densidad, $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica, $k$ W/m · K	Calor específico, $c_p$ kJ/kg · K	Valor $R$ (para los espesores de la lista, $L/k$ ), K · m <sup>2</sup> /W
<b>Materiales para mampostería</b>					
<i>Unidades de mampostería:</i>					
Ladrillo común		1 922	0.72	—	—
Ladrillo para fachada		2 082	1.30	—	—
Ladrillo de arcilla refractaria		2 400	1.34	—	—
		1 920	0.90	0.79	—
		1 120	0.41	—	—
<i>Concretos:</i>					
Agregados ligeros (incluyendo esquisto, arcilla o pizarra expandidos; escorias de alto horno expandidas; cenizas de alto horno; piedra pómez y escoria)		1 920	1.1	—	—
		1 600	0.79	0.84	—
		1 280	0.54	0.84	—
		960	0.33	—	—
		940	0.18	—	—
<b>Metales</b>					
Aluminio (1 100)	—	2 739	222	0.896	—
Acero dulce	—	7 833	45.3	0.502	—
Acero inoxidable	—	7 913	15.6	0.456	—
<b>Tablero y losa</b>					
Vidrio celular		136	0.055	1.0	—
Fibra de vidrio (ligamento orgánico)		64-144	0.036	0.96	—
Poliestireno expandido (bolitas moldeadas)		16	0.040	1.2	—
Poliuretano expandido ( $R$ -11 expandido)		24	0.023	1.6	—
Perlita expandida (ligamento orgánico)		16	0.052	1.26	—
Caucho expandido (rígido)		72	0.032	1.68	—
Fibra mineral con aglomerante de resina		240	0.042	0.71	—
Corcho		120	0.039	1.80	—

(Cengel & Ghajar, 2011)

3. **Carga térmica interna.** Para la carga térmica interna se calculó el calor que introducen las personas que laboran en los cuartos fríos y el calor introducido por la iluminación. El calor introducido por las personas se obtiene del Cuadro 44, en el que se muestra el calor que aporta una persona por cada hora que permanece en el espacio refrigerado en función de la temperatura del espacio refrigerado.

Cuadro 46. Calor aportado por una persona según la temperatura del espacio refrigerado

Temperatura del espacio refrigerado [°C]	Calor equivalente [kW/h]
10	0.211
5	0.243
0	0.272
-5	0.299
-10	0.334
-15	0.366
-20	0.393
-25	0.419
-30	0.451

(Puerto Castellanos, 2012)

El calor aportado por la iluminación eléctrica se calculó en función del número y tipo de luminarias (incandescentes, fluorescentes, lámparas de mercurio, etc.). Para una lámpara incandescente, el calor suministrado es igual a la potencia de la lámpara, en cambio para una lámpara fluorescente, el calor aportado es 125% la potencia de la lámpara.

4. **Carga térmica por infiltración.** La infiltración de calor por el flujo de aire hacia el cuarto frío, cuando la puerta es abierta, se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$q_t = V \cdot A \cdot (h_i - h_r) \rho_r \cdot D_t$$

(Ecuación 12)

Donde:

$q_t$  = carga media de refrigeración, kW

$v$  = velocidad promedio del aire, m/s

$A$  = área abierta, m<sup>2</sup>

$h_i$  = entalpía del aire infiltrado, kJ/kg

$h_r$  = entalpía del aire refrigerado, kJ/kg

$\rho_r$  = densidad del aire refrigerado, kg/m<sup>3</sup>

$D_t$  = porción decimal del tiempo que permanece abierta la puerta

Los valores para las entalpías se obtienen a partir de la temperatura y la humedad relativa del espacio refrigerado y del espacio exterior. Estos valores se obtienen de la carta psicométrica. Si no se conoce la velocidad del aire, ésta se puede ser estimada, según Puerto 2012, las velocidades del viento típicas para un cuarto frío por una puerta abierta se encuentran en el rango de 0.3 a 1.5 m/s.

5. **Carga térmica de los equipos.** En el cálculo de las cargas térmicas por equipos se incluyen los equipos que se encuentran dentro del espacio refrigerado, tales como: los motores eléctricos de los ventiladores, unidades de control de humedad, resistencia eléctrica para evitar formación de escarcha, etc.

En el Cuadro 45 se muestran los valores para el calor que aportan los motores eléctricos en función del tipo y potencia del motor:

Cuadro 47. Ganancia de calor por motores eléctricos usados en cuartos fríos

Motor Rated, kW	Motor Type	Nominal rpm	Full Load Motor Effi- ciency, %	Location of Motor and Driven Equipment with Respect to Conditioned Space or Airstream		
				A	B	C
				Motor in, Driven Equip- ment in, W	Motor out, Driven Equip- ment in, W	Motor in, Driven Equip- ment out, W
0.04	Shaded pole	1500	35	105	35	70
0.06	Shaded pole	1500	35	170	59	110
0.09	Shaded pole	1500	35	264	94	173
0.12	Shaded pole	1500	35	340	117	223
0.19	Split phase	1750	54	346	188	158
0.25	Split phase	1750	56	439	246	194
0.37	Split phase	1750	60	621	372	249
0.56	3-Phase	1750	72	776	557	217
0.75	3-Phase	1750	75	993	747	249
1.1	3-Phase	1750	77	1453	1119	334
1.5	3-Phase	1750	79	1887	1491	396
2.2	3-Phase	1750	81	2763	2238	525
3.7	3-Phase	1750	82	4541	3721	817
5.6	3-Phase	1750	84	6651	5596	1066
7.5	3-Phase	1750	85	8760	7178	1315
11.2	3-Phase	1750	86	13 009	11 192	1820
14.9	3-Phase	1750	87	17 140	14 913	2230
18.6	3-Phase	1750	88	21 184	18 635	2545
22.4	3-Phase	1750	89	25 110	22 370	2765
30	3-Phase	1750	89	33 401	29 885	3690
37	3-Phase	1750	89	41 900	37 210	4600
45	3-Phase	1750	89	50 395	44 829	5538
56	3-Phase	1750	90	62 115	55 962	6210
75	3-Phase	1750	90	82 918	74 719	8290
93	3-Phase	1750	90	103 430	93 172	10 342
110	3-Phase	1750	91	123 060	111 925	11 075
150	3-Phase	1750	91	163 785	149 135	14 738
190	3-Phase	1750	91	204 805	186 346	18 430

(Universidad Federal de Paraná, 2002)

1. Coeficiente de desempeño. El coeficiente de desempeño (COP por sus siglas en inglés) de un refrigerador es la medida de la eficiencia de remoción del calor de un espacio refrigerado, este es el criterio que se utilizó para evaluar si la capacidad de sistema de refrigeración es adecuada para la carga de producto.

El COP está dado por la ecuación:

$$COP = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}}$$

(Ecuación 13)

Donde:

$\dot{Q}_L$  = calor extraído del espacio refrigerado, es la suma de todas las cargas térmicas descritas anteriormente

$\dot{W}$  = potencia del compresor de refrigeración

Según la norma ANSI/AHRI Standar 1201 (I-P)-2013, el COP para refrigerar helado a una temperatura de -30°C debe ser de 1.96 y para una temperatura de -25°C debe ser de 2.23. Es decir, que el COP para los cuartos fríos endurecedores (cuarto 1 y 2) debe ser 1.96 y para los cuartos de mantenimiento (cuarto 3 y 4) debe ser de 2.23. A continuación se muestra un cuadro con el valor de los COP calculados para los cuartos fríos:

Cuadro 48. COP de los cuartos de refrigeración

Descripción	Carga de refrigeración [HP]	Capacidad instalada [HP]	COP
Cuarto 1	82.45	30	2.75
Cuarto 2	76.86	27	2.85
Cuarto 3	9.89	15.5	0.64
Cuarto 4	13.57	30	0.45

El COP de los cuartos endurecedores está por encima de COP recomendado por la norma, para reducir el COP se tiene que agregar un equipo extra de refrigeración, pero según los controles de la planta de helados y conos, no se tienen ningún problema con el producto en estos cuartos, por lo cual no es necesario reducir el COP.

## H. EVALUACIÓN ECONÓMICA

1. Implementación de variadores de frecuencia. Para aumentar el COP de los cuartos de mantenimiento se debe disminuir la potencia de los compresores de refrigeración, el cuarto 3 que es refrigerado por dos compresores de 4 HP y uno de 7.5 HP, se deben desconectar los dos compresores de 4 HP y reducir la potencia del compresor de 7.5 a 4.5 HP. En el caso del cuarto 4, se tienen dos compresores de 15 HP, para aumentar el COP se debe desconectar un compresor y reducir la potencia del otro a 6 HP. Para esto, son necesarios 2 variadores de frecuencia, uno de 7.5 HP y el otro de 15 HP. El costo promedio de los variadores de frecuencia (anexo 14) es de Q. 5,210.00 y Q. 8,570.00, para los variadores de 7.5 HP y 15 HP, respectivamente.

Para calcular el periodo del retorno de la inversión se hará uso de la siguiente ecuación (valor presente de una anualidad)

$$A = P \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

(Ecuación 14)

Donde:

A = ahorro mensual por ahorro de potencia, Q.

P = costo de la inversión, costo del variador de frecuencia, Q.

i = tasa de interés por periodo

n = es el periodo de recuperación, meses

Despejando para el periodo de recuperación, obtenemos como el periodo del retorno de la inversión:

$$n = \frac{\ln\left(\frac{A}{A - i \cdot P}\right)}{\ln(1 + i)}$$

(Ecuación 15)

2. Corrección del factor de potencia. Según la resolución de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica CNEE-53-2003 de fecha 23 de junio de 2013, el factor de potencia de una instalación eléctrica debe ser mayor o igual a 0.90, si se tiene un factor de potencia menor entonces se hará un cargo por bajo factor de potencia, dado por:

$$CFP = 0.90 - f.d.p.$$

Donde:

CFP = cargo por bajo factor de potencia

f.d.p. = factor de potencia

El artículo 51 de la Resolución CNEE No. 13-98 establece que la penalización por un bajo factor de potencia debe ser establecida entre el Distribuidor y el Usuario. Entonces, este costo dependerá del distribuidor que proporcione la energía eléctrica a la empresa.

Según información obtenida en la Central Comercializadora de Energía Eléctrica, S. A. (CCESA), ellos hacen uso de las líneas de transmisión de la Empresa Eléctrica de Guatemala, y la penalización que la CCESA hace a sus usuarios es un porcentaje aplicado al monto que ellos pagan por hacer uso de las líneas de transmisión de EEGSA.

En el caso de la Comercializadora Eléctrica de Guatemala S. A. (COMEGSA), la penalización que COMEGSA hace a sus usuarios es aplicando el valor del CFP como porcentaje al costo total de la factura eléctrica, es decir, si el f.d.p de una instalación eléctrica es de 0.85, la penalización será el 5% del costo total de la factura eléctrica.

La planta productora de helados y conos es usuario de COMEGSA, por lo que el cargo por bajo f.d.p. se realizó sobre el total de la factura eléctrica. Se hará una evaluación económica para el factor de potencia estimado en los tres escenarios, la evaluación se hará con estos datos utilizando la ecuación 15.

El costo de un banco de condensadores es de Q. 24,500.00, el ahorro mensual corresponde a la sanción aplicada por bajo factor de potencia y se utilizará una tasa de interés anual del 10%. A continuación, se presenta los cuadros 47 y 48 donde se muestran los cálculos de la penalización por bajo f.d.p. y los cálculos de periodo de recuperación de la inversión necesaria para corregir el factor de potencia.

Cuadro 49. Sanciones por bajo factor de potencia

Descripción	f.d.p.	Coto mensual promedio de la factura eléctrica [Quetzales]	Sanción por bajo f.d.p. [Quetzales]
Escenario 1	0.74	Q 113,377.16	Q 18,140.35
Escenario 2	0.68	Q 113,377.16	Q 24,942.97
Escenario 3	0.63	Q 113,377.16	Q 30,611.83

Cuadro 50. Periodo de recuperación de la inversión para corregir el factor de potencia de la instalación eléctrica

Descripción	Inversión [Quetzales]	Ahorro mensual [Quetzales]	Interés anual	Periodo de recuperación [Meses]
Escenario 1	Q24,500.00	Q18,140.35	10%	1.36
Escenario 2	Q24,500.00	Q24,942.97	10%	0.99
Escenario 3	Q24,500.00	Q30,611.83	10%	0.81

## VII. RESULTADOS

### A. MOTORES ELÉCTRICOS CRÍTICOS

Cuadro 51. Descripción de los equipos con los motores eléctricos críticos

No.	Potencia [HP]	Descripción	Código
Copeland No.1	15	Cuarto frío 1 - Endurecedor 1	CRCF1-C1
Copeland No.2	15	Cuarto frío 1 - Endurecedor 2	CRCF1-C2
Copeland No.3	15	Cuarto frío 3 - Mantenimiento 1	CRCF3-C1
Copeland No.4	15	Cuarto frío 3 - Mantenimiento 1	CRCF3-C2
Copeland No.5	4	Cuarto frío 4 - Mantenimiento 2	CRCF4-C1
Copeland No.6	4	Cuarto frío 4 - Mantenimiento 2	CRCF4-C2
Copeland No.7	7.5	Cuarto frío 4 - Mantenimiento 2	CRCF4-C3
Copeland No.8	27	Cuarto frío 2 - Endurecedor 2	CRCF2-C1

El código indica: CRCF = compresor de refrigeración del cuarto frío, C1 = número de compresor

### B. POTENCIAS TRIFÁSICAS Y FACTOR DE POTENCIA PROMEDIO

Cuadro 52. Valores promedio para la eficiencia, factor de potencia y potencias trifásicas de los compresores de refrigeración

Equipo	Potencia [HP]	Eficiencia [ $\eta$ ]	Factor de potencia [f.d.p.]	Potencias		
				Activa [W ]	Aparente [VA ]	Reactiva [VAr]
Compresor 1	15	84.7%	0.85	11185.50	15246.18	9927.32
Compresor 2	15	84.0%	0.83	11185.50	16161.26	11656.11
Compresor 3	15	85.7%	0.88	11185.50	14863.25	9772.05
Compresor 4	15	87.0%	0.78	11185.50	16543.22	12173.49
Compresor 5	4	85.0%	0.75	2982.80	4704.70	3627.12
Compresor 6	4	84.0%	0.83	2982.80	4328.51	3107.79
Compresor 7	7.5	86.0%	0.71	5592.75	9177.12	7272.16
Compresor 8	27	85.0%	0.77	20133.90	30986.70	23477.87

Cuadro 53. Potencias trifásicas y factor de potencia

Potencias			Factor de Potencia [f.d.p.]
Activa [W ]	Aparente [VA]	Reactiva [VAr]	
76434.24	112010.94	81879.54	0.68

Cuadro 54. Banco de capacitores necesario para corregir el factor de potencia

Descripción	Valor	Dimensiones
Potencia reactiva	57325.68	VAR
Capacitancia	5529.10	mF
Corriente	137.90	A
Voltaje	240.00	voltios

## C. CAÍDAS DE TENSIÓN

Cuadro 55. Caída de tensión en el tablero de distribución y en las acometidas de los compresores de refrigeración

Acometida	Caída de tensión
Tablero de distribución	1.08%
Compresor 1	1.58%
Compresor 2	1.54%
Compresor 3	1.58%
Compresor 4	0.54%
Compresor 5	4.96%
Compresor 6	4.79%
Compresor 7	1.33%
Compresor 8	1.21%

## D. CARGAS TÉRMICAS Y CAPACIDAD DE LOS CUARTOS FRÍOS

Cuadro 56. Dimensiones de los cuartos fríos

Descripción	Largo [m]	Ancho [m]	Alto [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
Cuarto endurecedor 1	5.14	3.32	3.04	51.88
Cuarto endurecedor 2	4.95	3.24	3.04	48.76
Cuarto de mantenimiento 3	4.95	5.32	3.04	80.06
Cuarto de mantenimiento 4	4.95	8.85	3.04	133.17

Cuadro 57. Carga térmica del producto

Descripción	Masa [kg]	Q1 [kJ]	Q2 [kJ]	Q3 [kJ]	Qp [KW]
Cuarto endurecedor 1	8640	244685	1814400	343630	55.62
Cuarto endurecedor 2	7920	224294	1663200	314994	50.98

Cuadro 58. Datos para el cálculo de la carga térmica por transmisión

Coeficientes de transferencia de calor		Cuartos de enfriamiento		Cuartos de mantenimiento	
U <sub>piso</sub> [W/m <sup>2</sup> *K]	U <sub>paredes</sub> [W/m <sup>2</sup> *K]	ΔT <sub>paredes</sub> [K]	ΔT <sub>piso</sub> [K]	ΔT <sub>paredes</sub> [K]	ΔT <sub>piso</sub> [K]
0.746	0.248	53.00	50	48	45

Cuadro 59. Carga térmica por trasmisión

Área piso y techo [m <sup>2</sup> ]	Área paredes 1 [K]	Área paredes 2 [K]	Q [kW]
17.06	15.63	10.09	1.54
16.04	15.05	9.85	1.46
26.33	15.05	16.17	1.94
43.81	15.05	26.90	2.99

Cuadro 60. Carga térmica interna

Descripción	Calor por personas [kW]	Calor por iluminación [kW]	Carga térmica interna [kW]
Cuarto endurecedor 1	0.90	0.075	0.98
Cuarto endurecedor 2	0.90	0.075	0.98
Cuarto de mantenimiento 3	0.84	0.075	0.91
Cuarto de mantenimiento 4	0.84	0.075	0.91

Cuadro 61. Carga térmica por infiltración

Descripción	Área de infiltración [m <sup>2</sup> ]	h <sub>i</sub> [kJ/kg]	h <sub>r</sub> [kJ/kg]	Calor por infiltración [kW]
Cuarto endurecedor 1	0.05	63.55	-29.47	1.36
Cuarto endurecedor 2	0.07	63.55	-29.47	1.91
Cuarto de mantenimiento 3	0.10	63.55	-23.04	2.54
Cuarto de mantenimiento 4	0.10	63.55	-23.04	4.23

Cuadro 62. Carga térmica de los equipos

Descripción	Carga térmica [kW]
Cuarto endurecedor 1	1.99
Cuarto endurecedor 2	1.99
Cuarto de mantenimiento 3	1.99
Cuarto de mantenimiento 4	1.99

Cuadro 63. Carga térmica total que se debe remover en cada cuarto frío

Descripción	Carga de refrigeración		Potencia de los compresores [HP]	COP
	kW	HP		
Cuarto endurecedor 1	61.48	82.45	30	2.75
Cuarto endurecedor 2	57.32	76.86	27	2.85
Cuarto de mantenimiento 3	7.38	9.89	15.5	0.64
Cuarto de mantenimiento 4	10.12	13.57	30	0.45

## E. AHORROS AL IMPLEMENTAR VARIADORES DE FRECUENCIA

Cuadro 64. Ahorro energético y económico por desconexión de equipos en los cuartos fríos de mantenimiento

Descripción	Potencia ahorrada		Energía ahorrada mensualmente [kWh]	Tarifa mensual promedio [Q/kWh]	Ahorro mensual [Q]
	HP	KW			
Cuarto 3	8	5.97	3042.46	0.97	Q 2,961.32
Cuarto 4	15	11.19	5704.60	0.97	Q 5,552.48
Total					Q 8,513.80

Cuadro 65. Ahorro energético y económico por implementación de variadores de frecuencia

Descripción	Potencia ahorrada		Energía ahorrada mensualmente [kWh]	Tarifa mensual promedio [Q/kWh]	Ahorro mensual [Quetzales]
	HP	KW			
Cuarto 3	3	2.24	1140.92	0.97	Q 1,110.50
Cuarto 4	9	6.71	3422.76	0.97	Q 3,331.49
Total					Q 4,441.98

Cuadro 66. Periodo de recuperación de la inversión en variadores de frecuencia de 15 HP y 7.5 HP

Descripción		Inversión [Quetzales]	Ahorro mensual [Quetzales]	Interés anual	Periodo de recuperación [meses]
Cuarto 3	Variador de frecuencia 7.5 HP	Q 5,210.00	Q 1,110.50	10%	4.81
Cuarto 4	Variador de frecuencia 15 HP	Q 8,570.67	Q 3,331.49	10%	2.61

## F. AHORROS POR CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.

Cuadro 67. Periodo de recuperación de la inversión para corregir el factor de potencia de la instalación eléctrica de los compresores de refrigeración.

Descripción	Factor de potencia f.d.p.	Inversión [Quetzales]	Ahorro mensual [Quetzales]	Interés anual	Periodo de recuperación [Meses]
Escenario 1	0.74	Q24,500.00	Q18,140.35	10%	1.36
Escenario 2	0.68	Q24,500.00	Q24,942.97	10%	0.99
Escenario 3	0.63	Q24,500.00	Q30,611.83	10%	0.81

Nota: la inversión corresponde al costo de un banco de capacitores, el ahorro mensual corresponde a la sanción impuesta por bajo factor de potencia y el periodo de recuperación fue evaluado con la ecuación 15.

## VIII. DISCUSIÓN

El objetivo del estudio es evaluar la eficiencia energética y las instalaciones eléctricas de los principales motores eléctricos de una planta productora de helados y conos, el estudio está dirigido a los motores eléctricos críticos de la planta y busca identificar puntos de mejora para evaluar el impacto económico que tendrá su implementación.

En el Cuadro 51 se muestran los motores eléctricos críticos, estos motores pertenecen a los compresores de refrigeración de los cuartos fríos. Al ser clasificados como críticos se infiere que son los motores que consume más energía eléctrica y que son una parte importante en el proceso; si los cuartos fríos no operan correctamente no habrá donde almacenar el producto en las condiciones necesarias para conservarlo y garantizar su calidad.

Al analizar los resultados del Cuadro 52, donde se muestran el promedio de los tres escenarios supuestos para estimar los valores de las potencias trifásicas, eficiencia y factor de potencia; se puede observar que el motor eléctrico con un mayor factor de potencia es el compresor 3, el valor estimado es de 0.88 con una eficiencia de 85.7%; mientras que el compresor 7 tiene una eficiencia mayor (86%), pero el factor de potencia estimado es de 0.71; esto se debe a la diferencia en porcentaje entre la potencia aparente y la potencia activa; esta diferencia es mayor para el compresor 7 y menor para el compresor 3, lo que ocasiona que la potencia reactiva aumente y el factor de potencia disminuya. Para que el factor de potencia aumente se debe reducir la potencia reactiva, que es lo mismo que hacer que la potencia aparente sea cercana a la potencia activa, si estas son iguales el factor de potencia sería el ideal. En el Cuadro 52 se muestra los resultados estimados del cálculo de la instalación eléctrica de los 8 compresores, en este caso la potencia aparente es 1.47 veces la potencia activa, lo que ocasiona que la potencia reactiva se eleve y sea mayor que la potencia aparente, esto tiene como consecuencia un bajo factor de potencia. Se hicieron los cálculos para un banco de condensadores que corrija el factor de potencia de 0.68 a 0.95, los resultados se muestran en el Cuadro 53; con esta información se puede inferir que, para los valores estimados del factor de potencia y potencias trifásicas, se necesita un banco de condensadores de 60 kVAr, lo que provocará ahorros energéticos y económicos discutidos más adelante.

En el Cuadro 55 se observa que los valores de la caída de tensión en el tablero de distribución y las acometidas de los compresores se encuentran en el rango de 0.54 a 4.96%, valores de caídas de tensión normales; esto se debe a una buena selección de los conductores para las acometidas.

Los resultados de las cargas térmicas y capacidad estimadas para los cuartos fríos se muestran en los cuadros 57 a 62, al sumar las cargas se encontró la carga térmica total y conociendo la potencia de los compresores, se estimó el coeficiente de desempeño de los cuartos fríos, valores mostrados en el Cuadro 63. Al analizar estos valores, es evidente notar que la carga térmica de los cuartos fríos endurecedores (cuartos 1 y 2) es hasta 6 veces la carga térmica de los cuartos fríos de mantenimiento (cuartos 3 y 4); mientras que la potencia de entrada de los compresores de refrigeración de los cuartos fríos 1 y 4 es de 30 HP, del cuarto frío 2 es de 27 HP y del

cuarto frío 3 es de 15.5 HP. Los COP de los cuartos fríos endurecedores 1 y 2 son de 2.75 y 2.85; los COP de los cuartos fríos de mantenimiento 3 y 4 son de 0.64 y 0.45. Los COP de los cuartos fríos endurecedores 1 y 2 se encuentran por encima de lo recomendado la norma ANSI/AHRI Standar 1201 (I-P)-2013, la cual indica un COP de 1.96. En cambio los COP de los cuartos de mantenimiento 3 y 4 son bajos, ya que la norma recomienda un COP de 2.23. El bajo COP de los cuartos fríos de mantenimiento se debe a que la carga térmica es baja, dado que estos cuartos no tienen que remover la carga térmica del producto; la cual representa alrededor del 90% de la carga térmica de los cuartos endurecedores. El producto pasa de los cuartos fríos endurecedores, que está a una temperatura de  $-30^{\circ}\text{C}$ , a los cuartos de mantenimiento encargados de mantener la temperatura del producto a  $-25^{\circ}\text{C}$ .

Al analizar los COP estimados para los cuartos fríos de mantenimiento 3 y 4, se puede inferir que la potencia de entrada del ciclo de refrigeración, potencia de los compresores, está sobredimensionada y por lo tanto se debe reducir para aumentar el coeficiente de desempeño. Un COP bajo ocasiona gastos innecesarios, es decir, si se reduce la potencia de entrada se reducirá el costo de la factura de energía eléctrica. Los resultados de los ahorros energéticos y económicos se muestran en el Cuadro 64, se determinó que se deben desconectar los dos compresores de 4 HP del cuarto frío de mantenimiento 3 y desconectar uno de los compresores de 15 HP de cuarto frío de mantenimiento 4; se estimó un ahorro de energía 4563.68 kWh lo que representa un ahorro económico de Q. 8,513.80.

Con los resultados de los cuadros 65 y 66, donde se muestran los ahorros estimados al implementar variadores de frecuencia, se infiere que la implementación de variadores de frecuencia es viable y se necesita un variador de 7.5 HP con un costo de Q. 5,210.00 para el cuarto frío 3, este reducirá la potencia del compresor de 7.5 HP a 4.5 HP; para el cuarto frío 4 se necesita un variador de frecuencia de 15 HP con un costo de Q. 8,570.67 para reducir la potencia del compresor de 15 HP a 6 HP; se estima que implementar lo anterior provoca un ahorro de Q. 1,110.50 y Q. 3,331.49, para los cuartos fríos 3 y 4, respectivamente. Los periodos de recuperación estimados son: para el variador de 7.5 HP será de 5 meses, en tanto que el periodo de recuperación para el variador de 15 HP será de 3 meses.

Por último, al analizar la inversión necesaria para corregir el valor estimado del factor de potencia, se determinó implementar un banco de condensadores de 60 kVAr que tiene un costo de Q. 24,500.00; este banco de condensadores tiene la capacidad para corregir el factor de potencia en los tres escenarios supuestos. En el Cuadro 67, donde se muestran los resultados de los cálculos para los tres escenarios, se observa que en el escenario con el factor de potencia de 0.74 el periodo del retorno de la inversión estimado es de 2 meses, y en los otros dos escenarios con factor de potencia menor, se estima que la inversión se recupera en un mes. Por lo tanto se infiere, que con los escenarios estimados, la inversión para corregir el factor de potencia es necesaria ya los periodos de retorno son cortos y después se tendrán ahorros significativos en la facturación de la energía eléctrica.

## IX. CONCLUSIONES

- A. Los motores eléctricos críticos son los motores de los compresores de refrigeración, estos representan un alto consumo de energía llegando a consumir en promedio el 18.5% de la energía usada en la planta, están en constante operación, implican costos de mantenimiento elevados y tienen una influencia directa en la producción.
- B. El factor de potencia para cada compresor se estimó en función de la eficiencia energética de cada motor eléctrico, se plantearon tres escenarios para encontrar las potencias trifásicas y el factor de potencias de cada compresor; se evaluó el factor de potencia haciendo un promedio de los valores estimados en los tres escenarios. Los factores de potencia se encuentran en el rango de 0.71 a 0.88, siendo el más bajo el factor de potencia para el compresor de 7.5 HP y el factor de potencia más alto corresponde al compresor 3 de 15 HP del cuarto de mantenimiento no. 1.
- C. La capacidad de los compresores de refrigeración es adecuada, ya que se estimó un COP para los cuartos fríos 1 y 2 de 2.75 y 2.85, respectivamente, lo cual indica que por cada kW de potencia suministrada se extraen 2.75 y 2.85 kW de calor. En el caso de los compresores de los cuartos fríos 3 y 4, el COP es menor a la unidad, lo que indica un sobredimensionamiento.
- D. Las caídas de tensión en la acometida que va hasta el tablero principal de distribución es de 1.08% lo cual es una caída de tensión insignificante. En las acometidas de la instalación eléctrica de los compresores también se tienen caídas de tensión que se consideran normales, el valor de la máxima caída de tensión es de 5.96% y la mínima es de 0.54%.
- E. La implementación de variadores de frecuencia es viable para los cuartos fríos 3 y 4, se requieren dos variadores de frecuencia, un variador de 7.5 HP con un costo de Q. 5,200.00 y otro variador de 15 HP con un costo de Q. 8,570.67, los periodos de recuperación son de 5 y 3 meses, respectivamente.
- F. Además de implementar variadores de frecuencia, para aumentar el COP de los cuartos fríos 3 y 4, de 0.64 a 2.20 y de 0.65 a 2.25, respectivamente; se deben desconectar dos compresores de 4 HP y un compresor de 15 HP, con lo cual se estima un ahorro de Q. 8,513.80 mensuales.
- G. Se estimó un factor de potencia promedio de 0.68, lo cual está por debajo del valor permisible que es 0.90. La penalización por bajo factor de potencia se estimó de Q. 24,942.97; para corregirlo a un valor de 0.95 se necesita un banco de condensadores de 60 KVA, de tres etapas y 240 voltios con una inversión inicial de Q. 24,500.00, inversión que se recupera en un mes.

## X. RECOMENDACIONES

- A. Se recomienda utilizar este trabajo como bases para futuros estudios, dado que en el mismo se estimaron algunos datos como la eficiencia y potencia activa de los motores eléctricos, entre otros, debido a que se requiere un equipo de medición de la calidad de la energía eléctrica para obtener los parámetros energéticos reales de cada motor eléctrico y de la instalación eléctrica en general.
  
- B. Para las mediciones de temperatura, hacer uso de una cámara termográfica ya que con este equipo se puede tomar temperaturas sobre un área o sobre un equipo, gracias a esto brinda un mapa de calor para evaluar el funcionamiento del equipo, evaluar infiltraciones de calor en los cuartos fríos, etc.
  
- C. Realizar un estudio especializado en las cargas térmicas de los cuartos fríos para evaluar el coeficiente de desempeño, ya que, si este es bajo y es necesario elevarlo, se pueden ahorrar cantidades significativas de energía eléctrica si se suministra la potencia necesaria para remover la carga de calor de los cuartos fríos y obtener un COP mayor a 2.

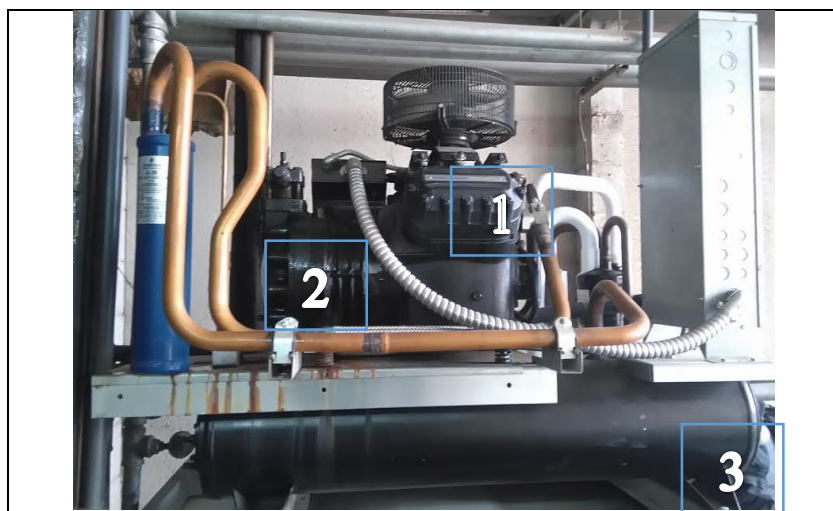
## XI. BIBLIOGRAFÍA

- ASHRAE. 2012. *Psicrometría*. [https://procesosbio.wikispaces.com/file/view/carta%20psicometrica.pdf/350357460/carta %20psicometrica.pdf](https://procesosbio.wikispaces.com/file/view/carta%20psicometrica.pdf/350357460/carta%20psicometrica.pdf) [Recuperado el 22 de marzo de 2017]
- Bolaños, R. M. 2015. <<Helados Rich combina tradición e innovación>>. *Prensa Libre* [Guatemala] 20 de abril, pág. 32, <http://www.prensalibre.com/economia/helados-rich-combina-tradicion-e-innovacion> [Recuperado el 18 de abril de 2017]
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. 2012. *Termodinámica*. Traducida por V. Gonzáles, & S. Sarmiento. 7a. ed. México DF: Mc Graw Hill. 1041 pag.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de Calor y Masa*. Traducida por E. J. Herbán D'orneville. 4ta. ed. México DF: Mc Graw Hill. 945 pág.
- CNEE. 2010. *Ahorro de energía eléctrica mediante motores eléctricos de inducción de alta eficiencia.*, [http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/004%20M%C3%B3dulo%20IV%20\(AEE%20Motores%20de%20Inducci%C3%B3n\).pdf](http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/004%20M%C3%B3dulo%20IV%20(AEE%20Motores%20de%20Inducci%C3%B3n).pdf) [Recuperado el 24 de mayo de 2016]
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica. 1998. *Resolución CNEE No.-13-98*. [http://www.cnee.gob.gt/pdf/resoluciones /1998/13-98.pdf](http://www.cnee.gob.gt/pdf/resoluciones/1998/13-98.pdf) [Recuperado el 27 de abril de 2017]
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica. 2013. *Resolución CNEE-53-2003*. [http://www.cnee.gob.gt/pdf/resoluciones /2003/53-2003.pdf](http://www.cnee.gob.gt/pdf/resoluciones/2003/53-2003.pdf) [Recuperado el 27 de abril de 2017]
- HARI. 2013. *Standar for performance rating of commercial refrigerated display merchandisers and storage cabinets*. [http://www.ahrinet.org/App\\_Content/ahri/files/STANDARDS/ANSI/ANSI\\_AHRI\\_Standard\\_1201\\_SI\\_2013.pdf](http://www.ahrinet.org/App_Content/ahri/files/STANDARDS/ANSI/ANSI_AHRI_Standard_1201_SI_2013.pdf) [Recuperado el 5 de mayo de 2017]
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. 2015. Atlas climatológico. [http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS\\_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas\\_Clima.htm](http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Clima.htm) [Recuperado el 24 de abril de 2017]
- Lamich, M. 2005. *Filtros activos de potencia*. [http://www.jcee.upc.es/JCEE2006/pdf\\_ponencias/PDFs/JCEE06\\_09\\_11\\_T1.pdf](http://www.jcee.upc.es/JCEE2006/pdf_ponencias/PDFs/JCEE06_09_11_T1.pdf) [Recuperado el 22 de octubre de 2016]
- Millán, J. A. 2016. *Departamento de máquinas y motores térmicos*. [http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj /CartaPsy.htm#](http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/CartaPsy.htm#) [Recuperado el 25 de Abril de 2017]

- Puerto Castellanos, E. A. 2012. *Guía técnica para el diseño de cuartos fríos*. Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. [https://efrainpuerto.files.wordpress.com/2012/02/puerto\\_efrain\\_guia\\_tecnica\\_para\\_el\\_disec3b1o\\_de\\_cuartos\\_fríos.pdf](https://efrainpuerto.files.wordpress.com/2012/02/puerto_efrain_guia_tecnica_para_el_disec3b1o_de_cuartos_fríos.pdf) [Recuperado el 25 de 03 de 2017]
- Quispe Oqueña, E. 2003. Una visión integral para el uso racional de la energía en la aplicación de motores eléctricos de inducción. *El hombre y la máquina*, 0121-0777(20-21), págs. 52-59. Recuperado el 18 de noviembre de 2016, de <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=47812406007>
- R., J., Vázquez, J. L., Flores, P. S., & Litrán, S. P. 2006. *Diseño de filtros pasivos, activos e híbridos para la compensación armónicos*. [http://www.aedie.org/9CHLIE-paper-send/380\\_VAZQUEZ.pdf](http://www.aedie.org/9CHLIE-paper-send/380_VAZQUEZ.pdf) [Recuperado el 24 de octubre de 2016]
- Rich. 2016. *Helados y Conos Rich*. <http://heladosrich.com/> [Recuperado el 26 de abril de 2017]
- Rios, C. 2005. *Análisis de armónicos en sistemas eléctricos*. [http://www.utp.edu.co/~planeamiento/prod\\_aca/articulos/Analisis\\_Armonicos.pdf](http://www.utp.edu.co/~planeamiento/prod_aca/articulos/Analisis_Armonicos.pdf) [Recuperado el 27 de octubre de 2016]
- Rodríguez Rivas, J. J., Robles García, J., & Reyez Trujillo, E. 2010. Aplicación de un filtro activo de corriente para mejorar la calida de la energía en un sistema eléctrico industrial. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, XI(4), 389-402. Recuperado el 22 de octubre de 2016, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40419188003>
- Tejada, A. &. 2010. *Efectos de las armónicas en los sistemas eléctricos*. <http://www.mty.itesm.mx/decic/deptos/ie/profesores/allamas/cursos/ueee/armonicas/07Efectarm.PDF> [Recuperado el 27 de octubre de 2016]
- Universidad Federal de Paraná. 2002. *Refrigeration load*. [http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM140/PROJETO\\_REFRIGERACAO/Material%20de%20estudo/REFRIGERATION%20LOAD\\_R02\\_12S1.pdf](http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM140/PROJETO_REFRIGERACAO/Material%20de%20estudo/REFRIGERATION%20LOAD_R02_12S1.pdf) [Recuperado el 11 de 04 de 2017]
- WEG. 2012. *Selección y aplicacion de variadores de velocidad*. <http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-seleccion-y-aplicacion-de-variadores-de-velocidad-articulo-tecnico-espanol.pdf> [Recuperado el 12 de 04 de 2017]

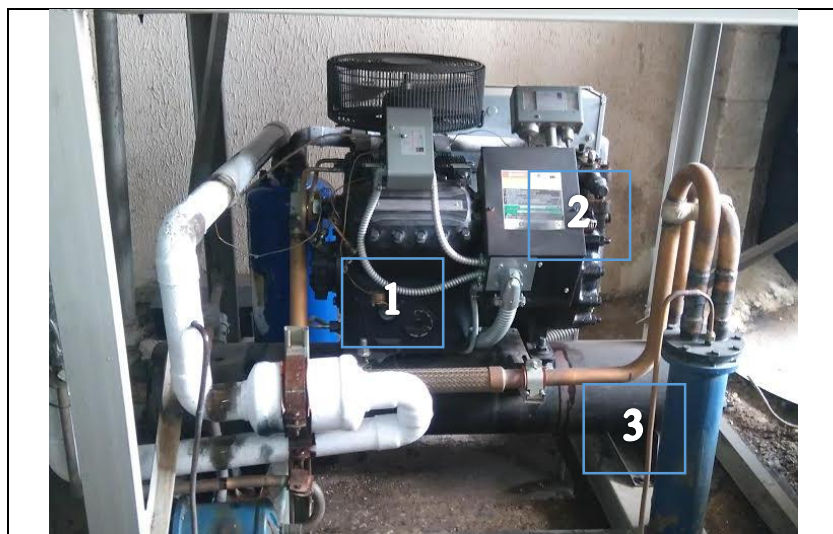
## XII. ANEXOS

Anexo 1. Evaluación de temperaturas del compresor Copeland No. 1



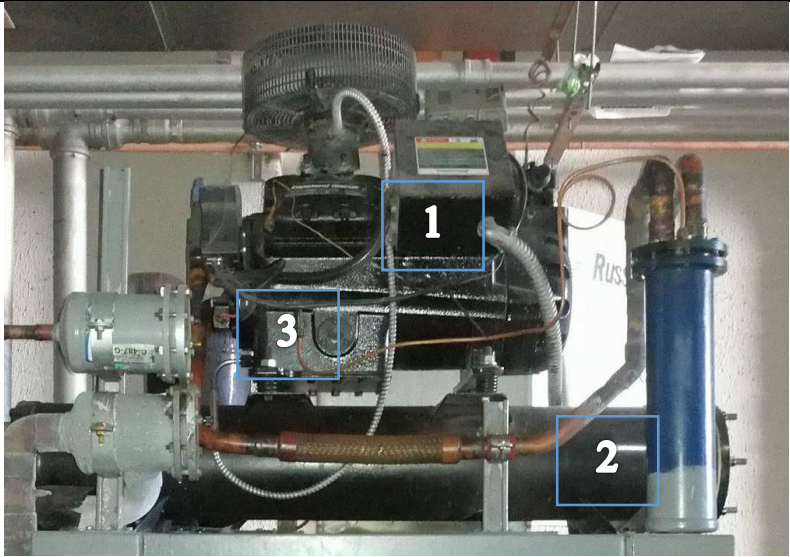
No. de compresor	1
Descripción	Compresor Copeland 15 HP
Temperatura 1	76.9°C
Temperatura 2	49.5°C
Temperatura 3	75.5°C
Estatus	Aceptable

Anexo 2. Evaluación de temperaturas del compresor Copeland No. 2



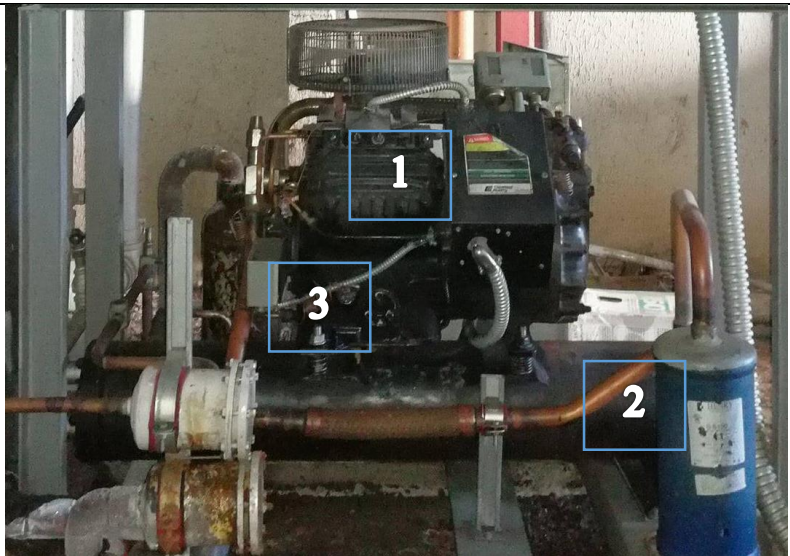
No. de compresor	2
Descripción	Compresor Copeland 15 HP
Temperatura 1	79.1°C
Temperatura 2	44.6°C
Temperatura 3	31.3°C
Estatus	Aceptable

Anexo 3. Evaluación de temperaturas del compresor Copeland No. 3



No. de compresor	3
Descripción	Compresor Copeland 15 HP
Temperatura 1	30.6°C
Temperatura 2	89.3°C
Temperatura 3	45.8°C
Estatus	Requiere atención

Anexo 4. Evaluación de temperaturas del compresor Copeland No. 4



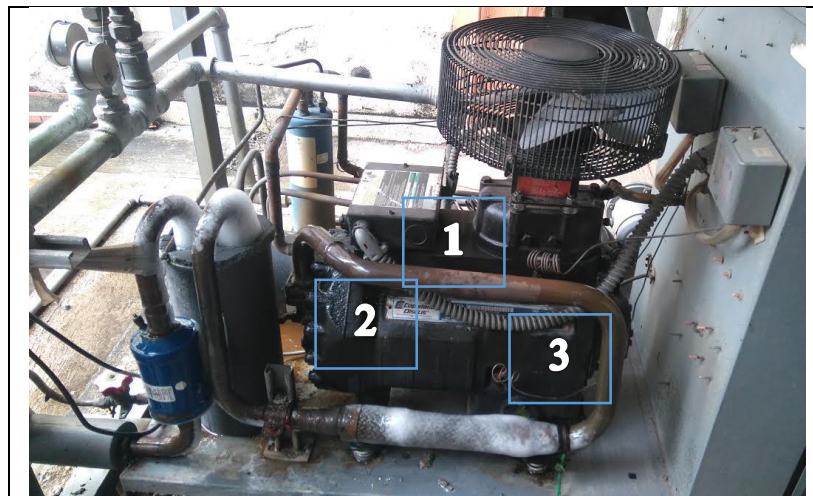
No. de compresor	4
Descripción	Compresor Copeland 15 HP
Temperatura 1	47.6°C
Temperatura 2	91.8°C
Temperatura 3	35.7°C
Estatus	Requiere atención

Anexo 5. Evaluación de temperaturas del compresor Copeland No. 5



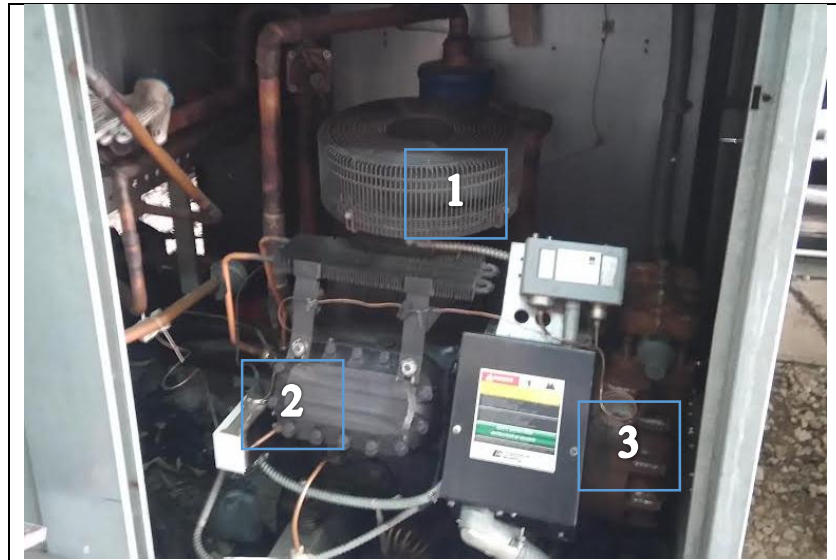
No. de compresor	5
Descripción	Compresor Copeland 4 HP
Temperatura 1	71.3°C
Temperatura 2	33.9°C
Temperatura 3	21.4°C
Estatus	Aceptable

Anexo 6. Evaluación de temperaturas del compresor Copeland No. 6



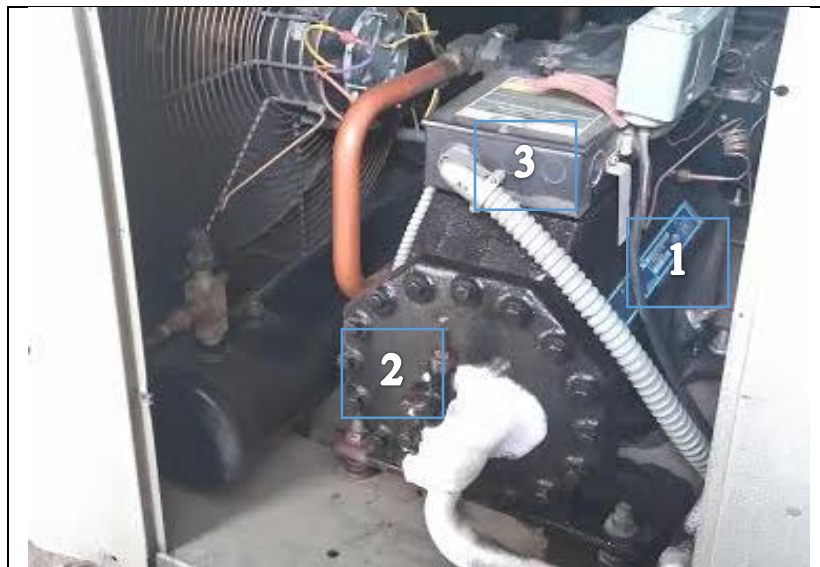
No. de compresor	6
Descripción	Compresor Copeland 4 HP
Temperatura 1	54.7°C
Temperatura 2	38.4°C
Temperatura 3	25.1°C
Estatus	Aceptable

## Anexo 7. Evaluación de temperaturas del compresor Copeland No. 7



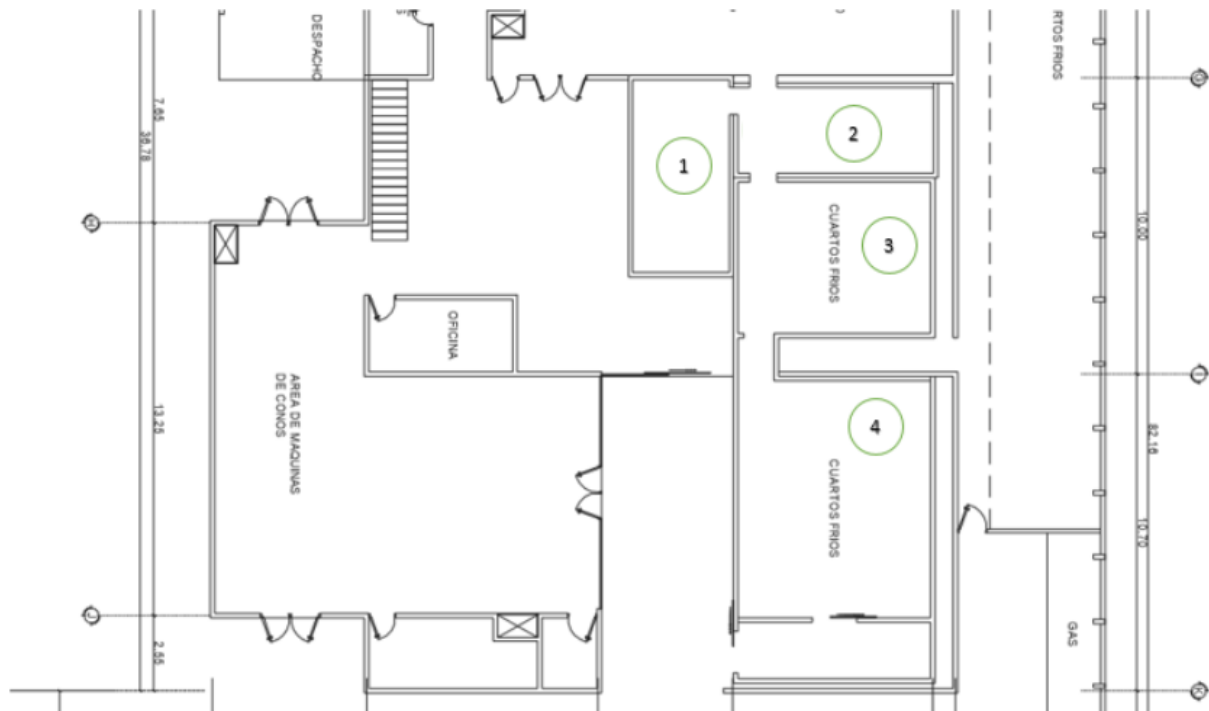
No. de compresor	7
Descripción	Compresor Copeland 7.5 HP
Temperatura 1	79.0°C
Temperatura 2	41.6°C
Temperatura 3	30.3°C
Estatus	Aceptable

## Anexo 8. Evaluación de temperaturas del compresor Copeland No. 8



No. de compresor	8
Descripción	Compresor Copeland 27 HP
Temperatura 1	42.5°C
Temperatura 2	30.6°C
Temperatura 3	23.5°C
Estatus	Aceptable

Anexo 9. Plano cuartos fríos, numeración de los cuartos



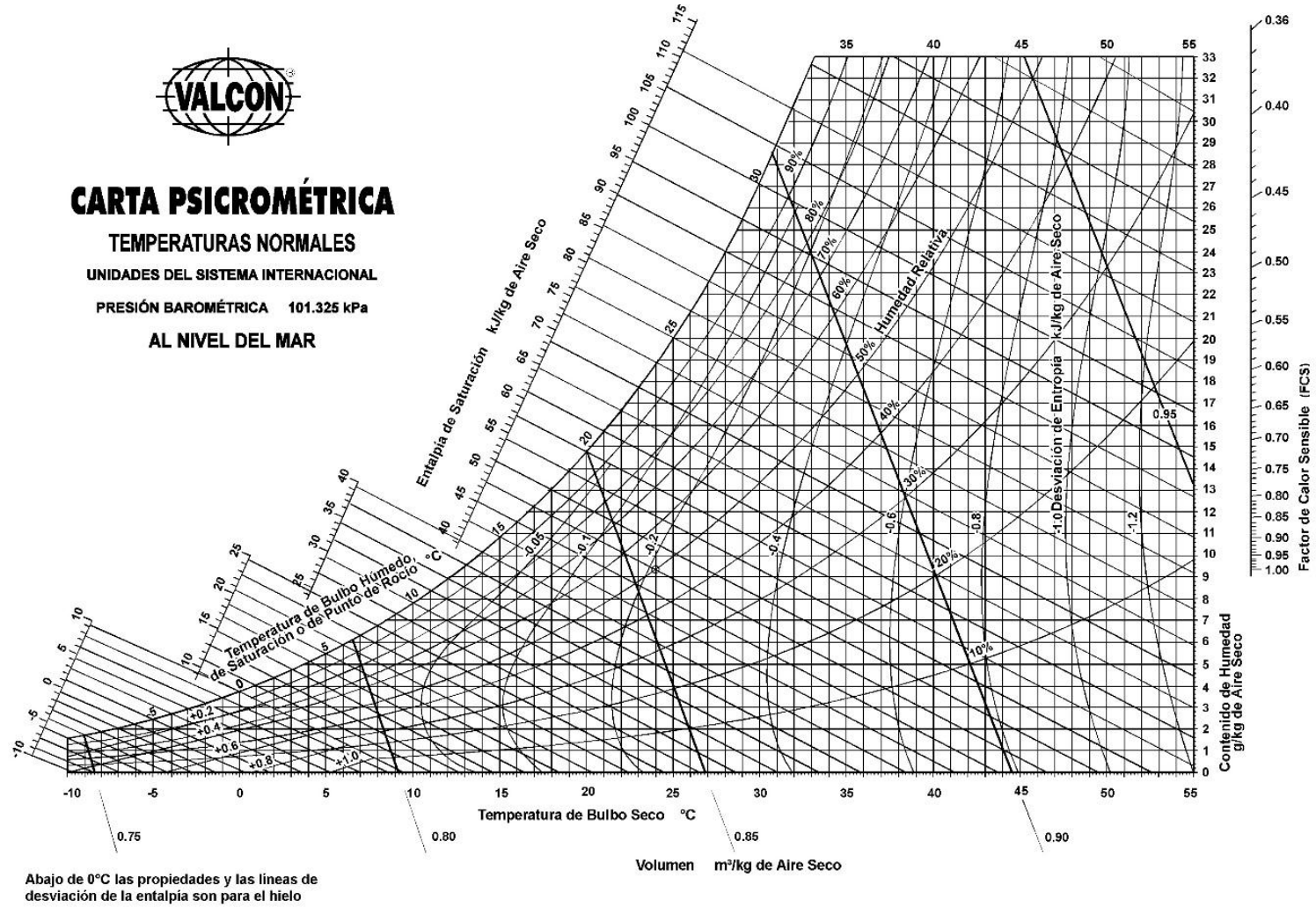
Cuadro 68. Identificación de los cuartos fríos en la planta

No.	Nombre
1	Cuarto endurecedor No.1
2	Cuarto endurecedor No.2
3	Cuarto mantenimiento No.1
4	Cuarto mantenimiento No. 2





Anexo 12. Carta psicrométrica a la presión de 1 atmosfera



(ASHRAE, 2012)

Anexo 13. Coeficiente de Desempeño para espacios refrigerados de almacenamiento de productos congelados en función de la temperatura del punto de rocío

Medium Temperature		Low Temperature / Ice Cream	
Adjusted Dew Point	COP	Adjusted Dew Point	COP
°C		°C	
-18	2.69	-39	1.55
-17	2.76	-38	1.59
-16	2.83	-37	1.64
-15	2.89	-36	1.68
-14	2.98	-35	1.73
-13	3.06	-34	1.77
-12	3.15	-33	1.82
-11	3.25	-32	1.86
-10	3.34	-31	1.91
-9	3.44	-30	1.96
-8	3.55	-29	2.01
-7	3.65	-28	2.06
-6	3.78	-27	2.12
-5	3.89	-26	2.17
-4	4.01	-25	2.23
-3	4.13	-24	2.28
-2	4.27	-23	2.34
-1	4.41	-22	2.40
0	4.56	-21	2.46
1	4.71	-20	2.52
2	4.86	-19	2.58

Note:

1. COP values at Medium and Low Temperature/Ice Cream Applications are based on a typical reciprocating compressor.
2. Linear interpolation shall be used to calculate COP values for temperatures not shown in Table 1.

(HARI, 2013)

## Anexo 14. Cotización para variadores de frecuencia

 <b>GRUPO SIASA</b> Grupo en Soluciones de Ingeniería y Automatización, S.A.	<b>GRUPO EN SOLUCIONES DE INGENIERÍA          Y AUTOMATIZACIÓN, S.A.</b> 8 Calle 17-31, Zona 15, El Maestro II, Guatemala PBX: (502) 2218-9393																																																		
	<b>COTIZACIÓN No. KL20170511</b>		DÍA    MES    AÑO Guatemala, 17    5    2017																																																
Cliente: <b>David López</b>																																																			
Dirección: Ciudad	Vendedor	KL																																																	
Atención:																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Cant</th> <th>Descripción</th> <th>P/Unidad</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>VARIADOR DE FRECUENCIA 5HP 230V 3F ABB</td> <td>Q 4,250.00</td> <td>Q 4,250.00</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>VFD 240V 5HP MICRO INVERTER MITSUBISHI</td> <td>Q 3,600.00</td> <td>Q 3,600.00</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>VARIADOR DE FRECUENCIA 7.5HP 230V 3F ABB</td> <td>Q 5,715.00</td> <td>Q 5,715.00</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>VARIADOR DE FRECUENCIA 7.5HP 240V 3F DELTA</td> <td>Q 4,850.00</td> <td>Q 4,850.00</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>VFD 240V 7.5HP MICRO INVERTER MITSUBISHI</td> <td>Q 5,065.00</td> <td>Q 5,065.00</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>VARIADOR DE FRECUENCIA 15HP 230V 3F ABB</td> <td>Q 9,475.00</td> <td>Q 9,475.00</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>VARIADOR DE FRECUENCIA 15HP 240V 3F DELTA</td> <td>Q 7,965.00</td> <td>Q 7,965.00</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>VFD 240V 15HP MICRO INVERTER MITSUBISHI</td> <td>Q 8,272.00</td> <td>Q 8,272.00</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>VARIADOR DE FRECUENCIA 30HP 240V 3F DELTA</td> <td>Q 15,900.00</td> <td>Q 15,900.00</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>Subtotal</td> <td>Q 65,092.00</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td><b>TOTAL</b></td> <td><b>Q 65,092.00</b></td> </tr> </tbody> </table>				Cant	Descripción	P/Unidad	Total	1	VARIADOR DE FRECUENCIA 5HP 230V 3F ABB	Q 4,250.00	Q 4,250.00	1	VFD 240V 5HP MICRO INVERTER MITSUBISHI	Q 3,600.00	Q 3,600.00	1	VARIADOR DE FRECUENCIA 7.5HP 230V 3F ABB	Q 5,715.00	Q 5,715.00	1	VARIADOR DE FRECUENCIA 7.5HP 240V 3F DELTA	Q 4,850.00	Q 4,850.00	1	VFD 240V 7.5HP MICRO INVERTER MITSUBISHI	Q 5,065.00	Q 5,065.00	1	VARIADOR DE FRECUENCIA 15HP 230V 3F ABB	Q 9,475.00	Q 9,475.00	1	VARIADOR DE FRECUENCIA 15HP 240V 3F DELTA	Q 7,965.00	Q 7,965.00	1	VFD 240V 15HP MICRO INVERTER MITSUBISHI	Q 8,272.00	Q 8,272.00	1	VARIADOR DE FRECUENCIA 30HP 240V 3F DELTA	Q 15,900.00	Q 15,900.00			Subtotal	Q 65,092.00			<b>TOTAL</b>	<b>Q 65,092.00</b>
Cant	Descripción	P/Unidad	Total																																																
1	VARIADOR DE FRECUENCIA 5HP 230V 3F ABB	Q 4,250.00	Q 4,250.00																																																
1	VFD 240V 5HP MICRO INVERTER MITSUBISHI	Q 3,600.00	Q 3,600.00																																																
1	VARIADOR DE FRECUENCIA 7.5HP 230V 3F ABB	Q 5,715.00	Q 5,715.00																																																
1	VARIADOR DE FRECUENCIA 7.5HP 240V 3F DELTA	Q 4,850.00	Q 4,850.00																																																
1	VFD 240V 7.5HP MICRO INVERTER MITSUBISHI	Q 5,065.00	Q 5,065.00																																																
1	VARIADOR DE FRECUENCIA 15HP 230V 3F ABB	Q 9,475.00	Q 9,475.00																																																
1	VARIADOR DE FRECUENCIA 15HP 240V 3F DELTA	Q 7,965.00	Q 7,965.00																																																
1	VFD 240V 15HP MICRO INVERTER MITSUBISHI	Q 8,272.00	Q 8,272.00																																																
1	VARIADOR DE FRECUENCIA 30HP 240V 3F DELTA	Q 15,900.00	Q 15,900.00																																																
		Subtotal	Q 65,092.00																																																
		<b>TOTAL</b>	<b>Q 65,092.00</b>																																																
NOTAS: Variador marca DELTA 5HP-Variador marca ABB y Mitsubishi de 30HP solamente para importación.																																																			
<b>TERMINOS DE NEGOCIACIÓN</b>																																																			
Validez de Oferta: <b>1 semana</b>	Se otorga crédito de 30 días a partir de la tercera compra, previa solicitud y análisis																																																		
Tiempo de entrega: <b>Inmediata salvo venta previa</b>																																																			
Forma de pago: <b>Contado</b>																																																			

Ing. Keila López  
 Ejecutiva de Ventas  
 Cel. 5464-6412  
 klopez@gruposiasagt.com

\* Se aceptan tarjetas de crédito



**ABB**  
 www.gruposiasagt.com

**BALDOR**

## Anexo 15. Cotización banco de capacitores de 60 KVAR 240 voltios y 3 etapas.

 <b>GRUPO SIASA</b> Grupo en Soluciones de Ingeniería y Automatización, S.A.		<b>GRUPO EN SOLUCIONES DE INGENIERÍA Y AUTOMATIZACIÓN, S.A.</b> 8 Calle 17-31, Zona 15, El Maestro II, Guatemala PBX: (502) 2218-9393		
COTIZACIÓN No. <b>KL20170512</b>		DÍA	MES	AÑO
		Guatemala, 18	5	2017
Cliente:	<b>DAVID LÓPEZ</b>			
Dirección:	CIUDAD	Vendedor	KL	
Atención:				
Cant	Descripción	P/Unidad	Total	
1	Banco de Capacitores de 60KVAR 8 PASOS 240VAC con las siguientes características: * Breaker Principal 225Amp. Schneider * Sistema de Barras de 225Amp. * Capacitores acorde a etapas EPCOS o CIRCUTOR * Controlador Automatico de 8 Etapas CIRCUTOR * Proteccion de Potencia y Control de equipos Reactivos * Sistema de Proteccion * Gabinete estructural autosoportable IP55 * Proteccion de Control * Puesta en marcha de Sistema.	Q 24,500.00	Q	24,500.00
			Subtotal	Q 24,500.00
			<b>TOTAL</b>	<b>Q 24,500.00</b>
NOTAS:				
<b>TERMINOS DE NEGOCIACIÓN</b>				
Validez de Oferta:	<b>1 semana</b>	Se otorga crédito de 30 días a partir de la tercera compra, previa solicitud y análisis		
Tiempo de entrega:	<b>1 semana</b>			
Forma de pago:	<b>A convenir</b>			

Ing. Keila López  
 Ejecutiva de Ventas  
 Cel. 5464-6412  
 klopez@gruposiasagt.com

\* Se aceptan tarjetas de crédito



**ABB**  
 www.gruposiasagt.com

**BALDOR**