



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



**“METODOLOGÍA DE ESTUDIO DEL DIAGRAMA
DE CARGA PARA EL MEJORAMIENTO DEL
FACTOR DE POTENCIA DE LA PLANTA
FRIGORIFICA DE LA CORPORACIÓN HAYDUK
S.A.”**

Tesis para Optar el Título de Ingeniero en Energía :

AUTORES:

**Bach. Calderón Villanueva José Jesús
Bach. Medina Quezada Edwin Wilfredo**

ASESOR:

Mg. Robert Fabian Guevara Chinchayan



**NUEVO CHIMBOTE - AGOSTO
DEL 2015**

Fecha de Ingreso: _____

Firma _____



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL EN ENERGIA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

La presente Tesis ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el título profesional en la universidad nacional del santa (R: D: N° 471-2002-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente:

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN
ENERGIA**

**Título: "METODOLOGÍA DE ESTUDIO DEL DIAGRAMA DE CARGA
PARA EL MEJORAMIENTO DEL FACTOR DE POTENCIA DE LA
PLANTA FRIGORÍFICA DE LA CORPORACIÓN HAYDUK S.A."**

TESISTAS:

Bach. Calderón Villanueva Jose Jesús

Bach. Medina Quezada Edwin Wilfredo

.....
Mg. Robert Guevara Chinchayan

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL EN ENERGIA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR DE TESIS

Damos la conformidad del presente Informe, desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y presentado conforme al Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.N° 471-2002-CU-R-UNS); intitulado:

TESIS PARA OBTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGIA

Título: "METODOLOGÍA DE ESTUDIO DEL DIAGRAMA DE CARGA PARA EL MEJORAMIENTO DEL FACTOR DE POTENCIA DE LA PLANTA FRIGORÍFICA DE LA CORPORACIÓN HAYDUK S.A."

TESISTAS:

Bach. Calderón Villanueva Jose Jesús

Bach. Medina Quezada Edwin Wilfredo

Revisado y Evaluado por el siguiente Jurado Evaluador:


.....
Mg. Amancio Rojas Flores
Presidente


.....
Mg. Robert Guevara Chinchayan
Secretario


.....
MSc. Christian Puján Farroñay
Integrante

DEDICATORIA: JOSE CALDERON VILLANUEVA

*A nuestros queridos Padres por el amor y cariño
de todos los días y su
ejemplo en dedicación y trabajo.*

*A Dios por su apoyo infinito y por ser nuestro guía
En nuestra carrera y por ser la luz en nuestra vida.*

DEDICATORIA: EDWIN MEDINA QUEZADA

*A nuestros queridos Padres por el esfuerzo
Cariño, dedicación de todos los días y su
Afán de siempre querer lo mejor para nosotros.*

*A Dios por su apoyo infinito y por ser nuestro guía
En nuestra carrera y por ser la luz en nuestra vida.*

RECONOCIMIENTO

**A nuestros colegas y amigos
Que me acompañaron
Durante mi estancia en la Escuela de
Energía
Por su compañerismo y amistad.**

**A los Profesores de la
EAP de Ingeniería en Energía
Y a mí Asesor Mg Robert Guevara
A los docentes Mg Amancio Rojas e Ing. Julio Escate
Por el apoyo desinteresado
Y sus enseñanzas durante
Nuestra vida universitaria.**

JOSE VILLANUEVA

RECONOCIMIENTO

A nuestros colegas y amigos
De la EAP de Ingeniería en Energía
Siempre los recordare por esos
Gratos momentos de camaradería y
Estudio.

A los Profesores de la
EAP de Ingeniería en Energía
Y a mí Asesor Mg Robert Guevara
A los miembros del jurado
Por el apoyo desinteresado
Y sus enseñanzas durante
Nuestra vida universitaria.

EDWIN MEDINA

INDICE

INDICE

RESUMEN

ABSTRACT

CAPITULO I: INTRODUCCION	1
1.1 Realidad Problemática	2
1.2 Antecedentes	3
1.3 Descripción del lugar donde se ha realizado el estudio	6
1.4 Justificación	10
1.5 Hipótesis	11
1.6 Objetivos	11
CAPITULO II: MARCO TEORICO	12
2.1 Fundamentos de circuitos resistivos	13
2.2 Compensación reactiva inductiva	24
2.3 Componentes de un sistema de compensación reactiva	39
2.4 Operación de un Banco de Condensadores	49
2.5 Efectos de la compensación reactiva	59
2.6 Aspectos de la Compensación Reactiva en el Perú	64
2.7 Control de la Demanda Eléctrica	66
2.8 Rentabilidad Económica	75
CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS	78
3.1 Materiales	79
3.2 Método de Investigación	85
3.3 Metodología de Calculo	87

CAPITULO IV: CALCULOS Y DISCUSION DE RESULTADOS	89
4.1 Determinación de la carga reactiva a compensar	90
4.2 Estimación del número de escalones del sistema de compensación	111
4.3 Caracterización del Banco de Condensadores	119
4.4 Caracterización de las cargas capacitivas individuales	127
4.5 Evaluación económica	130
4.6 Discusión de resultados	132
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	137
Conclusiones	138
Recomendaciones	140
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	141
ANEXOS	146

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1 Vista interior de la cámara de conservación	8
Figura N° 2 Sala de Compresores de Túnel de Congelamiento	9
Figura N° 3 Forma fasorial de cargas lineales	13
Figura N° 4 Forma fasorial de cargas no lineales	14
Figura N° 5 Diagrama fasorial de un circuito resistivo	15
Figura N° 6 Diagrama de onda de tension y corriente en fase	15
Figura N° 7 Diagrama fasorial de un circuito inductivo	16
Figura N° 8 Diagrama de onda de corriente en atraso con respecto a la Tensión	16
Figura N° 9 Diagrama fasorial de un circuito capacitivo	16
Figura N° 10 Diagrama de onda de corriente en adelanto 90° con respecto a la tensión	17
Figura N°11 Triangulo de Potencia	21
Figura N°12 Medicion del $\cos\phi$ en un circuito de una sola fase	22
Figura N°13 Diagrama electrico de conexión.	23
Figura N°14 Efectos sobre la corriente nominal con un bajo factor de potencia	25
Figura N°15 Perdidas en cables	28
Figura N°16 Perdida del sistema en funcion de la carga	29
Figura N°17 Caída de tension en los transformadores	30
Figura N°18 Comportamiento de la Potencia en motores asíncronos	32
Figura N°19 Compensacion Directa en bornes del motor	32
Figura N°20 Compensacion reactiva	37
Figura N° 21 Compensación individual	38
Figura N° 21-A Compensación en grupo	39
Figura N° 22 Campo electroestático entre dos placas del capacitor	40
Figura N° 23 Circuito para corriente monofásica y trifásica	42
Figura N° 24 Partes de un Condensador	44
Figura N° 25 Conexión estrella a tierra con neutro sólidamente conectado	45
Figura N° 26 Conexión estrella con neutro flotante con protección	45

Figura N° 27 Conexión delta para motores en baja y media tensión	46
Figura N° 28 Contactores compactos para banco de condensadores	46
Figura N° 29 Relé de control automático de condensadores	47
Figura N° 30 Seccionador bajo carga	48
Figura N° 31 Fusible NH de seguridad	49
Figura N° 32 Diagrama esquemático de un banco de condensadores Automático	50
Figura N° 33 Circuito Resonancia serie	60
Figura N° 34 Circuito Resonancia paralelo	61
Figura N° 35 Comportamiento de armónicos	62
Figura N° 36 La onda deformada compuesta por la superposición de una fundamental a 60 Hz y armónicas menores de tercer y quinto orden	63
Figura N° 37 Diagrama de Carga de una Universidad	67
Figura N° 38 Diagrama de duración de Carga de una Universidad	68
Figura N° 39 Diagrama de Carga Típico MT2/BT2	69
Figura N° 40 Diagrama de Carga Típico MT3/BT3	70
Figura N° 41 Diagrama de Carga Típico MT4/BT4	71
Figura N° 42 Diagrama de Carga Activa/Reactiva	72
Figura N° 43 Diagrama P vs h del Ciclo Termodinámico Ideal de Refrigeración por Compresión de Vapor	73
Figura N° 44 Distribución de Equipos Planta de Congelado.	74
Figura N° 45 Diagrama de Carga Térmico	75
Figura N° 46 Circuito e3	80
Figura N° 47 Cosfímetro PCE-UT232	81
Figura N° 48 Diagrama de Carga de Verano Cámara Frigorífica a Máxima	81
Figura N° 49 Diagrama de Carga de Invierno Cámara Frigorífica a Máxima producción.	82
Figura N° 50 Diagrama de Carga de Verano Cámara Frigorífica a Mínima producción	82
Figura N° 51 Diagrama de Carga de Invierno Cámara Frigorífica a mínima Producción	83

Figura N° 52 Diagrama de Carga de Verano Tunel de congelamiento a Máxima producción.	83
Figura N° 48 Diagrama de Carga de Invierno Cámara Frigorífica a Máxima producción.	84
Figura N° 53 Diagrama de Carga de Verano Cámara Frigorífica a Mínima Producción	84
Figura N° 54 Diagrama de Carga de Invierno Cámara Frigorífica a Mínima producción.	85
Figura N° 55 Diagrama de Carga de Verano Cámara Frigorífica a Máxima demanda.	91
Figura N° 56 Diagrama de Carga de Verano Cámara Frigorífica a Mínima Demanda	94
Figura N° 57 Diagrama de Carga de Invierno Cámara Frigorífica a Máxima Demanda	96
Figura N° 58 Diagrama de Carga de Invierno Cámara Frigorífica a Mínima demanda.	99
Figura N° 59 Diagrama de Carga de Verano Túnel de Congelamiento- Máxima demanda	101
Figura N° 60 Diagrama de Carga de Verano Túnel de Congelamiento Mínima Demanda	104
Figura N° 61 Diagrama de Carga de Invierno Cámara Frigorífica a Máxima Demanda	107
Figura N° 62 Diagrama de Carga de Invierno Túnel de congelamiento Mínima demanda	109

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1 Plantas conformantes de la Empresa Hayduk S.A.	7
Cuadro N° 2: Especificaciones de Consumo de Energía en Planta de Frio-Cámaras Frigoríficas	8
Cuadro N° 3: Especificaciones de Consumo de Energía en Planta de Frio-Túnel de Congelamiento	10

Cuadro N° 4 Potencia Reactiva a instalar en motores asíncronos	33
Cuadro N° 5 Factores de Potencia típicos	36
Cuadro N° 6 Ejemplo de determinación de Capacidad de compensación mediante catálogos	57
Cuadro N° 7 Factor K para compensación reactiva	58
Cuadro N° 8 Datos Técnicos de Circuitos e3	79
Cuadro N°9 Comportamiento de la carga eléctrica Estación de verano-máxima Demanda	91
Cuadro N°10 Potencias para Unidades 1 y 2 de Cámaras Frigoríficas Estación de verano-máxima demanda	92
Cuadro N°11 Comportamiento de la carga eléctrica Estación de verano-mínima Demanda	93
Cuadro N°12 Potencias para Unidades 1 de la Cámaras Frigorífica Estación de verano-mínima demanda	95
Cuadro N°13 Comportamiento de la carga eléctrica Estación de invierno-máxima Demanda	96
Cuadro N°14 Potencias para Unidades 1 y 2 de la Cámaras Frigorífica Estación de invierno-máxima demanda	97
Cuadro N°15 Comportamiento de la carga eléctrica Estación de invierno-mínima Demanda	98
Cuadro N°16 Potencias para Unidad 1 de la Cámara Frigorífica Estación de invierno-mínima demanda	100
Cuadro N°17 Comportamiento de la carga eléctrica Estación de verano-máxima Demanda	101
Cuadro N°18 Potencias para Unidades 1 y 2 de Cámaras Frigoríficas Estación de verano-máxima demanda	102
Cuadro N°19 Comportamiento de la carga eléctrica Estación de verano-mínima Demanda	103
Cuadro N°20 Potencias para Unidades del Túnel de Congelamiento Estación de verano-mínima demanda	105
Cuadro N°21 Comportamiento de la carga eléctrica Estación de invierno-máxima Demanda	106
Cuadro N°22 Potencias para Unidades 1,2 y 3 del Túnel de congelamiento Estación de invierno-máxima demanda	108
Cuadro N°23 Comportamiento de la carga eléctrica Estación de invierno-mínima	

Demanda	109
Cuadro N°24 Potencias para Unidades del Túnel de congelamiento Estación de invierno - mínima demanda	110
Cuadro N° 25 Escalonamientos para Carga de Verano Cámara Frigorífica a Máxima Producción	111
Cuadro N° 26 Escalonamiento para Carga de Verano Cámara Frigorífica a Mínima Producción	112
Cuadro N° 27 Escalonamiento para Carga de Invierno Cámara Frigorífica a Máxima producción.	113
Cuadro N° 28 Escalonamiento para Carga de Invierno Cámara Frigorífica a Mínima producción.	114
Cuadro N° 29 Resumen Escalonamiento de Condensadores Cámara Frigorífica	114
Cuadro N° 30 Escalonamientos para Carga de Verano Túnel de Congelamiento a Máxima producción	115
Cuadro N° 31 Escalonamiento para Carga de Verano Túnel de Congelamiento a Mínima producción.	116
Cuadro N° 32 Escalonamiento para Carga de Invierno Túnel de Congelamiento a Máxima producción.	117
Cuadro N° 33 Escalonamiento para Carga de Invierno Túnel de Congelamiento a Mínima producción	118
Cuadro N° 34 Resumen Escalonamiento de Condensadores Túnel de Congelamiento	118
Cuadro N° 35 Resumen de Componentes Banco de Condensadores –Cámara de Conservación	124
Cuadro N° 36 Resumen de Componentes Banco de Condensadores –Túnel de Congelamiento	127
Cuadro N° 37 Resumen de Motores para instalar compensación individual –Cámara de Conservación	127
Cuadro N° 38 Resumen de Motores para instalar compensación individual – Túnel de congelamiento	127
Cuadro N° 40 Resumen de Compensación individual	129
Cuadro N° 41 Resumen gastos por facturación de energía eléctrica	130
Cuadro N° 42 Indicadores de Rentabilidad	131
Cuadro N° 43 Resumen de cumplimiento de meta	136

LISTA DE GRAFICOS

Grafico N° 1 Comportamiento del Factor de Potencia por Unidades y Estación del año	134
Grafico N° 2 Comportamiento del Factor de Potencia para Cámara Frigorífica	135
Grafico N° 3 Comportamiento del Factor de Potencia para el Túnel de Congelamiento	136

RESUMEN

El presente informe de tesis trata acerca de la aplicación de la metodología del diagrama de carga para determinar el sistema de compensación reactiva para la Planta Frigorífica de la Empresa Hayduk S.A , la cual consta de una Cámara Frigorífica con 2 unidades y un Túnel de Congelamiento con 3 unidades , en donde los motores eléctricos de los compresores son los equipos con mayor demanda eléctrica.

Al aplicarse la metodología del diagrama de carga se realiza un análisis del sistema teniendo en cuenta las estaciones (verano e invierno) y las condiciones de máxima y mínima demanda para la Cámara Frigorífica y el Túnel de Congelamiento, cada uno de ellos con una particularidad en su operación diaria.

Se tiene inicialmente un Factor de Potencia para toda la planta frigorífica de 0.8716 , con lo cual se factura anualmente U\$ 11,831.00 en función a la normativa eléctrica peruana ,la cual fija como limite el valor de un factor de potencia igual o mayor a 0.9567 , para evitar la penalidad por energía reactiva inductiva.

Se dimensionan 02 bancos de condensadores grupales , uno para cada área (cámara Frigorífica y Túnel de congelamiento respectivamente , con capacidades de 220 y 210 KVAR , así como también se instalarán 14 condensadores individuales para los motores eléctricos de los compresores de tornillo.

Se consigue mejorar el factor de potencia a un valor de 0.9598, superándose el valor meta con un periodo de recuperación de la inversión de 1 año y 9 meses.

PALABRA CLAVE: Diagrama de Carga/ Compensación Reactiva .

ABSTRACT

This thesis report deals with the application of the methodology to determine load diagram reactive compensation system for the Meat Plant Company Hayduk SA, which consists of a cold room with 2 units and Freezing Tunnel 3 units, where the electric motors of the compressors are the teams with the highest electricity demand.

The methodology applied load diagram a system analysis taking into account the seasons (summer and winter) and the conditions of maximum and minimum demand for cold storage and freezing tunnel, each with a particularity and they are made in its daily operation.

Initially has a power factor for the whole refrigeration plant 0.8716, which is an annual turnover of US \$ 11831.00 according to Peruvian electricity regulations, which set as limit value of a power factor equal to or greater than 0.9567, to prevent inductive reactive energy penalty.

02 banks of capacitors group, one for each area (refrigerator and freezing tunnel respectively, with capacities of 220 and 210 KVAR, as well as 14 individual capacitors are also installed for electric motors are sized screw compressors.

It is possible to improve the power factor to a value of 0.9598, exceeding the target value with a period of payback of 1 year and 9 months.

KEYWORD: Diagram Load / Reactive Compensation.

CAPITULO I:
INTRODUCCION

1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA

La mayor parte de las cargas y equipos de un sistema eléctrico industrial por ejemplo, motores , subtableros , líneas y transformadores son de naturaleza inductiva, por lo tanto, operan con un factor de potencia bajo (menor a lo estipulado por la Resolución N° 206-2013-OS/CD); cuando el sistema opera con un factor de potencia bajo requiere un flujo adicional de potencia reactiva, presentándose una reducción de la capacidad, un incremento de pérdidas y caída de tensión en el sistema.

En la actualidad se hace mucho más frecuente la necesidad de utilizar compensadores de potencia reactiva del tipo inductiva (en atraso) en sistemas industriales debido a la diversidad de cargas existentes.

En las Plantas frigoríficas cuyo comportamiento se basa en los Ciclos de refrigeración por compresión de vapor , se tienen grandes motores eléctricos trifásicos que accionan a los compresores de tornillo de capacidad variable , así como medianos motores eléctricos para el accionamiento de ventiladores dentro de los evaporadores y en los condensadores evaporativos, bombas de agua de enfriamiento y para la recirculación de amoníaco. Algunas cargas típicas que requieren compensación son los motores eléctricos de los compresores, siendo estos últimos los más representativos consumidores de potencia reactiva en una Planta Frigorífica puesto que al energizar un motor de gran capacidad este requiere una alta potencia reactiva para poder funcionar, estas cargas no lineales son las más perjudiciales puesto que son cargas del tipo inductivo y como consecuencia consumen gran cantidad de potencia reactiva para su funcionamiento, ocasionando un bajo factor de potencia, así como una caída de tensión en las líneas del sistema, lo cual se refleja en pérdidas monetarias considerables para la Empresa Hayduk S.A , la cual es la muestra de estudio en este informe de tesis.

El operar con bajo factor de potencia en la instalación eléctrica, además del impacto que puede tener en la factura eléctrica, tiene otras implicaciones de igual o mayor importancia, particularmente, en relación con la capacidad de los equipos de transformación y distribución de la energía eléctrica y con el uso eficiente de las máquinas y aparatos que funcionan con electricidad.

En la actualidad las empresas industriales se han visto en la necesidad de mejorar el factor de potencia para reducir su facturación mensual por el consumo de energía eléctrica y también poder brindar una mejor calidad posible en sus productos.

Los altos consumos de energía eléctrica, conllevan a un gasto fijo mensual y anual, lo cual no puede dejarse de lado debido a la importancia del uso de la energía en la empresa, y la necesidad de aplicar tecnologías eficientes en el uso de la energía eléctrica en lo referente al consumo que permita a la empresa que puedan minimizar su facturación mensual de energía eléctrica, esto nos permite formular el siguiente problema:

Para esto formulamos el siguiente problema:

¿EN CUANTO MEJORARA EL FACTOR DE POTENCIA, MEDIANTE LA METODOLOGIA DE ESTUDIO DEL DIAGRAMA DE CARGA DE LA PLANTA FRIGORIFICA DE LA CORPORACION HAYDUK S.A.?

1.2 ANTECEDENTES:

Se tienen los siguientes estudios que sirven como antecedente al presente informe de tesis:

ALIAGA BAUTISTA, Ruby (2,008) en su tesis para optar el título de Ingeniero Electricista en la Universidad nacional de Ingeniería del Perú , concluye lo siguiente:

Para la evaluación de las cargas eléctricas, se ha realizado un análisis de los diagramas de carga eléctrica en diversas empresas, enmarcadas en diferentes rubro. Los diagramas de carga responden a necesidades particulares de cada actividad. Pero operan en forma desordenada y sin planificación en materia de ahorro de energía, generalmente por falta de conocimiento, o un correcto asesoramiento en política de cultura del ahorro. Un parámetro muy importante a controlar es la máxima demanda, el mal control de éste influye notablemente en la facturación. Para administrar y controlar de manera adecuada, la máxima demanda debemos de reducir los picos, desplazar la carga de hora punta a fuera de punta, la carga consumida debe ser constante, los picos de preferencia no deben darse durante las horas punta, se debe tener un crecimiento ordenado y planificada de la carga.

GÓMEZ MORALES, Enrique (2009) en su tesis para optar el Título de Ingeniero Electricista Adolfo López Mateos de México, concluye lo siguiente: Al realizar la compensación de potencia reactiva se logra corregir el factor de potencia lo cual conlleva a un ahorro mensual que en este caso para la empresa que se analizó corresponde al 8.9 % de ahorro en la factura de consumo de energía.

Por lo que resulta sumamente económico, puesto que su amortización resulta en un mediano plazo en este caso de 6 meses y seguirá produciendo ahorros económicos durante su funcionamiento. Por lo expuesto anteriormente es posible decir que en un sistema eléctrico no compensado seguramente está pagando o pagará los recargos de hasta un 20% de su facturación por consumo de energía eléctrica, en el informe se analizó la factura eléctrica de una compañía en el cual se aprecia que se obtiene un ahorro de \$ 23747.44 pesos lo cual corresponde al 9 % de ahorro mensualmente, por lo tanto el costo total de la compensación con respecto a la instalación de la misma es despreciable puesto que el lapso de recuperación es muy corto siendo este de 6 meses en el ejemplo realizado.

LOPEZ PAIS, Gerardo (2011) , en su tesis para optar el título de Ingeniero mecánico Electricista de la Universidad San Carlos de Guatemala , concluye lo siguiente :

Utilizar un variador de frecuencia con un filtro de armónicas con una inductancia de 690 μ H ayuda a que el factor de potencia mejore de 0.735 a 0.92, provocando un ahorro energético en la instalación. Un ahorro anual del 7.40% se obtendrá evitando las penalizaciones mensuales al corregir el factor de potencia de 0.82 a 0.95. La conexión en estrella con neutro sólidamente conectado a tierra fue utilizada debido a que esta conexión tiene la ventaja de proveer el conductor neutro, el cual tiene la función de eliminar cualquier desbalance en las fases debido a fallas o cambios repentinos de corrientes. Al corregir el factor de potencia disminuyen las corrientes que circulan por los conductores, al mismo tiempo disminuyen las pérdidas por Efecto Joule, que al final, se traducen en un ahorro anual de 0.75% del total de la factura.

LLUIQUINGA LOYA, Fredy (2012) , en su tesis para optar el Grado de Ingeniero Eléctrico de la Universidad Salesiana de Ecuador , concluye lo siguiente : En el

presente proyecto de un banco de condensadores para la corrección del factor de potencia eléctrica de la BANCHISFOOD SA Compañía está diseñado a través de un análisis técnico y económico; y se realiza la selección del tipo de banco para ser utilizado de acuerdo a las características eléctricas de la empresa.

Los conceptos básicos de los principales parámetros eléctricos: potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia; que sirven para entender mejor las ventajas que se obtienen al realizar la corrección del factor de potencia, se muestran. También se determinan los beneficios técnicos y económicos de tener un factor de potencia eléctrica mayor que 0,92. Se obtienen los datos eléctricos de las partes y las áreas que componen la empresa, a través del analizador de carga; Además, se analizan las facturas de electricidad y se utilizan para el diseño económico y técnico del banco condensadores. La recogida de datos de carga del sistema eléctrico también se realiza, y los diagramas eléctricos de la planta se llevan a cabo y se utilizan para determinar la ubicación estratégica del banco de condensadores.

ORTIZ DIAZ, Arturo (2010) en su tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico Electricista de la Universidad Veracruzana de México concluye lo siguiente: Los beneficios en el ahorro de energía son económicos y ambientales. Los beneficios económicos se logran en la reducción de costos en el pago de la energía, en el mantenimiento de instalaciones. Y los beneficios ambientales se logran al que consumir menos energía eléctrica, se consume menos combustibles fósiles.

PERNIA MARQUEZ, Daniel (2003), en su tesis para optar el título de Ingeniero Electricista de la Universidad de Mérida de Venezuela concluye lo siguiente: Uno de los factores que afecta mayormente al funcionamiento del banco de condensadores debido a la alta sensibilidad de sus componentes es el rango de temperaturas a la cual se ve sometido diariamente. Debe prestarse atención a la temperatura de servicio ,porque tiene una gran influencia sobre la vida del condensador. Tomando en cuenta el resultado arrojado por el análisis de costos y beneficio de la propuesta de mejoras en lo referente a la compensación reactiva se observa una recuperación de la inversión, al décimo cuarto mes de operación del sistema.

SANTACRUZ CRUZ, Hugo (2,010) en su tesis para optar el título de ingeniero en Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Ecuador , resume lo siguiente : Cuando el consumidor industrial procura corregir el bajo factor de potencia que generan sus equipos, se beneficia de las ventajas que estas compensaciones conllevan, pudiéndose distinguir las siguientes ventajas: Disminución de pérdidas, Reducción de las caídas de tensión, Reducción de la sección de los conductores, Aumento de la potencia disponible en la instalación y Se evita penalizaciones económicas por bajo factor de potencia. La compensación de energía reactiva se genera por medio de la implementación de bancos de condensadores, sean fijos o automáticos, ya que de esta manera se está disminuyendo o aliviando el consumo de energía reactiva transportada por las líneas de MT, además al generar energía reactiva se reduce significativamente la intensidad de la corriente que circula por los conductores lo cual produce los beneficios indicados anteriormente. La penalización por bajo factor potencia, se ha mantenido presente en todos los pliegos tarifarios; y, en el pliego actual no podía ser la excepción, estableciéndose que el factor de potencia medio mensual no puede ser inferior a 0,92.

1.3 DESCRIPCION DEL LUGAR DONDE SE HA REALIZADO EL ESTUDIO.

a. DATOS MARCO :

Razón Social	: Empresa HAYDUK S.A-Planta Coishco
Dirección	: Av. La Marina bs/n Caleta de Coishco.
Teléfono	: Central 043-290310 / 043-290309
RUC	: 20136165667

La Empresa Hayduk S.A es una compañía industrial líder en operaciones de producción de harina, aceite, conservas y congelado de pescado en el Perú y con un mercado de exportación representando el 18% del volumen total de Producción en el Perú. La Empresa cuenta con seis plantas ubicadas estratégicamente a lo largo de toda la franja costera nacional, lo que le permite maximizar la frescura de los productos, reduciendo el tiempo de traslado desde la embarcación. Invierte constantemente en equipamiento con tecnología de punta, y en la capacitación del

personal sobre las últimas tendencias del mercado, gracias a esto podemos garantizar las operaciones más seguras, eficientes y profesionales del medio, así como la más alta calidad. Las plantas cuentan con el respaldo de las certificaciones de calidad HACCP, GMP+B2, GMP+B3, IFFO-RS, FOS (Friend of the Sea) y SQF 2000. Asimismo, cada una de las plantas desarrolla sus actividades siguiendo estrictas normas de protección al medio ambiente. La distribución industrial es la siguiente:

Cuadro N° 1 Vista exterior de la Empresa Hayduk S.A

PLANTA	UNIDAD 1	UNIDAD 2	UNIDAD 3
Maiabrigo	HARINA DE PESCADO		
Vegueta	HARINA DE PESCADO		
Coishco	HARINA DE PESCADO	CONGELADOS	CONSERVAS
Tambo de Mora	HARINA DE PESCADO		
Paita	HARINA DE PESCADO	CONGELADOS	
Ilo	HARINA DE PESCADO	CONGELADOS	

Fuente: Área de Producción.

La línea de productos congelados es una de las más diversificadas del país, se tienen tres plantas ubicadas de manera estratégica a lo largo del litoral (Paita, Coishco e Ilo) procesan jurel, caballa, merluza, perico, anchoveta, pota y calamar en diferentes presentaciones así mismo se comercializa tanto dentro como fuera del país bajo nuestras marcas Hayduk y Campomar que son reconocidas por su alta calidad, su gran sabor, y por su aporte a la nutrición y salud.

b. PROCESO PRODUCTIVO DE LA PLANTE DE CONGELADOS

• **CAMARAS FRIGORIFICAS:**

Una cámara de refrigeración es un recinto aislado térmicamente dentro del cual se contiene materia para extraer su energía térmica. Esta extracción de energía se realiza por medio de un sistema de refrigeración. Su principal aplicación es en la conservación de alimentos o productos químicos.

En la termodinámica clásica se la puede considerar como un sistema cerrado, debido a que la materia contenida en ella no entra en contacto con el exterior, mas no así su

energía propia. Para esto en el interior de la cámara se ubica uno o más evaporadores de refrigerante (generalmente de tiro forzado, bien sea para evaporadores de expansión directa o evaporadores inundados según la naturaleza del sistema frigorífico), mientras el resto de los componentes del sistema se encuentran remotos.

Cuadro N° 2: Especificaciones de Consumo de Energía en Planta de Frio-Cámaras Frigoríficas

INFORMACION	PARAMETROS TECNICOS
Tipo	Planta de Congelado
Capacidad	2,000 TON de Refrigeración
Máxima Demanda Eléctrica	1.0 MW
Refrigerante	Amoniaco
COP	3.6
Temperatura refrigerante en Cámara	-15°C
Temperatura media condensador	40 °C

Fuente: Dpto. de Producción.

El objetivo del evaporador es absorber la energía térmica -expresado como calor latente- al sucederse el cambio de estado del refrigerante; mientras el líquido se va evaporando a baja temperatura al interior de este intercambiador de calor este absorbe energía térmica del aire que circula por las paredes exteriores del evaporador. A su vez, el suministro de refrigerante es controlado por una válvula de expansión. En este caso las temperaturas del evaporador oscilan entre -15 a -10 °C.



Figura N° 1 Vista interior de la cámara de conservación

Fuente: Área de Producción.

- **TUNELES DE CONGELAMIENTO:**

Túnel estático de congelación o batch freezer en inglés consiste de un cuarto pequeño con un potente equipo de refrigeración. El tamaño del cuarto por lo general debe acomodar entre 2 y 4 pallets y un peso de entre 500 y 2500 kg. y la potencia del equipo de refrigeración se elige de tal forma que el proceso de congelación no sea demasiado largo, es decir idealmente entre 1 y 3 horas. El producto se dispone sobre las bandejas de tal forma que el viento frío puede penetrar bien entre las bandejas y las piezas individuales del producto a congelar (frutas, como frambuesa, mora, arándano, o hongos) se disponen en las bandejas de tal forma que hay espacios entre las frutas para que el aire frío tenga mayor superficie de contacto con la fruta. Mientras mas larga la duración del ciclo de congelado, habrá más pérdidas de calidad en el producto congelado. Los tiempos máximos permitidos dependen del tipo de producto a congelar. Sin embargo, no se puede reducir los tiempos debajo de un cierto mínimo, aumentando por ejemplo la potencia el túnel debido al hecho que el frío se demora en penetrar en las bandejas y el producto. La temperatura en promedio oscila entre -35 a -30 °C.



Figura N° 2 Sala de Compresores de Túnel de Congelamiento
Fuente: Área de Producción.

Cuadro N° 3: Especificaciones de Consumo de Energía en Planta de Frio-Túnel de Congelamiento

INFORMACION	PARAMETROS TECNICOS
Tipo	02 Túnel de Congelamiento estatico
Capacidad	1,500 TON de Refrigeración
Máxima Demanda Eléctrica	0.6 MW
Refrigerante	Amoniaco
COP	3.6
Temperatura refrigerante en Cámara	-30°C
Temperatura media condensador	40 °C

Fuente: Dpto. de Producción.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La necesidad de encontrar una mejora del Factor de Potencia para la compensación de la energía reactiva inductiva dentro de una Planta frigorífica en el cual se presentan cargas lineales base importantes y cargas pequeñas variables tiene la siguiente justificación :

- Un menor costo en el consumo de energía eléctrica mensual para la Empresa HAYDUK S.A. Al mejorar el factor de potencia no se pagan penalizaciones por mantener un bajo factor de potencia.
- Aumento en la capacidad del sistema frigorífico referente a la capacidad de los compresores. Al mejorar el factor de potencia se reduce la cantidad de corriente reactiva que inicialmente pasaba a través de transformadores, alimentadores, tableros y cables.
- Mejora en la calidad de la tensión . Un bajo factor de potencia puede reducir el nivel de tensión de la planta, cuando se toma corriente reactiva de las líneas de alimentación.
- Cuando el factor de potencia se reduce, la corriente total de la línea aumenta, debido a la mayor corriente reactiva que circula, causando mayor caída de voltaje a través de la resistencia de la línea, la cual, a su vez, aumenta con la temperatura. Esto se debe a que la caída de voltaje en una línea es igual a la corriente que pasa por la misma multiplicada por la resistencia en la línea.

- Aumento de la disponibilidad de potencia de transformadores, líneas y generadores
- Aumento de la vida útil de las instalaciones.

1.4 HIPÓTESIS

Se plantea la siguiente hipótesis: "MEDIANTE LA METODOLOGIA DE ESTUDIO DEL DIAGRAMA DE CARGA DE LA PLANTA FRIGORIFICA DE LA CORPORACION HAYDUK S.A. EL FACTOR DE POTENCIA MEJORA EN 10%".

1.5 OBJETIVOS:

OBJETIVO GENERAL

Aplicar la metodología de estudio del diagrama de carga en la Planta frigorífica de la corporación HAYDUK S.A para la mejora del factor de Potencia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el diagrama de carga típico de la empresa para aplicar la metodología del diagrama de carga para mejorar el factor de potencia.
- Determinar los puntos críticos para la instalación de condensadores individuales en la Planta Frigorífica.
- Determinar la variación del factor de potencia en función a los diagramas de carga típico.
- Dimensionar el sistema de compensación reactiva inductiva que permitan mejorar el factor de potencia.
- Cuantificar el ahorro de energía mediante la instalación del banco de condensadores.
- Evaluar la rentabilidad económica de la instalación del banco de condensadores.

CAPITULO II:

MARCO TEORICO

2.1 FUNDAMENTOS DE CIRCUITOS RESISTIVOS :

2.1.1 CARGAS ELECTRICAS:

a. GENERALIDADES:

Una carga es un elemento que consume energía eléctrica, en general existen dos tipos de cargas dentro de los sistemas eléctricos: Cargas lineales y las Cargas no lineales. Una carga es lineal cuando la tensión aplicada a sus extremos y la corriente que pasan por ella están estrechamente relacionadas. Una carga eléctrica que en operación de estado estable, presenta una impedancia de carga esencialmente constante a la fuente de poder durante todo el ciclo del voltaje aplicado. Se tienen los siguientes casos para cargas lineales:

- Cargas lineales resistivas: Hornos eléctricos de resistencias, lámparas incandescentes.
- Cargas lineales inductivas: Motores eléctricos, transformadores.
- Cargas lineales capacitivas: Condensadores para corrección de factor de potencia.

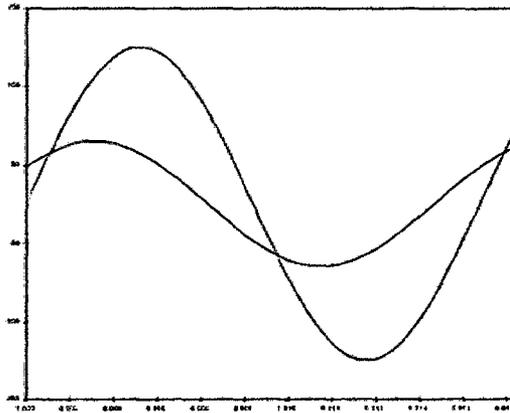


Figura N° 3 Forma fasorial de cargas lineales

Fuente : Constructor electrico.

Por el contrario se dice que una carga es no lineal cuando la relación tensión/corriente no es constante. Las cargas no lineales conectadas a la red de corriente alterna absorben corrientes que no son senoidales. La Carga eléctrica que demanda corriente discontinuamente o cuya impedancia varia durante el ciclo de la forma de onda del voltaje alterno –aplicado. A continuación se citan algunas cargas típicas no lineales:

- Equipos electrónicos, en general monofásicos, que internamente trabajan con corriente continua (ordenadores, impresora, autómatas programables, etc.).
- Instalaciones de iluminación con lámparas de descarga.
- Transformadores, reactancias con núcleos de hierro, etc., cuya curva de magnetización es no lineal.

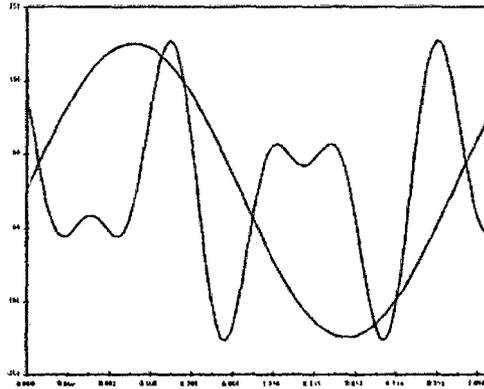


Figura N° 4 Forma fasorial de cargas no lineales

Fuente : Constructor electrico.

b. CARGAS ELECTRICAS RESISTIVAS:

En un circuito puramente resistivo, la corriente está en fase con la tensión y es función inmediata de la tensión. Tales cargas son referidas como si tuvieran una resistencia eléctrica designada con la letra R y expresada en Ohm (Ω). Las cargas resistivas pueden encontrarse en equipos como lámparas incandescentes, planchas y estufas eléctricas, en donde la energía que requieren para funcionar es transformada en energía lumínica o energía calorífica, en cuyo caso el factor de potencia toma el valor de 1.0. Por lo tanto, si la tensión y la corriente están en fase, tenemos que:

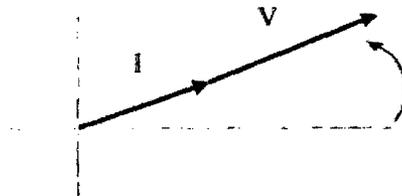


Figura N° 5 Diagrama fasorial de un circuito resistivo

Fuente : Campos Electromagneticos (Aguilar Gutierrez)

En donde:

I = Corriente eléctrica (A).

V = Tensión eléctrica (V).

R = Resistencia eléctrica (Ω).

La resistencia eléctrica absorbe potencia en Watts igual a:

$$P = \frac{V^2}{R} = V * I \quad \dots \dots \dots (1)$$

En la figura 6, se muestran las ondas senoidales de tensión y corriente eléctrica en función del tiempo y el desfase que existe entre ellas, la cual es igual a cero, es decir, se encuentran en fase.

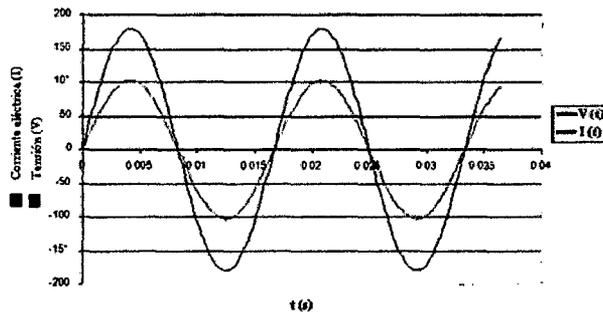


Figura N° 6 Diagrama de onda de tensión y corriente en fase

Fuente :Cargas críticas y calidad de energía (Carpio Ibañez)

c. CARGAS ELECTRICAS INDUCTIVAS:

Las cargas inductivas son encontradas en cualquier lugar donde haya bobinados involucrados, por ejemplo en los equipos del tipo electromecánicos como los motores, balastos, transformadores, entre otros; además de consumir potencia activa, requieren potencia reactiva para su propio funcionamiento, por lo cual trabajan con un factor de potencia menor a 1.0. Considerándose por lo tanto que las cargas inductivas, sean el origen del bajo factor de potencia. En un circuito puramente inductivo la corriente no está en fase con la tensión ya que va atrasada 90° con respecto a la tensión.

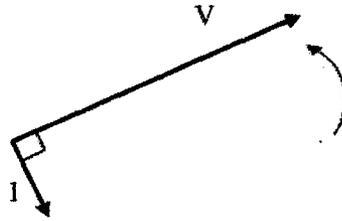


Figura N° 7 Diagrama fasorial de un circuito inductivo
 Fuente : Campos Electromagneticos (Aguilar Gutierrez)

En la figura 8, se muestran las ondas senoidales de tensión y corriente eléctrica en función del tiempo y el desfase de 90° de la corriente con respecto a la tensión.

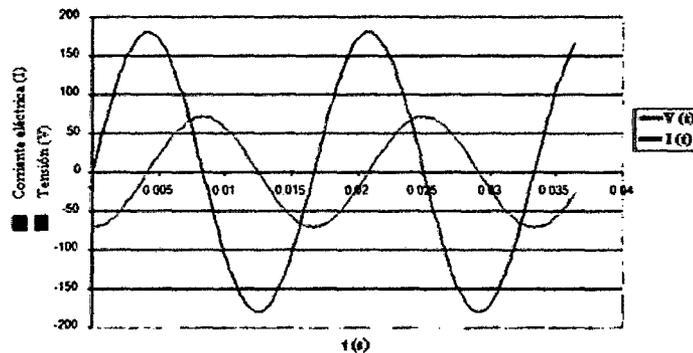


Figura N° 8 Diagrama de onda de corriente en atraso con respecto a la tensión
 Fuente :Cargas críticas y calidad de energía (Carpio Ibañez)

d. CARGAS ELECTRICAS CAPACITIVAS:

Las cargas capacitivas se presentan en los capacitores y se caracterizan porque la corriente se haya adelantada respecto de la tensión 90° . En la Figura 9, se presenta el diagrama fasorial correspondiente a las cargas capacitivas. Las cargas de tipo capacitivo son: Bancos de capacitores y Motores síncronos.

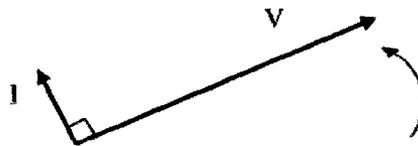


Figura N° 9 Diagrama fasorial de un circuito capacitivo
 Fuente : Campos Electromagneticos (Aguilar Gutierrez)

En un circuito puramente capacitivo, no existe consumo de energía aún si hay corriente circulando. Las cargas capacitivas generan potencia reactiva expresada en volts amperes Reactivos (VAR). En la figura 10, se muestran las ondas senoidales de tensión y corriente Eléctrica en función del tiempo, para este caso la corriente se adelanta 90° con respecto a la tensión. Un capacitor almacena energía eléctrica. Las dos superficies conductivas están separadas por un aislante no conductor. Cuando una corriente eléctrica es aplicada a un capacitor, los electrones de la corriente se acumulan en la placa adjuntada a la terminal a la cual es aplicada la corriente eléctrica. Cuando la corriente es retirada, los electrones fluirán de regreso a través del circuito para alcanzar la otra terminal del capacitor. Los capacitores son utilizados en motores eléctricos, radio circuitos, fuentes de poder y muchos otros circuitos. La capacidad de un capacitor para almacenar energía eléctrica es llamada capacitancia (C). La unidad principal de medida es el faradio, pero la mayoría de los capacitores están medidos en microfaradios. La corriente lleva el voltaje de un capacitor. El voltaje a través de las terminales comienza a cero voltios mientras la corriente está a su máximo. A medida que la carga se desarrolla en la placa del capacitor, el voltaje se eleva y la corriente cae. A medida que un capacitor se descarga, la corriente se eleva y el voltaje cae.

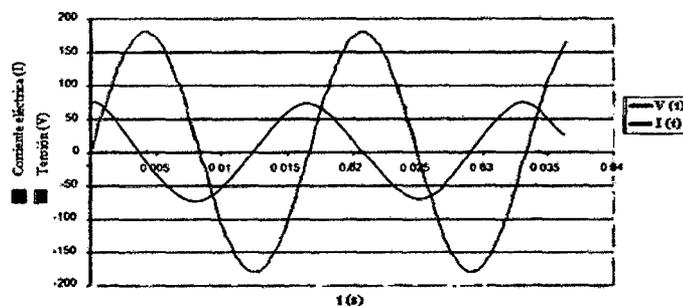


Figura N° 10 Diagrama de onda de corriente en adelanto 90° con respecto a la tensión

Fuente :Cargas críticas y calidad de energía (Carpio Ibañez)

- e. **CARGAS COMBINADAS:** En la práctica una carga no está constituida solamente por cargas resistivas, inductivas o capacitivas, ya que estas tres cargas con frecuencia coexisten en los circuitos eléctricos. Sin embargo para el caso de una industria la carga mas predominante es la carga inductiva, de ahí que sea el factor por el cual se realiza este trabajo. Las diversas cargas son usualmente abastecidas directamente de la red

principal de suministro eléctrico, sin embargo el suministro de potencia reactiva puede ser suministrado por equipos conectados en un punto de la red eléctrica, normalmente se utiliza para ello los bancos de capacitores que son fuentes suministradoras de potencia reactiva.

2.1.2 POTENCIA ACTIVA:

Es la potencia que representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo. Los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etc. Esta potencia es, por lo tanto, la realmente consumida por los circuitos. Cuando se habla de demanda eléctrica, es esta potencia la que se utiliza para determinar dicha demanda. Se designa con la letra P y se mide en vatios (W). Para sistemas eléctricos trifásicos equilibrados y el triángulo de impedancias se tiene la siguiente ecuación:

$$P = \sqrt{3} * V_L * I_L * \cos\phi \dots \dots \dots (2)$$

Dónde:

V_L : Voltaje de línea a línea en voltios (V)

I_L : Corriente de línea en amperios (A)

P: Potencia Activa en Watt (W)

$\cos\theta$: Factor de Potencia del sistema

La potencia activa representa en realidad la potencia útil medida en wattios (W), es decir, la energía que realmente se aprovecha cuando se pone a funcionar un equipo eléctrico y realiza un trabajo. Por ejemplo, la energía que entrega el eje de un motor cuando pone en movimiento un mecanismo o maquinaria, la del calor que proporciona la resistencia de un calentador eléctrico, la luz que proporciona una lámpara, etc.

Por otra parte, la potencia activa es realmente la potencia contratada en la empresa eléctrica y que llega al domicilio, la industria, la oficina o cualquier otro lugar donde se necesite a través de la red eléctrica de distribución. La potencia consumida por todos los aparatos eléctricos utilizados normalmente se registra en contadores o medidores de electricidad, que instala la empresa suministradora para medir el total de la energía eléctrica consumida en el periodo de tiempo determinado en el contrato.

2.1.3 POTENCIA REACTIVA:

La potencia reactiva es la consumida por los motores, transformadores y todos los dispositivos o aparatos eléctricos que poseen algún tipo de bobina para crear un campo electromagnético. Esas bobinas, que forman parte del circuito eléctrico, constituyen cargas para el sistema eléctrico que consumen tanto potencia activa como potencia reactiva y la eficiencia de su trabajo depende el factor de potencia. Mientras más bajo sea el factor de potencia (más alejado de la unidad) mayor será la potencia reactiva consumida. Además, esta potencia reactiva no produce ningún trabajo útil y perjudica la transmisión de la energía a través de las líneas de distribución eléctrica, por lo que su consumo está penalizado por la compañía suministradora en la tarifa eléctrica. La unidad de medida de la potencia reactiva es el VAR y su múltiplo es el kVAR (KilovoltioAmperio-Reactivo).

La potencia reactiva en función de los valores de tensiones y corrientes de línea:

$$Q = \sqrt{3} * V_L * I_L * \text{sen } \varphi \dots \dots \dots (3)$$

2.1.4 POTENCIA APARENTE:

La potencia aparente de un circuito eléctrico de corriente alterna, es la suma de la energía que disipa dicho circuito en cierto tiempo en forma de calor o trabajo y la energía utilizada para la formación de los campos eléctricos y magnéticos de sus componentes. Esta potencia no es la realmente consumida, salvo cuando el factor de potencia es la unidad ($\text{Cos}\phi=1$), y nos señala que la red de alimentación de un circuito no sólo ha de satisfacer la energía consumida por los elementos resistivos, sino que también ha de contarse con la que van a suministrar a bobinas y condensadores. Se la designa con la letra S y se mide en voltamperios (VA).

La potencia aparente o potencia total es la suma, según el teorema de Pitágoras, de la potencia activa y la aparente. Estas dos potencias representan la potencia total que se toma de la red de distribución eléctrica, que es igual a toda la potencia que entregan los generadores en las plantas eléctricas. Estas potencias se transmiten a través de las líneas o cables de distribución para hacerla llegar hasta los consumidores, es decir, hasta los hogares, fábricas, industrias, etc.

La potencia aparente en función de los valores de tensiones y corrientes de líneas:

$$S = \sqrt{3} * V_L * I_L \dots \dots \dots (4)$$

2.1.5 FACTOR DE POTENCIA:

Se denomina factor de potencia al cociente entre la potencia activa y la potencia aparente, que es coincidente con el coseno del ángulo entre la tensión y la corriente cuando la forma de onda es sinusoidal pura, o sea que, el factor de potencia debe tratar de coincidir con el coseno ϕ pero no es lo mismo.

Es aconsejable que en una instalación eléctrica el factor de potencia sea alto y algunas empresas de servicio eléctrico exigen valores de 0,9 y más. También podemos decir que es simplemente el nombre dado a la relación de la potencia activa usada en un circuito, expresada en vatios o kilovatios (KW), a la potencia aparente que se obtiene de las líneas de alimentación, expresada en voltio-amperios o kilo voltioamperios (KVA). También es término utilizado para describir la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo. El valor ideal del factor de potencia es 1, esto indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo. Por el contrario, un factor de potencia menor a la unidad significa un mayor consumo de energía necesaria para producir un trabajo útil.

Las cargas industriales en su naturaleza eléctrica son de carácter reactivo a causa de la presencia principalmente de equipos de refrigeración, motores, generadores, transformadores, etc. Este carácter reactivo obliga a que, junto al consumo de potencia activa (KW), se sume el de una potencia llamada reactiva (KVAR), las cuales en su conjunto determinan el comportamiento operacional de equipos y motores. Esta potencia reactiva ha sido tradicionalmente suministrada por las empresas generadoras de electricidad, aunque puede ser producida por las propias industrias. Al ser suministradas por las empresas de electricidad deberá ser transportada por las redes, ocasionando necesidades de inversión en capacidades mayores de los equipos y redes de transmisión y distribución. Todas estas cargas industriales necesitan de corrientes reactivas para su operación.

El llamado triángulo de potencias es la mejor forma de observar y comprender de forma gráfica qué es el factor de potencia ó $\cos \phi$ y su estrecha relación con los restantes tipos de potencia presentes en un circuito eléctrico de corriente alterna, además de observar

la interacción de una potencia con respecto a las otras dos ya que al modificar una potencia repercutiría en la modificación de las otras dos potencias.

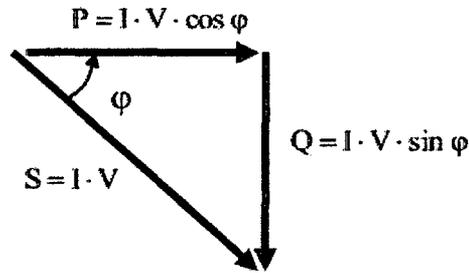


Figura N°11 Triangulo de Potencia
Fuente : Campos Electromagneticos (Aguilar Gutierrez)

Como se puede observar en el triángulo de la figura 11, el factor de potencia ó $\cos \varphi$ representa el valor del ángulo que se forma al representar gráficamente la potencia activa (P) y la potencia aparente (S), es decir, la relación existente entre la potencia real de trabajo y la potencia total consumida por la carga o el consumidor conectado a un circuito eléctrico de corriente alterna. Esta relación se puede representar también, de forma matemática, por medio de la siguiente ecuación:

$$\cos \varphi = F.P = \frac{P}{S} \dots \dots \dots (5)$$

De aquí se define también que:

$$S = P + jQ \dots \dots \dots (6)$$

Donde:

jQ = Potencia reactiva inductiva (VAR).

El resultado de esta operación será 1 o un número fraccionario menor que 1 en dependencia del factor de potencia que le corresponde a cada equipo o dispositivo en específico. Ese número responde al valor de la función trigonométrica "coseno", equivalente a los grados del ángulo que se forma entre las potencias (P) y (S).

Si el número que se obtiene como resultado de la operación matemática es un decimal menor que 1 (como por ejemplo 0,95), dicho número representará el factor de potencia correspondiente al desfase en grados existente entre la intensidad de la corriente eléctrica y la tensión en el circuito de corriente alterna. Lo ideal sería que el resultado fuera siempre igual a 1, pues así habría una mejo optimización y

aprovechamiento del consumo de energía eléctrica, o sea, habría menos pérdida de energía no aprovechada y una mayor eficiencia de trabajo en los generadores que producen esa energía.

En los circuitos de resistencia activa, el factor de potencia siempre es 1, porque como ya vimos anteriormente en ese caso no existe desfase entre la intensidad de la corriente y la tensión.

Pero en los circuitos inductivos, como ocurre con los motores, transformadores de tensión y la mayoría de los dispositivos o aparatos que trabajan con algún tipo de enrollado o bobina, el valor del factor de potencia se muestra con una fracción decimal menor que 1 (como por ejemplo 0,8), lo que indica el retraso o desfase que produce la carga inductiva en la senoide correspondiente a la intensidad de la corriente con respecto a la senoide de la tensión.

2.1.5 MEDICIONES DEL FACTOR DE POTENCIA:

Sabemos que el factor de potencia puede ser calculado cuando las potencias activa y reactiva son conocidas. Este método puede también aplicarse para calcular el factor de potencia de la energía consumida durante un cierto periodo de tiempo. Usando medidores de potencia activa y reactiva y un reloj, es posible determinar la energía consumida durante un periodo determinado de tiempo y así calcular el factor de potencia. Este tiempo es necesario considerar la relación entre las revoluciones del disco medidor por unidad de energía usada.

- a. **MEDICIÓN EN CIRCUITOS DE UNA SOLA FASE:** El método más simple es medir la potencia (usando un Watímetro) y la corriente y el voltaje.

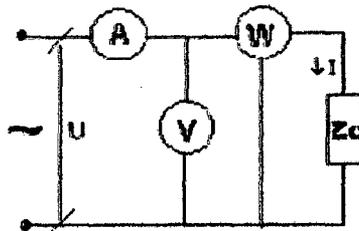


Figura N°12 Medicion del $\cos\phi$ en un circuito de una sola fase

Fuente : Campos Electromagneticos (Aguilar Gutierrez)

Entonces tenemos $\cos \varphi$ es igual a:

$$\cos \varphi = \frac{P}{V * I} = \frac{P}{S} \dots \dots \dots (7)$$

Otro método es usar un medidor de fase tipo Brüger. Este es un dispositivo con dos armazones cruzados y sin acción de resorte para el indicador. El punto, asumirá una posición arbitraria (medidor) es su posición de descanso.

b. MEDICION DE UN CIRCUITO TRIFASICO SIMETRICO Y EQUILIBRADO:

Cuando el sistema es simétrico y equilibrado, el desfase entre la tensión y corriente es el mismo para cada fase, por lo cual el factor de potencia trifásico coincidirá con el factor de potencia en cada una de las fases. Este valor se determina con un vatímetro, un voltímetro y un amperímetro, que medirán la potencia de una fase, la tensión de una fase y la corriente de la fase respectiva. El método de Aron también es utilizado para conocer el factor de potencia. Partiendo de dos lecturas $W1$ y $W2$ se puede determinar el factor de potencia, haciendo el cociente de la lectura menor y la mayor. Utilizando un amperímetro, un voltímetro y un vatímetro:

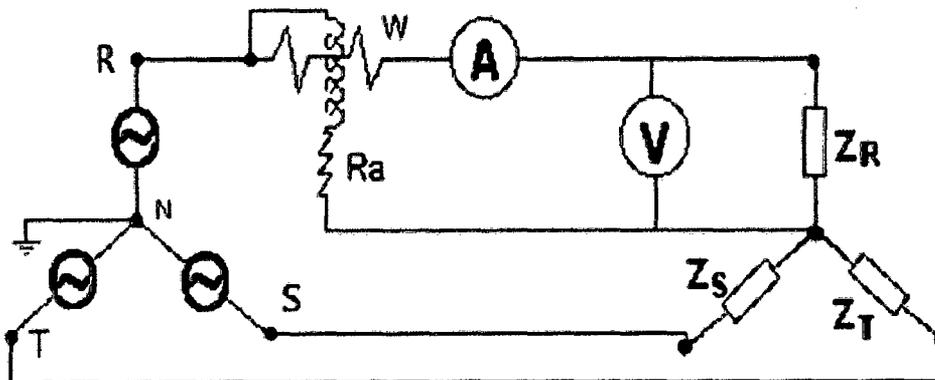


Figura N°13 Diagrama electrico de conexión.

Fuente : Fundamentos de Electronica (Salvador Chilet)

2.2 COMPENSACION REACTIVA INDUCTIVA:

2.2.1 EFECTOS DE UN BAJO FACTOR DE POTENCIA:

La potencia reactiva, la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos, es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos tales como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración y otros similares. Cuando la cantidad de estos equipos es apreciable los requerimientos de potencia reactiva también se hacen significativos, lo cual produce una disminución exagerada del factor de potencia. Un alto consumo de energía reactiva puede producirse como consecuencia principalmente de:

- Un gran número de motores
- Presencia de equipos de refrigeración y aire acondicionado
- Una sub-utilización de la capacidad instalada en equipos electromecánicos, por una mala planificación y operación en el sistema eléctrico de la industria
- Un mal estado físico de la red eléctrica y de los equipos de la industria

Cargas puramente resistivas, tales como alumbrado incandescente, resistencias de calentamiento, etc. no causan este tipo de problema ya que no necesitan de la corriente reactiva. Los problemas que se presentan por bajo factor de potencia son:

a. DIAGRAMA DE CORRIENTE:

Una carga que consuma la mayor potencia reactiva y el factor de potencia más bajo es el fenómeno eléctrico que puede suceder en condiciones estables. Para una potencia consumida constante, el factor de potencia más bajo, la potencia aparente será más alta y así también más alta la cantidad de corriente en la red. Con un factor de potencia igual a 0.5, la cantidad de corriente por la carga será dos veces la corriente útil. Con un factor de potencia de 0.9 la cantidad de corriente será 10% más alta que la corriente útil. Para una potencia constante, la cantidad de corriente de la red se incrementará en la medida en que el factor de potencia disminuya. Esto significa que los transformadores y cables de distribución estarán sobrecargados y que las pérdidas en ellos se incrementarán (en proporción al cuadrado de la corriente). Esto por supuesto es real en todos los puntos de la red.

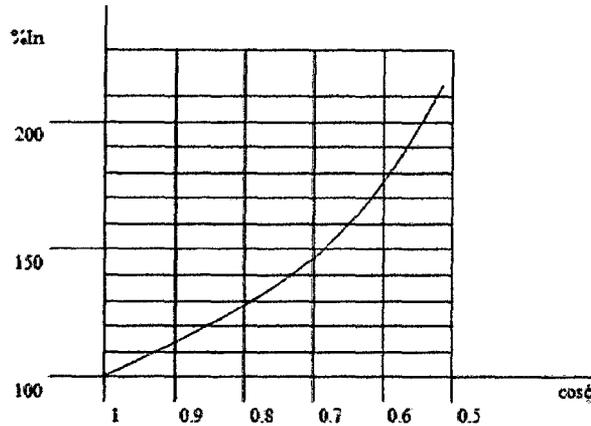


Figura N°14 Efectos sobre la corriente nominal con un bajo factor de potencia
Fuente : RTR Energía

b. INCREMENTO DE PERDIDAS POR EFECTO JOULE:

La potencia que se pierde por calentamiento está dada por la expresión $I^2 \cdot R$ donde, I es la corriente total y R es la resistencia eléctrica de los equipos (bobinados de los generadores y transformadores, conductores de los circuitos de distribución, etc), las pérdidas por Efecto Joule se manifestarán en:

- Calentamiento de cables, acelerando el deterioro de los aislamientos reduciendo la vida útil de los mismos y pudiendo ocasionar cortocircuitos.
- Calentamiento de los embobinados de los transformadores de distribución.
- Disparo sin causa aparente de los dispositivos de protección.
- Disminución de la capacidad de la REE, al tener que generar una electricidad extra que compense las pérdidas.

Uno de los mayores problemas que causa el sobrecalentamiento es el deterioro irreversible del aislamiento de los conductores que, además de reducir la vida útil de los equipos puede provocar corto circuitos.

c. SOBRECARGA DE LOS GENERADORES, TRANSFORMADORES Y LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN:

El exceso de corriente debido a un bajo factor de potencia, ocasiona que los generadores, transformadores, y líneas de distribución, trabajen con cierta sobrecarga y

reduzca su vida útil, debido a que estos equipos, se diseñan para un cierto valor de corriente y para no dañarlos, se deben operar sin que éste se rebase.

d. AUMENTO DE LA CAÍDA DE TENSIÓN :

La circulación de corriente a través de un conductor eléctrico produce una caída de tensión definida por la Ley de Ohm. La circulación de corriente a través de los conductores ocasiona una pérdida de potencia transportada por el cable, y una caída de tensión o diferencias entre las tensiones de origen y la que lo canaliza, resultando en un insuficiente suministro de potencia a las cargas (motores, lámparas, etc.), estas cargas sufren una reducción de su potencia de salida. Esta caída de voltaje afecta a:

- Los embobinados de los transformadores de distribución.
- Los cables de alimentación.
- Sistemas de protección y control.

e. INCREMENTO DE LA FACTURACION ELECTRICA:

Debido a que un factor de potencia bajo implica pérdidas de energía en la red eléctrica, el productor y el distribuidor de energía eléctrica se ven en la necesidad de penalizar al usuario haciendo que pague más por la energía eléctrica que utiliza.

Haciendo una clasificación de los problemas que se presentan al usuario (industrial) y a la empresa distribuidora de energía por un bajo factor de potencia tenemos:

AL USUARIO (INDUSTRIAL)

- Aumento de la intensidad de corriente
- Pérdidas en los conductores y fuertes caídas de tensión.
- Incrementos de potencia de las plantas, transformadores, reducción de su vida útil y reducción de la capacidad de conducción de los conductores.
- La temperatura de los conductores aumenta y esto disminuye la vida de su aislamiento.
- Aumentos en la factura por consumo de energía eléctrica

Una forma de que las empresas de electricidad a nivel nacional e internacional hagan reflexionar a las industrias sobre la conveniencia de generar o controlar su consumo de energía reactiva ha sido a través de un cargo por demanda, facturado en \$./KVAR, es

decir cobrándole por capacidad suministrada en KVAR. Factor donde se incluye el consumo de los KVAR que se entregan a la industria. Mejorar el factor de potencia resulta práctico y económico, por medio de la instalación de condensadores eléctricos estáticos, o utilizando motores sincrónicos disponibles en la industria (algo menos económico si no se dispone de ellos)

A LA EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA:

- Mayor inversión en los equipos de generación, ya que su capacidad en KVA debe ser mayor, para poder entregar esa energía reactiva adicional.
- Mayores capacidades en líneas de transmisión y distribución así como en transformadores para el transporte y transformación de esta energía reactiva.
- Elevadas caídas de tensión y baja regulación de voltaje, lo cual puede afectar la estabilidad de la red eléctrica

f. PERDIDAS EN LOS CABLES :

Para la misma potencia activa transmitida, una mejora en el factor de potencia significa una reducción en la corriente principal.

Para un cable dado, las pérdidas son proporcionales al cuadrado de la corriente. Para mejorar el factor de potencia de un valor inicial $\text{Cos}\varphi_1$ a un valor final $\text{Cos}\varphi_2$ las pérdidas $I^2 * R$ en watts pueden ser reducidas por un factor:

$$K = \left[1 - \left(\frac{\text{Cos}\varphi_1}{\text{Cos}\varphi_2} \right)^2 \right] * 100 \text{ valor en \% } \dots \dots \dots (8)$$

Dónde:

$\text{Cos}\varphi_1$: es el factor de potencia inicial

$\text{Cos}\varphi_2$: es el factor de potencia inicial.

Vemos que una mejora del $\text{Cos}\varphi$ de 0.6 a 0.8 reduce las pérdidas en 44% y una mejora de 0.6 a 1.0 resultará en una reducción del 64%. Aunque esos factores sean bien conocidos, poca atención es dada para las posibles mejorías en economía. En la figura 15 se muestra el porcentaje de reducción de pérdidas cuando el valor del $\text{Cos}\varphi$ es corregido.

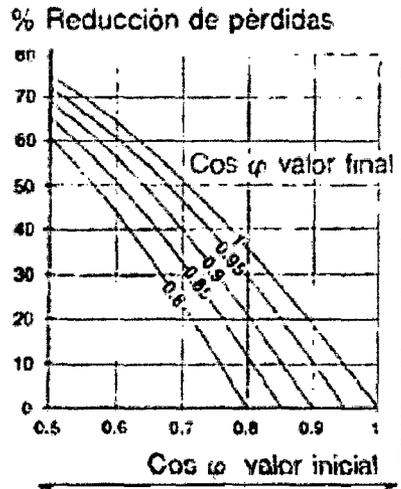


Figura N°15 Pérdidas en cables.

Fuente : Calidad en Potencia Eléctrica(Augusto Abreu)

El cálculo económico es tan simple como podemos darnos cuenta en el siguiente ejemplo: Supongamos que tenemos una instalación que alimenta a un grupo de bombas.

El motor está clasificado en 37Kw a 380 V y tiene un $\text{Cos}\phi = 0.72$. El cable alimentador es de tipo aéreo de 35 mm^2 con una longitud de 180m. La instalación está en servicio 480 horas/mes. ¿Cuál es el ahorro anual en KWh, cuando el factor de potencia es mejorado de 0.72 a 0.95?

Para la determinación de la corriente de fase :

$$\text{Para cualquier } \text{cos } \phi \implies I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \text{cos } \phi} \dots \dots \dots (9)$$

Para la determinación de las pérdidas térmicas:

$$\text{Para cualquier } \text{cos } \phi \implies P = 3 * R * I^2 \dots \dots \dots (10)$$

g. PERDIDAS EN TRANSFORMADORES:

PERDIDAS ASOCIADAS A LA VARIACIÓN DE LA DEMANDA:

Son pérdidas que se encuentran relacionadas con las corrientes que circulan por los elementos del sistema (efecto joule). Su magnitud es proporcional al cuadrado de la

corriente . Estas pérdidas ocurren por disipación térmica de potencia producida por el paso de una corriente a través de un conductor. Donde, I depende de la demanda de energía del sistema y R de la resistividad del conductor, la topología del sistema, las longitudes de las líneas de transmisión y redes de distribución y la temperatura ambiente.

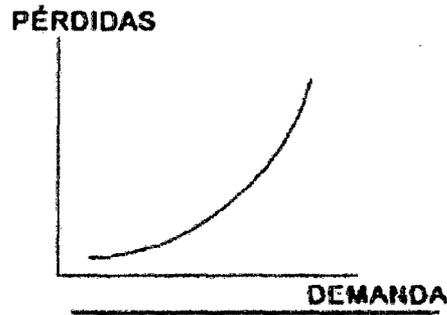


Figura N°16 Pérdida del sistema en función de la carga
Fuente : Calidad en Potencia Eléctrica(Augusto Abreu)

PÉRDIDAS CUYO VALOR ES PRÁCTICAMENTE INDEPENDIENTE DE LA CARGA DEL SISTEMA (PÉRDIDAS EN VACÍO) :

Estas pérdidas dependen principalmente de la variación de la demanda, (se presentan en los transformadores y maquinas eléctricas, se deben a la corriente Foucault y ciclos de histéresis). Debido a que los sistemas eléctricos de las máquinas y transformadores funcionan con pocas fluctuaciones de tensión, es posible considerar las pérdidas en vacío constantes. Si se quiere mayor exactitud se tiene:

$$P'_1 = P \cdot \frac{V}{V'} \dots \dots \dots (11)$$

Donde:

P'₁: Pérdidas en vacío (W) a un valor de tensión V' (V)

V' : Valor de tensión al cual se desea conocer la pérdida (v)

Si se dispone de la información de las pérdidas a potencia nominal, el valor de pérdidas para otra condición de carga se encuentra como:

$$P_L^j = P_L^i \cdot \frac{S^j}{S^i} \dots \dots \dots (12)$$

Dónde:

P_L^j : Pérdidas en el cobre (W) para una carga S_j (VA)

P_L^i : Pérdidas en el cobre (W) para una carga S_i (VA)

En los sistemas eléctricos los valores de tensión, en general, están cerca del valor nominal y su variación es relativamente pequeña ($\approx 2 - 5\%$); por esta razón las pérdidas en el hierro se consideran constantes en primera aproximación.

CAIDA DE TENSION EN TRANSFORMADORES:

Un transformador tiene una resistencia primaria, una resistencia secundaria y una inductancia (de fuga) sobre el primario y sobre el secundario. Esto puedes ser estudiando usando el diagrama de Kapp, el cual muestra que con carga el transformador tendrá una caída de voltaje en su lado secundario. En la práctica una prueba de corto circuito es hecha, en esa prueba se determina el valor del voltaje primario (expresado como un porcentaje del voltaje nominal), necesario para dar la corriente nominal sobre el lado secundario cortocircuitado. Este valor puede variar dependiendo del tipo de transformador entre 2% y 12%. Esto está generalmente alrededor del 5% para transformadores de distribución. El voltaje de corto-circuito es usado para determinar el valor relativo de la caída de voltaje resistivo (AV_r) y la caída de voltaje inductivo (AV_s). En la práctica la caída de voltaje relativo (en %) es siempre más pequeña que el voltaje de corto circuito. Esta caída de voltaje está directamente relacionada con la corriente. También varía, asumiendo corrientes constantes con el factor de potencia, con el factor de potencia bajo, la caída de voltaje es más alta, si el circuito es capacitivo, el voltaje de salida del transformador se incrementará.

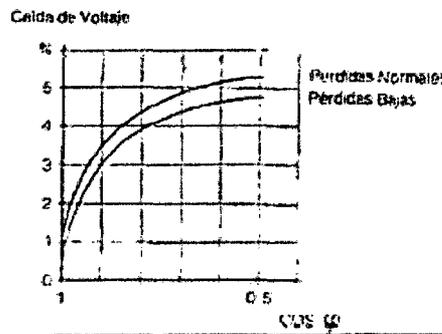


Figura N°17 Caída de tensión en los transformadores

Fuente : Calidad en Potencia Eléctrica(Augusto Abreu)

h. CAIDA DE TENSION Y CAPACIDAD MAXIMA DE CABLES:

Una línea de transmisión está eléctricamente construida de una resistencia y una inductancia en serie (cerca de 0.4 a 0.9 μH por metro). La caída de voltaje en tal línea de transmisión a través de la cual una corriente con ángulo de fase φ fluye, es dada a una primera aproximación por:

$$\Delta V = I * (R * \cos\phi + wL * \sen\phi) \dots \dots (13)$$

Para una red trifásica en donde la caída de voltaje máxima permitida en n%, la potencia máxima que puede ser transmitida es:

$$\Delta V = \frac{n * V}{\sqrt{3}} \dots \dots (14)$$

Lo cual da:

$$P = \frac{n * V^2}{R + w * L + \tan\phi} \dots \dots (15)$$

En la práctica, el valor n está entre 5 y 10%. Iniciando de Cosφ = 0.4 la capacidad de la línea aumenta casi linealmente hasta el valor de Cosφ = 0.8, de ahí aumenta aún más rápidamente. Como puede notarse, la potencia transmitida para una caída de voltaje dada, puede ser doblada, cuando mejoremos el Cos φ de 0.65 a 1.00.

i. COMPENSACION REACTIVA EN MOTORES SINCRONOS:

El factor de potencia de un motor asíncrono es bueno a plena carga, generalmente entre un 80 y 90 %, dependiendo de la velocidad y del tipo de motor. Sin embargo, para cargas pequeñas el factor de potencia disminuye rápidamente, llegando a ser del 10 al 15% en vacío.

Esto se debe a que la potencia reactiva consumida por el motor es prácticamente constante, mientras que la potencia activa es proporcional a la carga. En la figura siguiente se representan las curvas de potencia activa, reactiva y aparente consumidas por el motor, así como el factor de potencia "sin compensar" y el factor de potencia "compensado", en función del % de carga del motor:



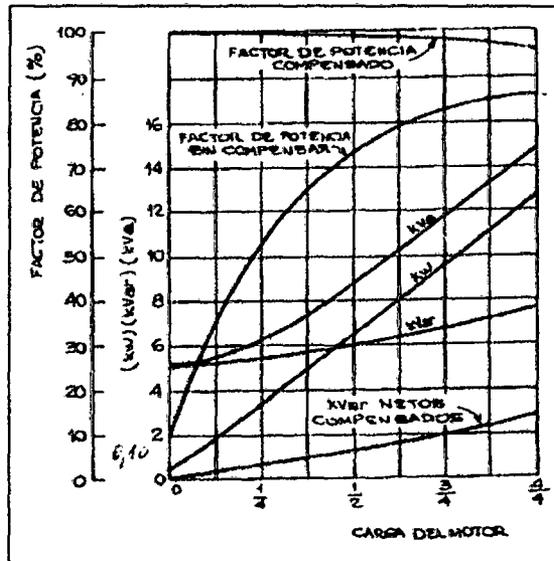


Figura N°18 Comportamiento de la Potencia en motores asincronos

Fuente : Compensacion Reactiva (Diaz Alva)

COMPENSACIÓN CON CONDENSADORES CONECTADOS EN BORNES DEL MOTOR

Esta característica de los motores (potencia reactiva consumida prácticamente constante), permite la utilización de condensadores fijos conectados en paralelo en bornes del motor (figura a) para la compensación del factor de potencia.

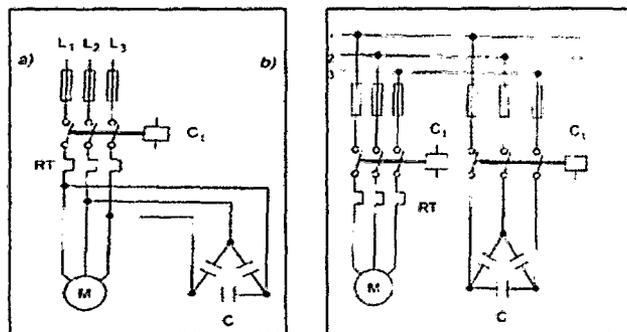


Figura N°19 Compensacion Directa en bornes del motor

Fuente : Compensacion Reactiva (Diaz Alva)

En la conexión del Condensador directa en bornes del motor (figura a) se deben tomar ciertas precauciones:

- Evitar el fenómeno de auto-excitación. :Cuando un motor se desconecta de la red, debido a la inercia de su carga continua girando, y el campo remanente del rotor genera una tensión en bornes del estator que normalmente cae a cero en 2 o 3 ciclos, en el caso de un motor no compensado. En el caso en que se instala un condensador conectado directamente en los bornes del motor, este suministra corrientes capacitivas al estator que generan un campo magnético giratorio que se suma al campo remanente del rotor, incrementando la tensión en bornes del estator, pudiendo alcanzar tensiones elevadas. Este fenómeno se conoce como autoexcitación, y para evitarlo se debe limitar la potencia reactiva a instalar:

$$Q_C \leq 0.9 * \sqrt{3} * V_n * I_o \dots \dots \dots (16)$$

Donde,

Q_C , potencia de la batería de condensadores

I_o , corriente en vacío del motor

V_n , tensión nominal

Se dan tablas que indican la máxima potencia reactiva a instalar en bornes del motor, según la tensión nominal, la potencia nominal y la velocidad del motor, sin riesgo de auto-excitación:

Cuadro N° 4 Potencia Reactiva a instalar en motores asincronos

3-phase motors 230/400 V					
nominal power		kvar to be installed			
kW	hp	speed of rotation (RPM)			
		3000	1500	1000	750
22	30	6	8	9	10
30	40	7.5	10	11	12.5
37	50	9	11	12.5	16
45	60	11	13	14	17
55	75	13	17	18	21
75	100	17	22	25	28
90	125	20	25	27	30
110	150	24	29	33	37
132	180	31	36	38	43
160	218	35	41	44	52
200	274	43	47	53	61
250	340	52	57	63	71
280	380	57	63	70	79
355	482	67	76	86	98
400	544	78	82	97	106
450	610	87	93	107	117

Fuente : Compensacion Reactiva (Diaz Alva)

Otra forma de evitar el fenómeno de autoexcitación es utilizar un comando independiente para el Condensador, y que el Condensador sea conectado después que arranque el motor, y desconectarlo antes que el motor (figura b).

- Nueva regulación del relé térmico de protección del motor :Se debe tener en cuenta que después de realizar la compensación con un condensador fijo conectado a los bornes del motor, la corriente eficaz que circula por el conjunto motor-condensador será menor que antes, por lo que se deberá ajustar el ajuste térmico de la protección del motor.
- En los casos de motores que arranquen con un arrancador de tensión reducida (arranque estrella triángulo, autotransformador, softstart u otro) siempre se debe utilizar un comando independiente para el Condensador, y el Condensador debe ser conectado después que arranque el motor, y desconectarlo antes que el motor (figura b).

2.2.2 METODOS DE COMPENSACION REACTIVA:

En la operación de los sistemas eléctricos de potencia de alta tensión se presentan, de vez en cuando, situaciones tales como una demanda anormal de reactivos, esto es, que dicha demanda sobrepasa la aportación que de ellos hacen algunos elementos de la red, obligando a los generadores a bajar su factor de potencia para suministrar los reactivos complementarios. El objetivo de la compensación reactiva es que la potencia aparente sea lo más parecida posible a la potencia activa.

El costo de generar, transmitir y transformar los reactivos, en el camino a su consumo, invita a realizar algunas consideraciones con respecto a los elementos que consumen estos reactivos, imponiendo la necesidad de localizar, operar y proyectar los equipos compensadores, de tal forma que estos no alteren el funcionamiento normal del sistema al cual se conecta. Los mecanismos de compensación mas empleados son:

COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA MEDIANTE MÁQUINAS SINCRÓNICAS. Las máquinas sincrónicas pueden funcionar como aportadores de potencia reactiva funcionando en vacío, siendo en este caso conocidos como capacitores sincrónicos. La generación de potencia reactiva depende de la excitación, necesitando ser sobreexcitados para poder satisfacer sus propias necesidades de energía reactiva y

entregar a su vez energía reactiva al sistema, es decir un motor síncrono diseñado para trabajar en vacío y con un amplio rango de regulación, estas máquinas síncronas son susceptibles de trabajar con potencia reactiva inductiva o capacitiva según el grado de excitación del campo. Si están sobre excitadas se comportan como condensadores. Por el contrario si están sub-excitadas se comportan como inductancias.

La potencia de un condensador sincrónico en condiciones de sobre-excitación esta limitada por la temperatura, en condiciones de sub-excitación, la potencia queda limitada por la estabilidad de la máquina. Este tipo de compensación no es muy utilizada, se utiliza sólo en el caso de que existan en la instalación motores síncronos de gran potencia (mayores a 200 HP) que funcionan por largos períodos de tiempo.

COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA MEDIANTE CEV'S.

Un compensador estático de VAR (CEV'S), se emplea para compensar potencia reactiva usando un control de la magnitud de tensión en un bus particular de un sistema eléctrico de potencia. Estos dispositivos comprenden el banco de capacitores fijo o conmutado (controlado) o un banco fijo y un banco de reactores conmutados en paralelo, se emplean principalmente en alta tensión debido a la conmutación para controlar la compensación.

COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA MEDIANTE BANCOS DE CAPACITORES.

Este método es el que se utiliza en la actualidad en la mayoría de las instalaciones industriales dado que es más económico y permite una mayor flexibilidad. Se pueden fabricar en configuraciones distintas. Sin embargo son muy sensibles a las armónicas presentes en la red, los bancos de capacitores elevan el factor de potencia, con lo cual aumenta la potencia transmitida por la línea porque no necesita conducir la potencia reactiva.

2.2.3 INCREMENTO DEL FACTOR DE POTENCIA:

En muchas instalaciones eléctricas de la industria, hay grandes consumos de corriente. Este consumo se agrava más cuando se trabaja con muchos motores (carga inductiva), que causan que exista un gran consumo de corriente reactiva que normalmente es penalizada por las empresas que distribuyen energía.

Cuadro N° 5 Factores de Potencia típicos

Aparato	Carga	Cos ϕ
Motor asínorono	0%	0,17
	25%	0,55
	50%	0,73
	75%	0,8
	100%	0,85
Lámparas incandescentes		1
Lámparas fluorescentes		0,5
Lámparas de descarga		0,4 a 0,6
Hornos de resistencia		1
Hornos de inducción		0,85
Máquinas de soldar por resistencia		0,8 a 0,9
Soldadora de arco monofásica		0,5
Soldadora de arco con transformador-rectificador		0,7 a 0,9
Hornos de arco		0,8

Fuente : Calidad en Potencia Electrica(Augusto Abreu)

Cuando esta situación se presenta, se dice que se tiene un bajo factor de potencia. El siguiente, es un método para lograr mejorar el factor de potencia, reducir el consumo de corriente y evitar cualquier penalización.

Los transformadores, motores, etc. son consumidores inductivos. Para la formación de su campo magnético estos toman potencia inductiva o reactiva de la red de alimentación, Esto significa para las plantas generadores de energía eléctrica una carga especial, que aumenta cuanto más grande es y cuanto mayor es el desfase. Esta es la causa por la cual se pide a los consumidores o usuarios mantener una factor de potencia cercano a 1. Los usuarios con una alta demanda de potencia reactiva son equipados con contadores de potencia reactiva (vatímetro o vatímetro de potencia desfasada).

La demanda de potencia reactiva se puede reducir sencillamente colocando condensadores en paralelo a los consumidores de potencia inductiva . Dependiendo de la potencia reactiva capacitiva de los condensadores se anula total o parcialmente la potencia reactiva inductiva tomada de la red. A este proceso se le denomina compensación,

Después de una compensación la red suministra solamente (casi) potencia real. La corriente en los conductores se reduce, por lo que se reducen las pérdidas en éstos. Así se ahorran los costos por consumo de potencia reactiva facturada por las centrales eléctricas.

Con la compensación se reducen la potencia reactiva y la intensidad de la corriente, quedando la potencia real constante, es decir, se mejora el factor de potencia.

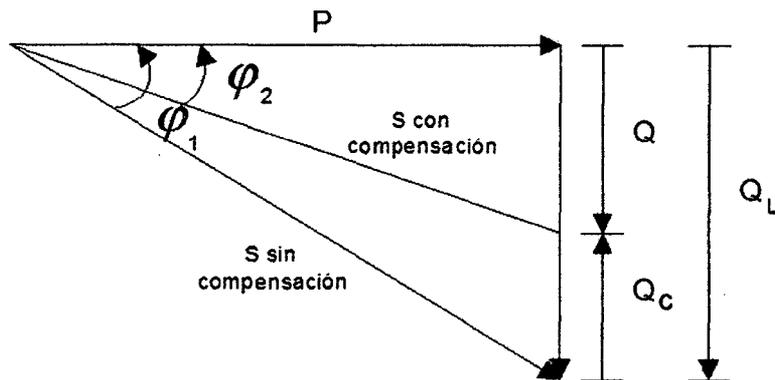


Figura N°18 Compensación reactiva

Fuente :Elaboración propia

Dónde :

$$Q_c = P * (\tan\phi_1 - \tan\phi_2) \dots \dots \dots (17)$$

2.2.4 TIPOS DE COMPENSACION:

COMPENSACIÓN FIJA

Consta de una o más baterías de condensadores que suministran un valor constante de potencia reactiva. Los condensadores pueden ser comandados mediante interruptores, contactores, o conectados directamente a los bornes de la carga inductiva.

COMPENSACIÓN AUTOMÁTICA

En general se trata de un banco de varios pasos, los cuales son controlados según la variación del factor de potencia de la instalación por un relé varimétrico. Cada paso del banco está conformado por un elemento de protección (interruptor automático o fusible), un elemento de maniobra (Contactor) y una batería de condensadores trifásica. El relé varimétrico mide el factor de potencia de la instalación y conecta los pasos mediante los Contactores de maniobra.

2.2.5 ARREGLOS PARA LA COMPENSACION REACTIVA :

Las inductividades se compensan con la conexión en paralelo de capacitancias, conocida como compensación en paralelo. Esta forma de compensación es la más usual, especialmente en sistemas trifásicos.

Los tres tipos de compensación en paralelo más usados son:

COMPENSACION INDIVIDUAL:

A cada consumidor inductivo se le asigna el condensador necesario. Este tipo es empleado ante todo para compensar consumidores grandes de trabajo continuo y con muchas horas de servicio.

Se trata del mejor sistema de compensación técnicamente hablando, por varios motivos:

- Se logra una compensación muy precisa ya que se compensa exclusivamente cuando una carga inductiva particular entra en conexión efectiva.
- Se logra disminuir las pérdidas por efecto joule (calentamiento) en las líneas alimentadoras, recordemos que la corriente total luego de la compensación mediante capacitores es menor que la inicial.
- Al reducirse la corriente final se reduce la caída de tensión en cada alimentador y por lo tanto aumenta el rendimiento de los motores y de todas las cargas en general.
- Suprime las penalizaciones por consumo excesivo de energía reactiva.

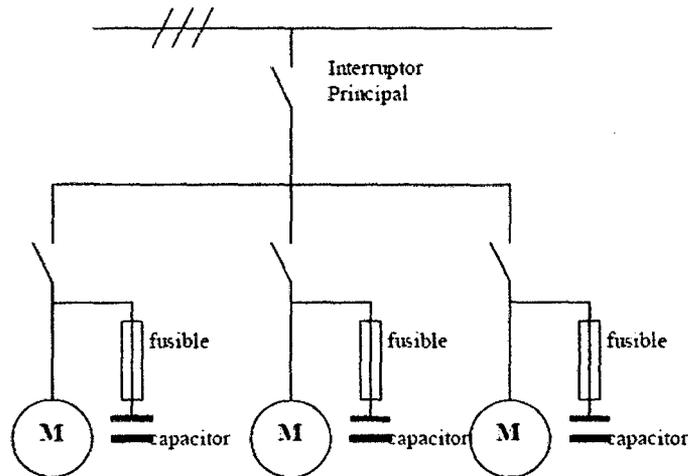


Figura N° 20 Compensación individual

Fuente : Manual Scheneider

COMPENSACION EN GRUPO:

Se trata de dividir la instalación en grupos de carga con el criterio de que todas las cargas de cada grupo entraran en conexión al mismo tiempo, o al menos en tiempo próximos, y entonces se conecta una batería de capacitores por cada grupo habiendo

calculado la potencia reactiva capacitiva necesaria para cada grupo. La crítica a este sistema de compensación radica en el hecho, de que es muy difícil que se logre una compensación precisa con la variación de la carga conectada. Sin embargo también tiene las ventajas de reducir el calentamiento y las caídas de tensión en los alimentadores. Representa una solución intermedia, cuando se tienen tableros secundarios o CCM que alimentan muchas cargas de poca potencia, donde no se justifica una compensación individual. Suprime las penalizaciones por consumo excesivo de energía reactiva. Si las cargas tienen una variación importante en el consumo, se debe utilizar una compensación del tipo automática.

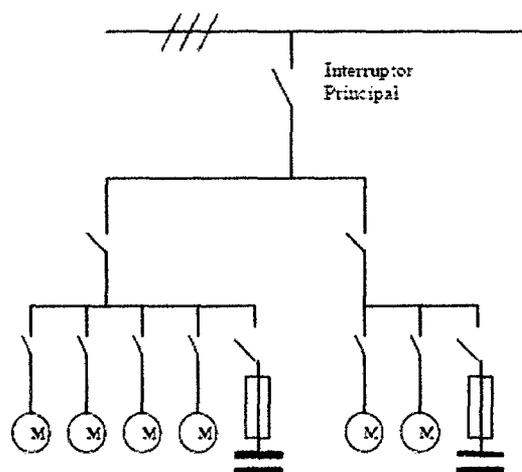


Figura N° 21 Compensación en grupo

Fuente : Manual Scheneider

COMPENSACION CENTRAL:

Se trata de conectar una batería de capacitores en el tablero principal, o cerca de el, que compense en factor de potencia de toda la instalación. Este sistema de compensación es poco recomendable, de hecho es el más económico, pero con el no se logra en absoluto una compensación precisa, ni se logra disminuir las pérdidas de energía en los cables, ni el calentamiento, ni las caídas de tensión, ni aumentar el rendimiento de los motores y cargas instaladas. Este sistema solo se lo utiliza para pequeños comercios, y aun para esos casos es inadecuado, más valdría compensar individualmente los artefactos de iluminación fluorescente que lo requieran y cada motor. Es una instalación más simple, centralizada y no interfiere con las cargas en el

mantenimiento. Presenta las desventajas de que no se reducen las pérdidas en los cables, y en instalaciones complejas con carga variable se debe instalar una compensación del tipo automática

2.3 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE COMPENSACION REACTIVA:

2.3.1 CAPACITORES:

a. GENERALIDADES:

Los capacitores son equipos capaces de acumular electricidad; están constituidos básicamente por dos placas conductoras colocadas frontalmente en paralelo y separadas por un medio cualquiera aislante, que puede ser aire, papel, plástico, etc. En las caras externas de estas placas se conecta una fuente de tensión que genera un campo electrostático en el espacio comprendido entre las dos placas. Los capacitores deben contar con protocolos de ensayos de tipo según IRAM 2458, IEC-831 o VDE 0560/41, incluyendo el ensayo de durabilidad y el del dispositivo antiexplosivo.

El generador G puede ser una batería o un generador cualquiera de corriente continua o de corriente alterna, las placas paralelas se denominan electrodos, las líneas de flujo entre las placas paralelas son imaginarias, el material aislante colocado entre las placas paralelas se denomina dieléctrico, la energía electrostática queda acumulada entre las placas y en menor intensidad en su vecindad.

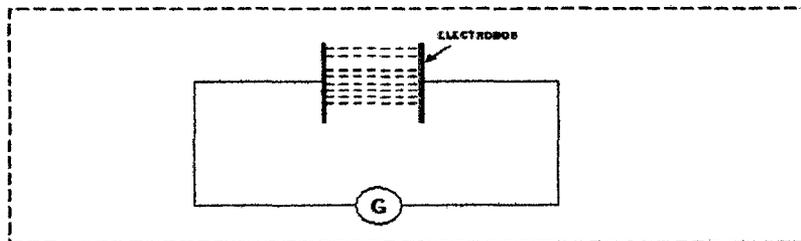


Figura N° 22 Campo electrostático entre dos placas del capacitor

Fuente : Manual Schneider

El coulomb es una cantidad de carga eléctrica que puede ser almacenada o descargada en forma de corriente eléctrica durante un cierto periodo de tiempo tomado como unidad. Para mejor comprensión se puede considerar el caso de una batería de

automóvil de 54 Ah que puede descargar toda la energía a razón de 1A en un tiempo de 54 horas, o bien 54A en un tiempo de 1h. Un coulomb es por lo tanto el flujo de carga o descarga de una corriente de 1A en un tiempo de 1 seg., esto quiere decir que durante un tiempo de 1seg, 6.25 x 10¹⁸ electrones son transportados de una placa a otra cuando la carga o descarga del capacitor desde 1.6 x 10⁻¹⁹ (C). Es bueno saber que la carga eléctrica de un electrón es de 1.6 x 10⁻¹⁹ C.

Si una determinada tensión V (volts) se aplica entre las placas paralelas separadas por una distancia de d (m), la intensidad del campo eléctrico se puede calcular por medio de la ecuación

$$V = \frac{E}{d} \dots \dots \dots (18)$$

Donde:

E = Intensidad del campo eléctrico (V/m).

V = Tensión (V).

d = Distancia (m).

La unidad que mide la capacidad de carga C de un capacitor es el Farad, de modo que 1 Faradio es la capacidad de carga eléctrica de un capacitor cuando una carga eléctrica de 1 coulomb (6.25x10¹⁸ electrones) está almacenada en el medio eléctrico bajo una tensión aplicada de 1 V entre las terminales de placas paralelas. Los capacitores son evaluados por la cantidad de carga eléctrica que es capaz de almacenar en su campo y está dada por la ecuación

$$C = \frac{Q}{V} \dots \dots \dots (19)$$

Dónde:

C = Capacidad del capacitor (F).

V = Tensión aplicada (V).

Cuando los electrodos de un capacitor son sometidos a una tensión entre sus terminales, circula en su interior una corriente de carga, lo que hace que una determinada cantidad de energía se acumule en su campo eléctrico. La energía media almacenada en el capacitor se puede obtener con la ecuación:

$$E = \frac{1}{2} * C * Vm^2 \dots \dots \dots (20)$$

Dónde:

E = Energía almacenada (J).

C = Capacidad del capacitor (F).

V_m = Tensión aplicada en valor pico (V).

Las ecuaciones anteriores son válidas tanto para corriente alterna monofásica como para corriente alterna trifásica, es decir, para condensadores monofásicos y condensadores trifásicos (o su conexión). Para condensadores conectados en delta o triángulo es válida la siguiente ecuación considerando:

De donde se calcula la corriente del condensador I_c como:

$$I_c = \frac{Q}{\sqrt{3} * V} \dots \dots \dots (21)$$

Figura N° 23 Circuito para corriente monofásica y trifásica

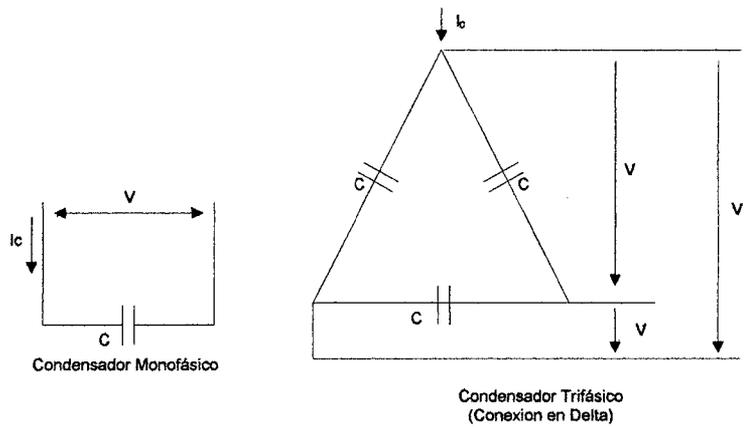


Figura N° 23 Circuito para corriente monofásica y trifásica

Fuente: Manual Schneider

b. PARTES PRINCIPALES DE UN CONDENSADOR:

Las partes principales de un capacitor de potencia, son las que se mencionan a continuación:

CAJA O CARCAZA: Esta caja o carcasa tiene la función de contener la parte activa del capacitor, está construida de placa de acero con un espesor adecuado al volumen del

capacitor, la caja contiene las siguientes partes:

- Placa de características. En esta placa deben estar contenidos todos los datos característicos para la identificación del capacitor, como son: su potencia nominal en kVAR, la tensión nominal de operación, su capacitancia, la frecuencia a que opera, su peso o masa, el nivel básico de aislamiento, la fecha de fabricación, etc.
- Los aisladores. Corresponden a las terminales externas de las unidades capacitivas.
- Ganchos en ojales para levantamiento. Son usados para levantar la unidad capacitiva.
- Soportes para fijación. Se utilizan para fijar la unidad capacitiva en su estructura de montaje.

ARMADURA: Está constituida por hojas de aluminio enrolladas con el dieléctrico, con espesores comprendidos entre 3 y 6 μm y patrón de pureza de alta calidad, con el objetivo de mantener en bajos niveles las pérdidas dieléctricas y las capacitancias nominales del proyecto.

DIELÉCTRICO. Actualmente existen dos tipos básicos de capacitores en cuanto a su medio dieléctrico:

- Capacitores del tipo autoregenerable. Son aquellos cuyo dieléctrico está formado por una fina capa de película de polipropileno esencial, asociada muchas veces, una capa de papel dieléctrico (papel Kraft) con alrededor de 18 μm de espesor. Es necesario que los componentes dieléctricos estén constituidos de material seleccionado y de alta calidad, para no influenciar negativamente las pérdidas dieléctricas.
- Capacitores de tipo impregnado. Están constituidos por una sustancia impregnante que se trata a continuación:

LÍQUIDO DE IMPREGNACIÓN. Los fabricantes de capacitores usan normalmente una sustancia biodegradable con una estructura molecular constituida por carbono e hidrógeno (hidrocarbonato aromático sintético) que no es agresivo con el medio ambiente.

RESISTOR DE DESCARGA. Cuando se retira la tensión de las terminales de un capacitor, la carga eléctrica almacenada necesita ser dañada para que la tensión resultante sea

eliminada, evitándose de esta manera situaciones peligrosas de contacto con las referidas terminales.

Para que esto sea posible, se inserta entre las terminales un resistor, con la finalidad de transformar en pérdidas Joule la energía almacenada en el dieléctrico, reduciendo a 75 V el nivel de tensión en un tiempo menor a 10 minutos para capacitores en media tensión; y menor que 3 minutos para capacitores de baja tensión. Este dispositivo de descarga se puede instalar en forma interna o externa al capacitor, siendo más común la primera solución.

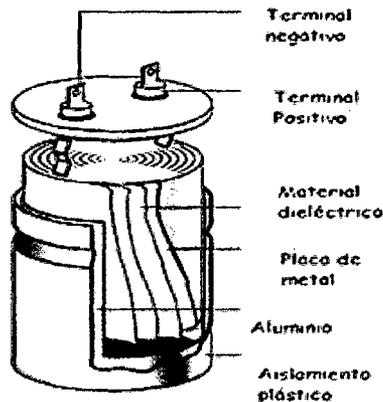


Figura N° 24 Partes de un Condensador

Fuente: Manual Scheneider

c. CONEXIÓN DE LOS CONDENSADORES:

Los capacitores instalados, se pueden conectar en cualquiera de las conexiones trifásicas clásicas que son: Estrella sólidamente aterrizada, estrella con neutro flotante y delta.

CONEXIÓN ESTRELLA A TIERRA CON NEUTRO SÓLIDAMENTE CONECTADO A TIERRA.

En esta conexión, el voltaje de las unidades capacitivas debe ser igual o mayor que el voltaje de fase a neutro del sistema al cual se van a conectar. Normalmente esta conexión se usa en sistemas de distribución, en rangos de tensiones hasta 34.5 kV. La capacidad del banco en kVAR se selecciona de manera que proporcione la potencia reactiva deseada en el sistema.

Cada fase en este tipo de conexión está formada por grupos de unidades capacitivas conectadas en serie paralelo para dar el valor de potencia deseado, en este tipo de arreglos generalmente se adopta una protección por fusibles para cada unidad

capacitiva, sin embargo existe también la posibilidad de proteger a las unidades capacitivas por grupo, esta opción se usa generalmente en sistemas de distribución con compensación de baja capacidad. La conexión estrella con neutro sólidamente aterrizado, tiene la ventaja de permitir un balanceo de fases más fácil que en otras conexiones, sin embargo en estos arreglos, se presenta el problema de que la falla en una unidad capacitiva presenta una sobretensión en el resto de las unidades del arreglo, sometiéndolas a mayores esfuerzos dieléctricos.

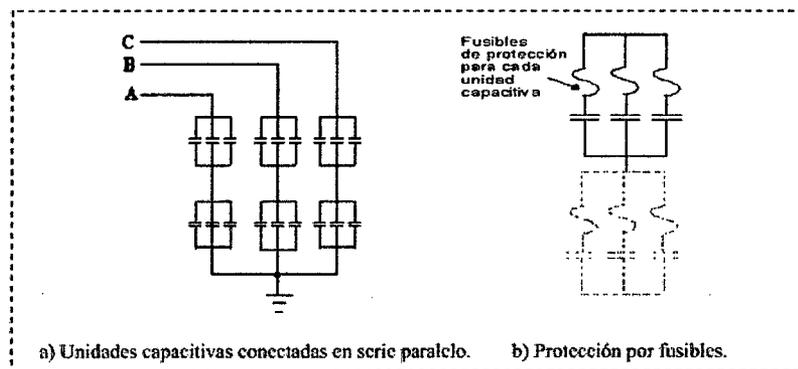


Figura N° 25 Conexión estrella a tierra con neutro sólidamente conectado a tierra.

Fuente : Campos Electromagneticos (Aguilar Gutierrez)

CONEXIÓN ESTRELLA CON NEUTRO FLOTANTE.

Este tipo de conexión se usa en sistemas de media tensión o mayores, presenta la ventaja de evitar en forma importante la presencia de transitorios de sobretensión y permite también una mejor protección contra sobrecorriente; en cambio, tiene el problema de desbalance de voltaje, que hace que aparezcan tensiones al neutro, por lo que es necesario incorporar una protección contra sobretensiones al neutro.

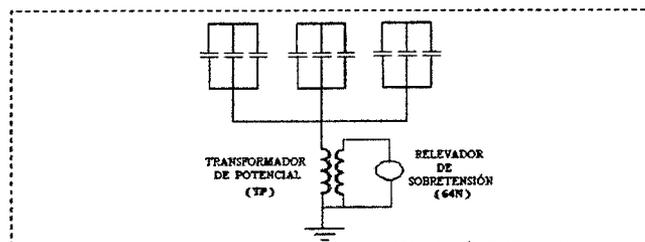


Figura N° 26 Conexión estrella con neutro flotante con protección en el neutro

Fuente : Campos Electromagneticos (Aguilar Gutierrez)

CONEXIÓN DELTA.

En esta conexión se usa generalmente en baja tensión (600 Volts o menos) en motores eléctricos ó cargas de valor similar, tiene la ventaja sobre las conexiones en estrella de que no presenta problemas de desbalance y también aísla las corrientes armónicas.

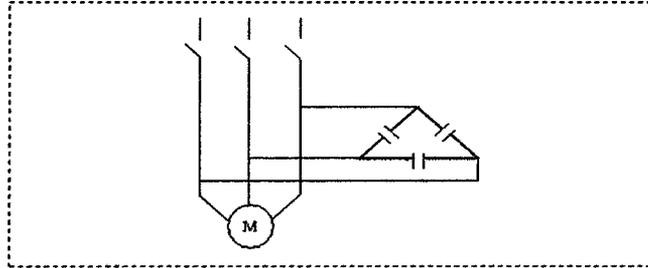


Figura N° 27 Conexión delta para motores en baja y media tensión

Fuente : Campos Electromagneticos (Aguilar Gutierrez)

2.3.2 CONTACTORES PARA USO EN CONDENSADORES:

Los condensadores forman parte de circuitos a cuyos bornes están conectados circuitos oscilantes que pueden producir en el momento de la conexión corrientes transitorias Los contactores para condensador ultra compactos optimizados para la categoría de uso AC6b según la Norma IEC 947 de elevada intensidad ($>180 I_n$) y de frecuencias elevadas entre 1 a 15 kHz. Por lo tanto sin recurrir a contactores extremadamente sobredimensionados se aumenta la inductancia de la línea con el acoplamiento en serie de inductancias de choque.

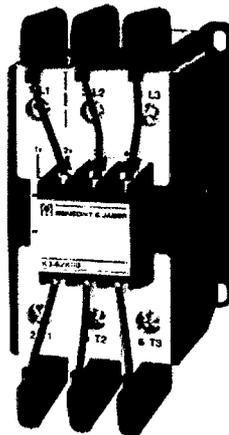


Figura N° 28 Contactores compactos para banco de condensadores

Fuente : Catalogo SCHNEIDER 2014

En este caso los contactores son aparatos de conexión equipados con resistencias de carga previa, que con ayuda de contactos capacitivos cargan de forma breve previamente el condensador, con lo que se evita ampliamente la corriente de irrupción que conlleva una menor reacción de red y una vida útil más larga de los condensadores. Los contactores utilizados poseen una larga vida útil que en baterías de condensadores dotadas de bobinas de reactancia es de como mínimo 200.000 ciclos de operación. Se debe seleccionar los contactores según la corriente nominal de los contactos principales, los contactores se suministran con distintas tensiones de accionamiento.

2.3.3 RELE PARA CONTROL AUTOMATICO:

Los relés térmicos son los aparatos más utilizados para proteger los motores componentes eléctricos contra las sobrecargas débiles y prolongadas. Se pueden utilizar en corriente alterna o continua.

Para este caso será del tipo electrónico controlado por microprocesador, debiendo contar con un mínimo de 5 pasos de corrección. Para ambos tableros (110kVAR y 225 kVAR) se deberá utilizar el mismo relé. El regulador debe medir el valor eficaz verdadero (TRMS) de las magnitudes eléctricas, con un factor de cresta de hasta 3:1, y poseer un algoritmo de control que le permita operar correctamente aún en redes con alto contenido armónico. Las normas de referencia que debe cumplir el regulador varimétrico son: Ensayos dieléctricos: IEC 255-5 ,Ensayos climáticos: IEC 68-2-61 y Ensayo de vibraciones: IEC 68-2-6

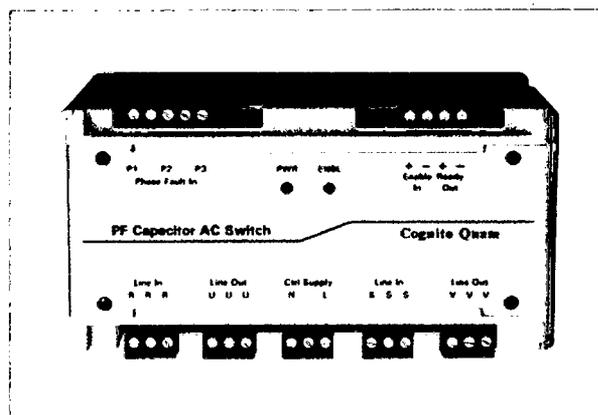


Figura N° 29 Relé de control automático de condensadores

Fuente : Catalogo DIRECTYINDUSTRIA

2.3.4 SECCIONADOR BAJO CARGA: Son interruptores de una subestación o circuitos eléctricos que protegen a una subestación de cargas eléctricas demasiado elevadas. Los mismos se emplearán para el corte general del equipo y serán del tipo de accionamiento rotativo mediante manija, aptos para la desconexión bajo carga en forma tripolar, respondiendo su capacidad de ruptura a las normas VDE 0660 - IEC 408/158.

La intensidad nominal del mismo en ningún caso será menor a 250 A para los equipos de 110 kVAR y 500 A para los 225 kVAR.



Figura N° 30 Seccionador bajo carga

Fuente : Catalogo UNELSAC

2.3.5 FUSIBLES NH:

Los cartuchos fusibles NH se usan principalmente en bases portafusibles NH, seccionadores bajo carga fusibles NH, en los interruptores-seccionadores con fusibles NH y en los interruptores-seccionadores-fusibles NH tipo base.

Los señalizadores NH se utilizan para visualizar a distancia el disparo de cartuchos fusibles NH. Deberán cumplir con las normas IEC 289 y VDE 0636 y ser los adecuados a la potencia capacitiva a proteger instalándose un juego general y uno por cada paso de corrección.

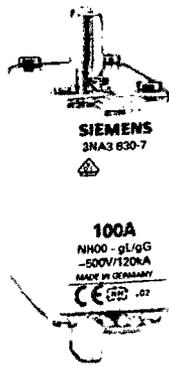


Figura N° 31 Fusible NH de seguridad

Fuente : Catalogo SIEMMENS

2.3.6 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE:

Un transformador de corriente o "TC" es el dispositivo que nos alimenta una corriente proporcionalmente menor a la del circuito. Es de aclarar que un transformador de corriente por su aplicación se puede subdividir en transformador de medición y transformador de protección, no obstante los transformadores se diseñan para realizar ambas funciones y su corriente nominal por secundario puede ser de 1 ó 5 Amperios, es decir desarrollan dos tipos de funciones, transformar la corriente y aislar los Instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión.

El primario del transformador se conecta en serie con el circuito cuya intensidad se desea medir y el secundario se conecta en serie con las bobinas de corriente de los aparatos de medición y de protección que requieran ser energizados.

Su principio de funcionamiento puede ser obtenido a través del modelo del transformador ideal, haciendo algunas consideraciones derivadas de su diseño y conexión dentro del sistema. Para los bancos de 220 kVAR se proveerán TI con relación 1000/5 para uso interior (SI) y para los de 110 kVAR de 500/5

2.4 OPERACIÓN DE UN BANCO DE CONDENSADORES:

2.4.1 GENERALIDADES: La potencia reactiva requerida (capacitiva) no es completamente constante durante las 24 horas del día. El requerimiento para potencia reactiva puede ser dividida en tres categorías.

REQUERIMIENTO PRÁCTICAMENTE CONSTANTE: Este caso se aplica cuando la carga reactiva es constante. Esto es cierto considerando la compensación de la corriente de magnetización de un transformador de distribución, por ejemplo: un capacitor fijo puede ser usado.

REQUERIMIENTO VARIABLE: Este caso puede resultar cuando la carga reactiva total varía durante el día, pero es aún demasiado pequeña para ser compensada individualmente en los objetos de carga diferentes (por razones de costo). Para este caso se debe usar un capacitor con potencia reactiva variable con la carga. Esto es un banco automático de capacitores.

REQUERIMIENTOS INSTANTÁNEOS: Este caso se aplica cuando el requerimiento es significativo en tamaño y la conmutación rápida es esencial (entre 0 y 0.25 ms). Capacitores controlados por tiristores pueden ser empleados.

2.4.2 PRINCIPIO DE OPERACIÓN:

Cada banco está construido con un cierto número de capacitores trifásicos colocados en el mismo gabinete (contenedor). Los capacitores pueden ser arreglados en grupos en paralelo y conmutados con contactores. Se caracterizan por :

- El número de capacitores autónomos está usualmente referido como pasos.
- El número de pasos.
- La conmutación de los contactores y sus capacitores individuales es controlado por un regulador (vármetro)

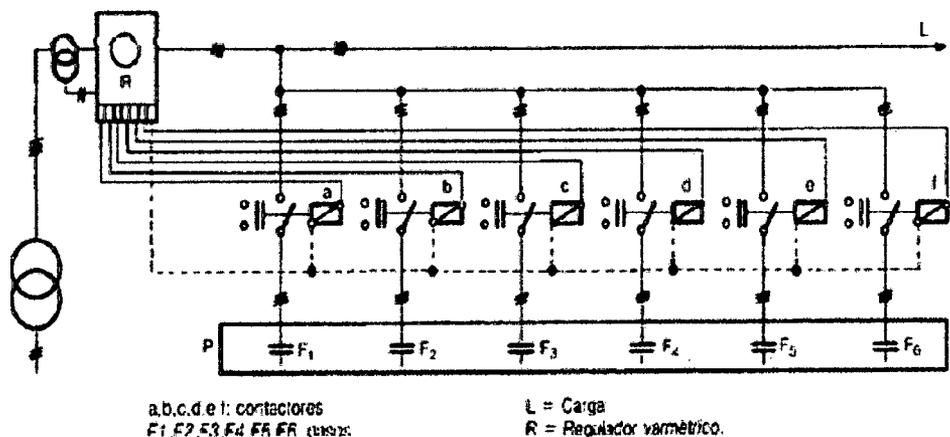


Figura N° 32 Diagrama esquemático de un banco de condensadores automático

Fuente : Calidad en Potencia Eléctrica (Augusto Abreu)

2.4.2 BANCOS AUXILIARES:

Los bancos de capacitores ASEA son preparados para grandes rangos de potencia. De hecho la potencia de cada paso de capacitor puede ser doblada instalando próximo al banco principal un banco auxiliar con una superestructura conteniendo seis contactores idénticos a aquellos del banco principal. De esta manera se obtiene una conexión en cascada. Es posible multiplicar el número de bancos aún más. El principio es el mismo, por ejemplo, el contacto auxiliar de cada contactor es usado para enganchar los pasos correspondientes en las siguientes unidades auxiliares. Los bancos de capacitores auxiliares no están equipados con reguladores de var y cada uno aumenta el valor de un paso por un sexto de la potencia adicional conectada.

2.4.3 REGULADOR DE VARES:

a. FUNCIONES:

- Medir potencia reactiva requerida y controlar la conmutación (conexión y desconexión) de los diferentes pasos de los capacitores dependiendo del factor de potencia deseado. Esto es de hecho de la siguiente manera:

Determinación del coseno ϕ deseado.

Medición del coseno ϕ .

Ajuste de sensibilidad.

Control de los pasos del capacitor.

Intervalos de conmutación entre dos pasos

- Desconexión en voltaje cero.
- Insensibilidad a las armónicas.
- Señalización de pasos de conmutación

b. MEDICION DEL COSENO ϕ :

Las señales de corrientes y voltaje son requeridas para determinar el valor del $\text{Cos}\phi$. Si la medición de corriente es hecha en la fase R, por ejemplo, y el voltaje es medido entre las fases S y T, el voltaje resultante estará 90° fuera de fase con respecto a la fase R.

Supongamos que el circuito es resistivo ($\cos \varphi = 1$). La corriente en R y el voltaje entre S y T esta cambiado en 90° . La secuencia de fase debe ser notada a fin de obtener una corriente retrasada del voltaje. La señal de la función del $\cos \varphi$. Puede ser obtenida de dos formas:

METODO DE INTEGRACION:

Determinamos el valor integral de la corriente durante una mitad de onda cuando el voltaje es positivo. Asi tenemos que cuando la corriente está en fase con el voltaje (no olvide que tenemos cambiado el voltaje en 90°) que el valor integral es idéntico en la zona positiva y negativa, siendo el resultado cero.

Cuando la corriente se retrasa (circuito inductivo) o se adelanta (circuito capacitivo), puede verse que el resultado no es más grande que cero, teniendo un valor positivo (circuito inductivo) o un valor negativo (circuito capacitivo).

Puede ser mostrado que este valor resultante es una función de:

- La corriente (la cual es el flujo de corriente principal en CT, si es provisto).
- El desfasamiento de corriente-voltaje.

MÉTODOS DE FASE:

Las señales de voltaje y corriente usadas son idénticas a aquellas descritas en el método precedente. La señal de voltaje alterno es transformada en un impulso de corta duración con amplitud constante y desfasada 90° . Esta es una señal senoidal, la cual es una función de la corriente de alimentación transistor de efecto de campo. El voltaje de salida será un impulso con amplitud proporcional al valor de la corriente en ese momento.

c. **AJUSTE DEL $\cos \varphi$:**

Este ajuste es hecho externamente por medio de un potenciómetro graduado en valores de $\cos \varphi$.

MÉTODOS DE INTEGRACIÓN:

El principio consiste en el desfasamiento de la señal de voltaje (usada para medir los valores del $\cos \varphi$) en relación a su fase original la cual es hecha por medio de un circuito RC. Cuando el valor de la resistencia es cero, el valor de voltaje de salida es igual y en fase con el voltaje de entrada. Por el incremento de del valor de la resistencia, desfasamos el voltaje de salida en relación al voltaje de entrada. Como estamos

integrando la corriente en función del tiempo donde el voltaje es positivo, el valor del voltaje no tiene importancia, tan sólo la fase es la que importa. La resistencia es regulada por medio de un potenciómetro graduado en valores de $\cos \varphi$.

MÉTODO DE FASE:

También actuamos sobre el vector de voltaje, por desfasamiento (en avance o retraso) el impulso representa el voltaje, usando un circuito RC en el que la constante de tiempo ha sido cambiada.

d. AJUSTE DE SENSIBILIDAD (c/k):

El ajuste de (c/k) consiste en usar ya sea atenuación de corriente o amplificación de la señal de salida de la medición del $\cos \varphi$.más ajuste. Determinando el valor de $\cos \varphi$ deseado por medio de la fijación de la potencia reactiva tolerada para un valor de potencia deseado. En otras palabras, fijando $\cos \varphi$ para una corriente activa dada por medio de la fijación de la corriente reactiva. La corriente reactiva es la diferencia entre la corriente resultante de la carga inductiva y la corriente capacitiva. En el caso de un banco automático, la corriente capacitiva aumenta por paso hasta que alcanza la resultante seleccionada. Puede verse de inmediato que es imposible obtener la corriente residual aceptable exacta, y que una tolerancia debe ser permitida. Si la tolerancia es insuficiente, hay un riesgo de bombeo, por ejemplo: una sucesión continúa de conexión y desconexiones de un paso. Es evidente que el bombeo puede ser evitado si la tolerancia de sensibilidad total, excede la corriente en un paso del capacitor. En la práctica el regulador no es puesto para reaccionar a cambios muy pequeños de la carga inductiva, sino para cambios correspondientes a 2/3 de la corriente de un paso del capacitor. Entonces el regulador sensibiliza la corriente de capacitor medio del transformador de corriente, es importante notar el rango del transformador. El valor de la variación también llamada corriente de inicio y es designada por c/k. El valor de c/k puedes ser calculado por la formula siguiente:

$$I_{c/k} = 0.62 * \frac{Q}{V * \sqrt{3} * k} * (10^3) = 360 * \frac{V}{Q * k} \dots \dots \dots (22)$$

En donde:

Q: potencia nominal de un paso del capacitor en KVAR

V: voltaje de la red en V

k: relación de transformación del transformador de corriente

El rango de las escalas del regulador varía entre 0.07 y 1

El valor de c/k es regulado tomando una parte del voltaje generado por la corriente integrada. Esto es hecho usando un potenciómetro graduado en c/k alimentado en un amplificador en paralelo con un circuito RC. El voltaje CD es la salida representa así una cierta parte de la potencia reactiva para ser compensada. Este voltaje de salida controla dos transistores uno NPN y otro PNP acoplados en paralelo. Dependiendo de la polaridad del voltaje medio, ya que uno u otro de esos transistores serán controlados. Los LED'S (diodos emisores de luz) son conectados en los circuitos del colector del transistor. Esos diodos indicarán si la corrección a ser realizada es inductiva o capacitiva.

e. CONTROL DE PASOS:

La señal de salida ajustada por el potenciómetro de c/k proporciona dos indicaciones:

- Si tienen un valor suficiente controlará la operación.
- Si es positivo, esta operación consiste en conectar un capacitor y viceversa

Por medio de un medidor (circuito integrado) recibiendo a señal, controla los contactores principales por medio de relevadores auxiliares integrados con el regulador de vares.

f. SECUENCIA DE CONEXIÓN:

Existen tres tipos principales.

ADICIÓN:

El primer capacitor es siempre conectado tan pronto como exista una demanda, el segundo, el tercero, etc. Son conectados cuando la demanda aumenta y viceversa. Esto es representado como 1.1.1.1.1

PROGRESIÓN:

El banco incluye capacitores con valores diferentes que son múltiplos del primer paso, por ejemplo: 1-2-4 etc. El paso 1 está en la primera demanda, si la demanda aumenta, el paso 2 es conectado y el paso 1 es desconectado. Un problema puede aparecer con la conexión de un capacitor con 4 veces la unidad de potencia, pero esto puede ser reducido con una secuencia 1-2-2.

ROTACIÓN:

Los métodos precedentes sólo permiten aumentos y ciertos capacitores (por ejemplo el primero), están con mucha mayor frecuencia conectados, con respecto los otros. En un intento de restaurar el balance tendríamos:

- Demanda: conecte 1
- Nueva demanda: conecte 2
- Reducción: desconecte (no es el 2 como en la secuencia de adición)

g. INTERVALOS CONMUTACION:

El problema con los intervalos demasiado cortos entre operación de conmutación, es importante cuando c/k es calculado inadecuadamente y puede conducir al efecto previamente mencionado llamado búsqueda. Aún si los capacitores están equipados con resistencia de descarga, es necesario permitir un cierto tiempo después de la desconexión de un capacitor antes que una nueva conexión sea hecha, para permitir al capacitor descargarse a un nivel de voltaje residual bajo. El capacitor, por lo tanto, no debe ser reconectado a una carga antes que haya sido suficientemente descargado. Un cierto tiempo mínimo debe ser fijado entre la desconexión y la reconexión del paso del capacitor. Este tiempo puede ser obtenido en el contador y es típicamente alrededor de 40 segundos. Esto es suficiente para evitar sobre corrientes extras debido a la conmutación repetida del capacitor.

h. DESCONEXION EN VOLTAJE CERO:

Para evitar el problema de la auto-excitación en un motor, el capacitor debe ser desconectado cuando el voltaje es cortado. Durante un corte principal excedido en 2 periodos, el medidor es automáticamente puesto a cero. El medidor es reactivado 90 segundos después de la reenergización.

i. ARMONICAS:

Las armónicas son más y más comunes en los sistemas de suministro principales, y es imperativo que el regulador de vares deba ser insensible a ellas. Durante una onda alterna fundamental, la integral de las armónicas pares es cero, pero la integral de las ondas armónicas impares iguala una alternancia. El regulador de vares trabajando por

integración es insensible a las armónicas pares y sensible a las armónicas impares pero con una atenuación. El regulador trabajando por examen de fase es altamente sensible a las armónicas, y debe tener un filtro de entrada que permita el paso de la onda fundamental sin modificación y las frecuencias altas atenuadas considerablemente por ejemplo:

- 1/5 de la 1era/2da armónica.
- 1/10 de la 3era armónica.
- 1/20 de la 4a armónica.

2.4.4 CALCULO DE LA POTENCIA REACTIVA:

Por lo tanto será el proyectista o instalador el que optará por el criterio a aplicar en cada caso, el objeto es proporcionar una guía para calcular la potencia reactiva necesaria:

CÁLCULO EN INSTALACIONES INDUSTRIALES CON MEDICIÓN DE ENERGÍA REACTIVA.

Conociendo las energías activa y reactiva consumidas en uno o varios períodos de medición, por ejemplo los estados mensuales de los medidores y las horas mensuales de Utilización, puede calcularse el consumo de potencia y el factor de potencia promedio de la instalación. El tiempo de utilización se refiere a la cantidad de horas efectivas de trabajo dentro del período de facturación de energía el cual viene siempre impreso en la factura. El tiempo de utilización se puede calcular aproximadamente tomando en cuenta los siguientes lineamientos: Por ejemplo se tiene una factoría con consumos de 5430 kWh y 6322 kVARh que trabaja de lunes a viernes de 8 a 18 horas, de las cuales de 8 a 12 horas lo hace al 100% de la carga, de 12 a 14 horas al 50%, y de 14 a 18 horas al 80%, además trabaja los sábados de 8 a 13 horas con sólo el 30% de la carga y se desea alcanzar un factor de potencia de 0.9. La facturación cubre un mes de 31 días con 4 sábados, 4 domingos y 2 feriados:

Entonces se tiene que:

$$\text{Tiempo de utilización} = 21 \times (1 \times 4 + 0.5 \times 2 + 0.8 \times 4) + 4 \times (0.3 \times 5) \approx 180 \text{ horas}$$

Luego aplicamos las ecuaciones:

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

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

$$Q_{CAP} = P * \left(\sqrt{\frac{1}{\cos \varphi_1^2} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos \varphi_2^2} - 1} \dots \dots \dots (23) \right)$$

Finalmente se selecciona las especificaciones para el banco de capacitores trifásicos en baja tensión con la potencia en KVAR calculada en el punto anterior, teniendo entonces:

Cuadro N° 6 Ejemplo de determinación de Capacidad de compensación mediante catálogos

Tensión de línea (V)	Potencia (kVar)		Capacitanci a nominal (µF)	Corriente nominal (A)		Fusible NH ó Dz (A)	Conductor de conexión mm²
	50 Hz	60 Hz		50 Hz	60 Hz		
220	2.1	2.5	137.01	5.5	6.6	10.0	2.5
	4.2	5.0	274.03	10.9	13.1	25.0	2.5
	6.3	7.5	411.04	16.4	19.7	32.0	6.0
	8.3	10.0	548.05	21.8	26.2	50.0	10.0
	10.4	12.5	685.07	27.3	32.8	63.0	16.0
	12.5	15.0	822.08	32.8	39.4	63.0	16.0
	14.6	17.5	959.09	38.2	45.9	80.0	25.0
	16.6	20.0	1096.12	43.7	52.5	100.0	25.0
	18.7	22.5	1233.12	49.1	59.0	100.0	35.0
	20.8	25.0	1370.14	54.6	65.6	125.0	35.0

Fuente : Calidad en Potencia Electrica(Augusto Abreu)

CÁLCULO DE LA POTENCIA REACTIVA POR EL MÉTODO DE TABLAS.

Para realizar el cálculo de la potencia reactiva por tabla es necesario conocer los siguientes aspectos:

- La potencia activa consumida en kW.
- El factor de potencia inicial .
- El factor de potencia deseado.

Suponiendo que una industria consume una potencia de 220 kW, con un factor de potencia de 0.85 atrasado y se desea mejorar el factor de potencia hasta 0.95, entonces a partir de estos datos se prosigue a calcular la potencia del banco de capacitores necesaria para compensar la potencia reactiva necesaria para elevar el factor de potencia al valor deseado.

Para ello inicialmente se debe hacer uso del cuadro siguiente y seleccionar en función del $\cos \varphi$ y de la instalación antes y después de la compensación una constante K a multiplicar por la potencia activa para encontrar la potencia del banco de capacitores a instalar.

La constante K que determinara el factor por el cual se debe multiplicar la potencia activa se localiza identificando en la primera columna el factor de potencia inicial de nuestro sistema, es decir el factor de potencia original sin compensación de potencia reactiva, posteriormente se identifica el valor del factor de potencia hacia el cual se quiera corregir y se elige el valor en el cual se intersecta el factor de potencia inicial con el deseado.

Cuadro N° 7 Factor K para compensación reactiva

Factor de potencia inicial	Factor K							
	Factor de potencia deseado							
	0.9	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97
0.76	0.371	0.4	0.429	0.46	0.492	0.526	0.563	0.605
0.77	0.344	0.373	0.403	0.433	0.466	0.5	0.537	0.578
0.78	0.318	0.347	0.376	0.407	0.439	0.474	0.511	0.552
0.79	0.292	0.32	0.35	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525
0.8	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499
0.81	0.24	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473
0.82	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447
0.83	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.38	0.421
0.84	0.162	0.19	0.22	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395
→ 0.85	0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369

Fuente : Manual Schneider

Aplicamos la siguiente ecuación:

$$Q = P * \text{Factor K} \dots \dots \dots (24)$$

CÁLCULO DE LA POTENCIA REACTIVA A PARTIR DEL RECIBO DE LA COMPAÑÍA ELÉCTRICA.

El cálculo de potencia a través del recibo es solamente un método aproximado pero muy práctico para el cálculo la potencia reactiva del banco de capacitores. Generalmente proporciona resultados aceptables, pero si no se hace un correcto análisis, los resultados pueden ser insatisfactorios. Para este caso el procedimiento a seguir es similar al realizado por el método de tablas, la factura eléctrica se encuentran los datos necesarios para calcular la potencia reactiva de los bancos de capacitores si se desea elevar el factor de potencia que se indica en la factura, la forma de calcularla es la siguiente:

De la factura eléctrica tenemos los datos de la potencia consumida en kW y KVAR así como el factor de potencia de nuestro sistema, de aquí que con los datos de las potencias podamos calcular el factor de potencia con las mismas ecuaciones con las que se ha trabajado anteriormente con la simple finalidad de corroborar de que este sea el correcto. Para calcular la potencia de los bancos de capacitores se hace uso de las ecuaciones anteriores considerando el factor de potencia al cual se quiera elevar.

2.4.5 CALCULO DEL NUMERO DE UNIDADES:

De acuerdo con el tipo de conexión y con los valores conocidos para las unidades capacitivas, los fabricantes de capacitores recomiendan la formación de grupos de serie. Ahora bien si se desea formar un banco de capacitores trifásicos de 30 MVAR, 115 kV entre fases en conexión estrella con neutro flotante, que permita una sobretensión máxima del 10% entonces se debe obtener el mínimo número de unidades capacitivas trifásico aplicando la ecuación por fase y suponiendo que se emplea una conexión estrella con neutro flotante formada de 5 grupos en serie, se encuentra el mínimo número de unidades trifásico.

Aplicando la ecuación siguiente se obtiene que:

$$\text{Mínimo Numero } 3_{\varphi} = \left(\text{Numero de grupos en } \frac{\text{serie}}{\text{fase}} \right) * (\text{mínimo numero de grupos en serie para las 3 fases}) \dots (25)$$

$$KVAR_{\text{unidad}} = \frac{KVAR_{3\varphi}}{\text{Mínimo numero de unidades trifasicas}} \dots \dots \dots (26)$$

2.5 EFECTOS DE LA COMPENSACION REACTIVA:

2.5.1 RESONANCIA:

Las condiciones de resonancia causan sobrecorrientes y sobretensiones. Hay dos posibilidades de condiciones de resonancia como se explica a continuación.

RESONANCIA SERIE.

La combinación de reactancias inductiva y capacitiva en serie forma un circuito resonante serie. Para el comportamiento de la impedancia de este circuito se observa que a una frecuencia llamada frecuencia de resonancia, la impedancia se reduce a un

valor mínimo el cual es muy bajo y de naturaleza resistiva. El circuito ofrece una impedancia muy baja a esta frecuencia lo cual causa un aumento en muchas veces de la corriente.

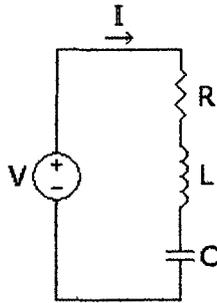


Figura N° 33 Circuito Resonancia serie

Fuente : Wikipedia

La resonancia serie ocurre en muchos casos, cuando las armónicas están presentes en lado primario del transformador. El transformador junto con los capacitores en el lado secundario de baja tensión actúan como un circuito resonante serie para el lado de alta tensión. Si la frecuencia de resonancia de la combinación L y C coincide con una frecuencia armónica existente puede sobrecargarse el equipo. Este circuito resonante serie provee un paso de baja impedancia a las armónicas en este caso. La cantidad de absorción dependerá de la posición relativa de la frecuencia de resonancia con respecto a la frecuencia de la armónica. Esta corriente armónica impone una carga adicional al transformador y especialmente a los capacitores. La tensión del lado de baja tensión del sistema se distorsiona como resultado de la resonancia.

RESONANCIA PARALELO.

Una combinación en paralelo de reactancia inductiva y una capacitiva forma un circuito resonante paralelo. A la frecuencia de resonancia la reactancia inductiva iguala a la capacitiva. La impedancia resultante del circuito aumenta a valores muy altos a la frecuencia de resonancia. La excitación de un circuito resonante paralelo causa una tensión muy alta sobre las impedancias y corrientes. Muchos de los sistemas de energía están equipados con capacitores para corrección del factor de potencia. La capacitancia forma un circuito resonante paralelo con las impedancias de la carga y del transformador. En consecuencia el generador de armónicas encuentra una aumentada reactancia de red. Consecuentemente la corriente armónica causa una tensión armónica

aumentada comparada con la red no compensada (XL) la cual puede ser acompañada por distorsión de la fundamental.

Entre la red y el capacitor fluyen corrientes iguales que pueden llegar a sumar un múltiplo de la corriente armónica. Los transformadores y capacitores son cargados adicionalmente lo cual puede causar la sobrecarga de los mismos. El punto de resonancia paralelo depende de la inductancia de la red y de la potencia capacitiva. Por lo tanto es posible ubicar el punto de resonancia de manera de asegurar la menor perturbación. En realidad la impedancia de la red no permanece constante todo el tiempo porque está determinada por la potencia de cortocircuito de la red y de las cargas conectadas a ellas. La potencia de cortocircuito de la red varía con el estado de conexión y el punto de resonancia paralelo se mueve con la configuración de la red. Por lo tanto el fenómeno puede ser más complicado cuando el equipo de corrección del factor de potencia varía por pasos.

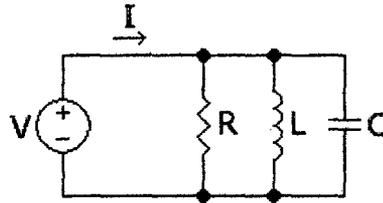


Figura N° 34 Circuito Resonancia paralelo

Fuente : Wikipedia

El problema en los capacitores es debido a la resonancia que presentan con el sistema, esta frecuencia de resonancia muchas veces se encuentra cercana a la 5° o 7° armónica, las cuales son armónicas muy comunes en los sistemas eléctricos. De esta manera la frecuencia de resonancia a la cual está expuesto un banco de capacitores está dado por la ecuación, la cual es:

$$f_{res} = \sqrt{\frac{MVA_{cc}}{MVAR_{SCAP}} \dots \dots (27)}$$

Dónde:

MVACC = Es la potencia de corto circuito donde está conectado el banco de capacitores.

MVARSCAP = Es la potencia del banco de capacitores.

2.5.2 COMPONENTES ARMONICOS:

Las corrientes armónicas son aquellas que se manifiestan dentro de los sistemas eléctricos a una frecuencia múltiplo de la fundamental 60 Hz , por ejemplo, la 3°. [180 Hz], 5° [300 Hz], 7a. armónica [420 Hz], etc.

La distorsión de la onda senoidal fundamental, generalmente ocurre en múltiplos de la frecuencia fundamental. Así sobre un sistema de potencia de 60 Hz, la onda armónica tiene una frecuencia expresada por la ecuación siguiente:

$$f = n * 60 \text{ Hz} \dots \dots \dots (28)$$

Dónde:

n = 1, 2, 3, 4.....,etc.

La figura ilustra la onda senoidal a la frecuencia fundamental (60 Hz) y su 2°, 3°, 4°y 5° armónicos.

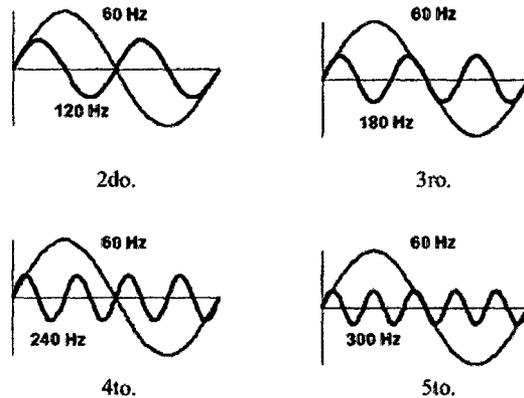


Figura N° 35 Comportamiento de armónicos
Fuente : Calidad en Potencia Electrica(Augusto Abreu)

La Figura siguiente, muestra como una onda deformada puede ser descompuesta en sus componentes armónicas. La onda deformada se compone de la fundamental combinada con las componentes armónicas de 3er y 5to orden.

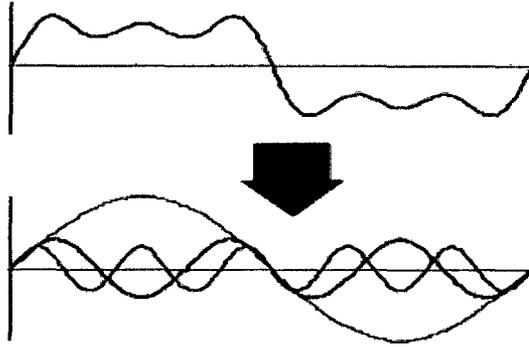


Figura N° 36 La onda deformada compuesta por la superposición de una fundamental a 60 Hz y armónicas menores de tercer y quinto orden.

Fuente : Calidad en Potencia Eléctrica(Augusto Abreu)

Las corrientes armónicas son producidas por todas las cargas que tengan una fuente de rectificación produce una distorsión de la onda fundamental de 60 Hz. Estas cargas son llamadas No-lineales y se relacionan con cualquier tipo de carga electrónica, tales como balastos electrónicos, arrancadores estáticos, PC's, entre otras.

Las armónicas pueden ocasionar disturbios en la red de distribución de energía eléctrica y causar calentamiento en cables, en los devanados de los motores y transformadores, el disparo repentino de interruptores, el sobrecalentamiento (y posible explosión) de capacitores, y también el mal funcionamiento de equipos de control y medición en general. En particular, al incorporar un banco de capacitores en una instalación con equipos productores de armónicas, se debe tener en cuenta que aunque los capacitores son cargas lineales, y por lo tanto no crean armónicas por si mismos, pueden contribuir a producir una amplificación importante de las armónicas existentes al entrar en combinación con las mismas.

Al respecto hay que considerar que la impedancia de un capacitor se reduce cuando crece la frecuencia, presentando así un camino de baja impedancia para las corrientes de las armónicas superiores. Por su parte, los capacitores de corrección del factor de potencia forman un circuito paralelo con la inductancia de la red de distribución y con la del transformador. Así las corrientes armónicas generadas por los elementos no lineales se dividen entre las dos ramas de este circuito paralelo, dependiendo de la impedancia presentada por el circuito para cada armónico. Esto puede provocar una sobre corriente muy perjudicial para el capacitor. En el peor de los casos, cuando la frecuencia de alguna

corriente armónica coincide, o está próxima, con la frecuencia de resonancia del circuito paralelo, la corriente que circula por cada rama del banco puede llegar a ser tan grande que los capacitores se degraden aceleradamente, o eventualmente exploten. Asimismo, estas corrientes armónicas también producen sobretensiones que se suman a la tensión total aplicada al capacitor y pueden dañar al dieléctrico del mismo.

Al energizar un banco de capacitores esta toma corrientes transitorias, cuya magnitud puede llegar a alcanzar valores elevados en el momento de cerrar el circuito. Un banco de capacitores descargado, hace bajar momentáneamente a cero la tensión de la línea en el lugar de su instalación, y para el sistema esto representa un corto circuito aparente. Si los capacitores se encontraban cargados antes de conectarse a la línea y si la polaridad de tensión era distinta a la de la línea en el momento de la conexión, se producen corrientes todavía más altas.

Existen dos razones que se deben considerar cuando se instalen capacitores para corregir el factor de potencia. La primera razón, es como ya se había mencionado anteriormente es que los capacitores son por naturaleza un camino de baja impedancia para las corrientes armónicas, esto es, absorben la energía a las altas frecuencias. Este aumento en las corrientes, incrementa la temperatura del capacitor y por consiguiente reduce su vida útil.

La segunda razón, y potencialmente más peligrosos, es el efecto de resonancia. Cuando los capacitores son conectados al sistema eléctrico, ellos forman un circuito de resonancia en paralelo junto con las inductancias del sistema (transformador). Si llegase a existir una corriente armónica cercana al punto de resonancia formado, entonces el efecto se magnifica. Este efecto amplificado, puede causar serios problemas tales como un exceso en la distorsión de tensión, disparos por sobretensiones en los controladores, niveles de aislamiento estresados de transformadores y conductores.

Se recomienda que para evitar que la distorsión armónica no afecte el funcionamiento adecuado de un capacitor, su corriente eficaz no debe sobrepasar un 115% de su valor a plena carga.

2.6 ASPECTOS LEGALES DE LA COMPENSACION REACTIVA EN EL PERU.

2.6.1 FUNDAMENTO:

En cumplimiento del Artículo 25° del Reglamento General del OSINERGMIN, mediante Resolución OSINERGMIN N° 188-2013-OS/CD, fue publicada el 17 de setiembre de 2013, se dispuso la publicación del proyecto de resolución que aprueba la nueva norma "Opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicación de las Tarifas a Usuario Final", contribuyendo de ese modo a garantizar la transparencia, cognoscibilidad y predictibilidad de las acciones que el organismo regulador adopte en el cumplimiento de sus funciones

La presente norma se rige por las siguientes disposiciones legales y sus respectivas normas concordantes, modificatorias y sustitutorias:

- Decreto Ley N° 25844, Ley de Concesiones Eléctricas (LCE).
- Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas (RLCE), aprobado por Decreto Supremo N° 009-93-EM.
- Decreto Supremo N° 020-97-EM, Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos.
- Decreto Supremo N° 007-2006-EM y sus modificatorias establecidas por el Decreto Supremo N° 031-2008-EM, sobre modificaciones al Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas y disposiciones sobre el sistema prepago de electricidad.
- Resolución Ministerial N° 137-2009-MEM/DM, que establece el Sistema de Medición Centralizada.
- Ley N° 28832, Ley para Asegurar el Desarrollo Eficiente de la Generación Eléctrica.
- Decreto Supremo N° 022-2009-EM, que aprueba el Reglamento de Usuarios Libres de Electricidad.
- Ley N° 28749, Ley General de Electrificación Rural (LGER).
- Decreto Supremo N° 025-2007-EM que aprueba el Reglamento de la Ley General de Electrificación Rural (RLGER)
- Resolución OSINERGMIN N° 153-2011-OS/CD, que fija los presupuestos y cargos mensuales de reposición y mantenimiento de la conexión eléctrica.

2.6.2 ARTÍCULO 16°.- FACTURACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA

La facturación por energía reactiva se incluirá en las opciones tarifarias MT2, MT3, MT4, BT2, BT3 y BT4 de acuerdo a lo siguiente:

- a. Consumo de energía reactiva inductiva hasta el 30% de la energía activa total mensual.
Sin cargo alguno.
- b. Consumo de energía reactiva inductiva que exceda el 30% de la energía activa total mensual.

La facturación del exceso de la energía reactiva inductiva es igual al producto de dicho exceso por el costo unitario (expresado en S./kVAR.h), según se muestra en las siguientes relaciones:

$$ER_{facturada} = ER_{leida} - (0.3 * Energia Activa Total) \dots \dots \dots (29)$$

CER = Cargo por energía reactiva, expresado en S./kVAR.h

Factura ER = $ER_{facturada} \times CER$

- c. Inyección de energía reactiva capacitiva
No está permitida la inyección de energía reactiva capacitiva a la red. En todo caso la empresa de distribución eléctrica deberá coordinar con el usuario la forma y plazos para corregir esta situación. De no cumplir con la corrección dentro de los plazos acordados entre las partes, la empresa de distribución eléctrica podrá facturar el total del volumen de la energía reactiva capacitiva registrada por el doble de la misma tarifa definida para el costo unitario de la energía reactiva inductiva.
- d. Facturación de la energía reactiva
La facturación de energía reactiva deberá realizarse sobre la base de la medición mensual de la misma.

2.7 CONTROL DE LA DEMANDA ELECTRICA:

2.7.1 GENERALIDADES:

El diagrama de carga es un diagrama característico mediante el cual se puede representar el comportamiento de la operación del consumo de un determinado insumo energético de una Planta Consumidora de Energía. Este diagrama se construye para un periodo característico de operación que generalmente es de 24 horas.

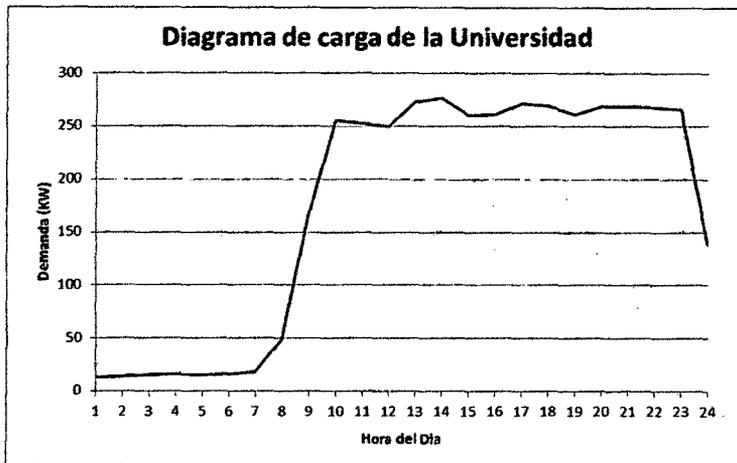


Figura Nº 37 Diagrama de Carga de una Universidad

Fuente: Manual de Plantas Consumidoras de Energía (Robert Guevara)

Los Diagramas de carga permiten así mismo la construcción de los diagramas de duración de la carga , en los cuales se permite reflejar la frecuencia con que una determina carga se presenta en la cantidad de horas del día, así por ejemplo en el siguiente diagrama de duración de carga tenemos las siguientes interpretaciones:

- Durante las 24 horas del día se ha presentado cargas o consumos superiores a 12.95 KW.
- Durante 17 horas del día la demanda ha sido superior a 167.85 KW.
- Durante 9 horas del día la demanda ha sido superior a 261.1 KW.
- La Máxima demanda del día es 276.75 KW.

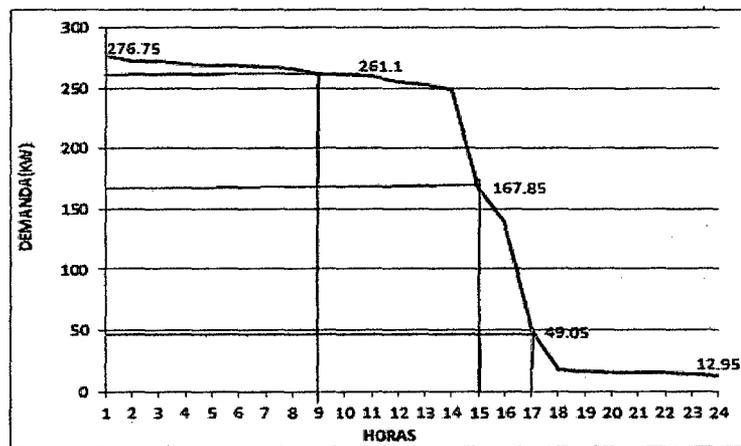


Figura Nº 38 Diagrama de duración de Carga de una Universidad

Fuente: Manual de Plantas Consumidoras de Energía (Robert Guevara)

2.7.2 DIAGRAMAS DE CARGA EN FUNCION A CONDICIONES TARIFARIAS:

En función a la Resolución N° 206-2013 OS/CD se establecen los criterios de aplicación de las condiciones tarifarias vigentes para el periodo 2013-2017 en el mercado Eléctrico Regulado del Perú. Con la característica que la segmentación entre clientes en baja y media tensión es : Clientes en Baja Tensión , con acometidas igual o menor a 1 kV , mientras que para clientes en media Tensión ,estos últimos tienen acometidas con tensión superior a 1 kV.

TARIFA MT-2/BT2: Se caracterizan por ser grandes consumidores de energía durante las horas fuera de punta (23.00 horas a 18.00 horas del día siguiente, optando por consumos mínimos o desconexión del suministro de la red eléctrica de externa durante las horas punta. Los precios aplicados para los consumos de energía y potencia son elevados cuando en esta Tarifa se opta por consumir energía durante las horas de punta, bloque horario en el cual los costos unitarios de energía y potencia son elevados. Las empresas que optan por esta tarifa asumen su requerimiento de demanda en Horas Punta a través de Grupos Electrónicos , que por lo general se ven afectados estos últimos por un factor de potencia igual a 0.88.Las Empresas con Plantas frigoríficas optan no optan por esta tarifa por ser extremadamente cara. Facturan los siguientes cargos:

Energía Activa Hora Punta y Horas fuera de Punta.

Energía reactiva.

Potencia Activa de Generación en Horas Punta.

Potencia Activa por Redes de Distribución en Horas Punta.

Exceso de Potencia Activa por Redes de Distribución en Horas fuera de punta.

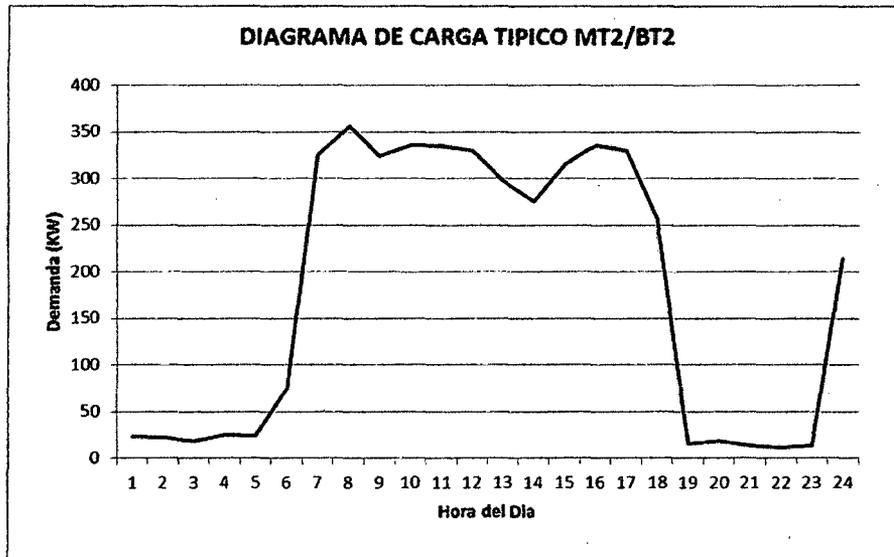


Figura N° 39 Diagrama de Carga Típico MT2/BT2

Fuente: Manual de Plantas Consumidoras de Energía (Robert Guevara)

TARIFA MT3/BT3: Se caracterizan por ser grandes consumidores de energía durante las horas fuera de punta (23.00 horas a 18.00 horas del día siguiente), y optando por tener consumos controlados en función al grado de calificación (igual a 0.5), parámetro a partir del cual se discriminan los precios en horas punta como los precios en horas fuera de punta. Dentro de las empresas o centros de consumo de energía, en este caso Plantas frigoríficas que optan por esta tarifa tenemos: Plantas de Hielo, Cámaras de Conservación, Túneles de Congelamiento, pero teniendo que estar respaldados ciertas horas punta de consumo por grupos electrógenos.

Facturan los siguientes cargos:

Energía Activa Hora Punta y Horas fuera de Punta.

Energía reactiva.

Potencia Activa de Generación en función al grado de calificación.

Potencia Activa por Redes de Distribución en función al grado de calificación.

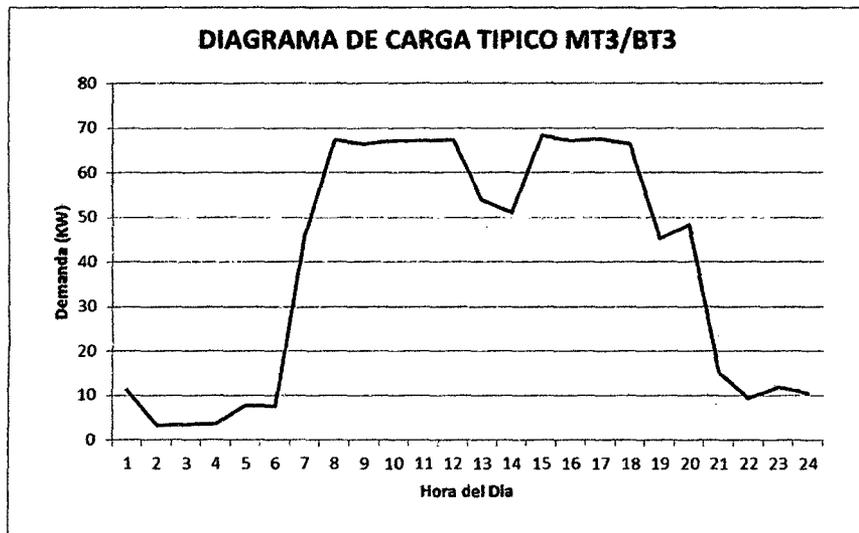


Figura N° 40 Diagrama de Carga Típico MT3/BT3

Fuente: Manual de Plantas Consumidoras de Energía (Robert Guevara)

TARIFA MT4/BT4: Se caracterizan por ser grandes consumidores de energía durante las horas fuera de punta y horas punta, y generalmente se ven afectados por un grado e calificación superior a 0.5, lo cual encarecen los costos de facturación eléctrica.

Esta tarifa es la más utilizada por las Plantas frigoríficas que optan por esta tarifa debido a que la operación de sus equipos se realizan de manera continua las 24 horas en función de los arranques del motor eléctrico del compresor de refrigeración.

También optan por esta tarifa los Centros Comerciales, Universidades Particulares, Restaurants, Hoteles, Casinos, Grifos, entre otros.

Facturan los siguientes cargos:

Energía Activa Total.

Energía reactiva.

Potencia Activa de Generación en función al grado de calificación.

Potencia Activa por Redes de Distribución en función al grado de calificación.

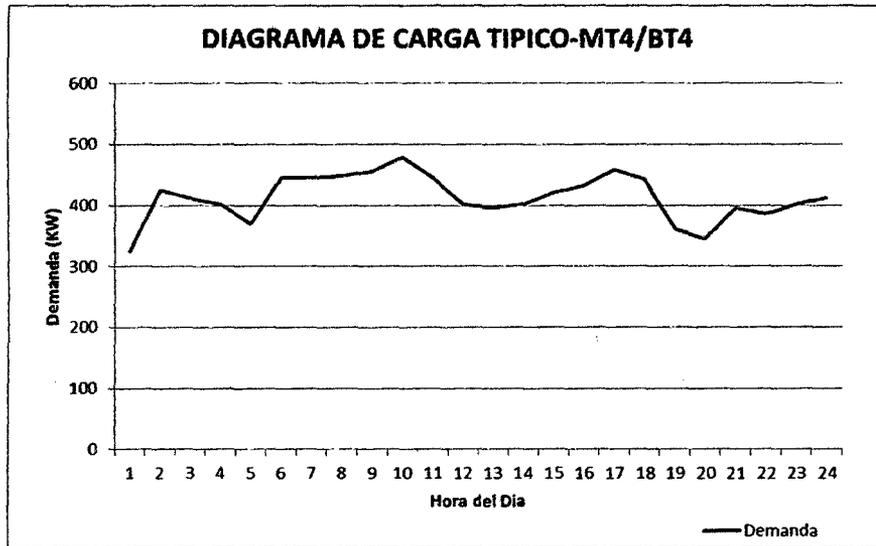


Figura Nº 41 Diagrama de Carga Típico MT4/BT4

Fuente: Manual de Plantas Consumidoras de Energía (Robert Guevara)

2.7.3 DIAGRAMAS DE CARGA PARA POTENCIA ACTIVA Y POTENCIA REACTIVA:

Debido a la versatilidad de la representación que brindan los diagramas de carga ,se pueden superponer dos variables o parámetros de consumo , en este caso la energía activa y la energía reactiva correspondiente para en determinado periodo de tiempo.

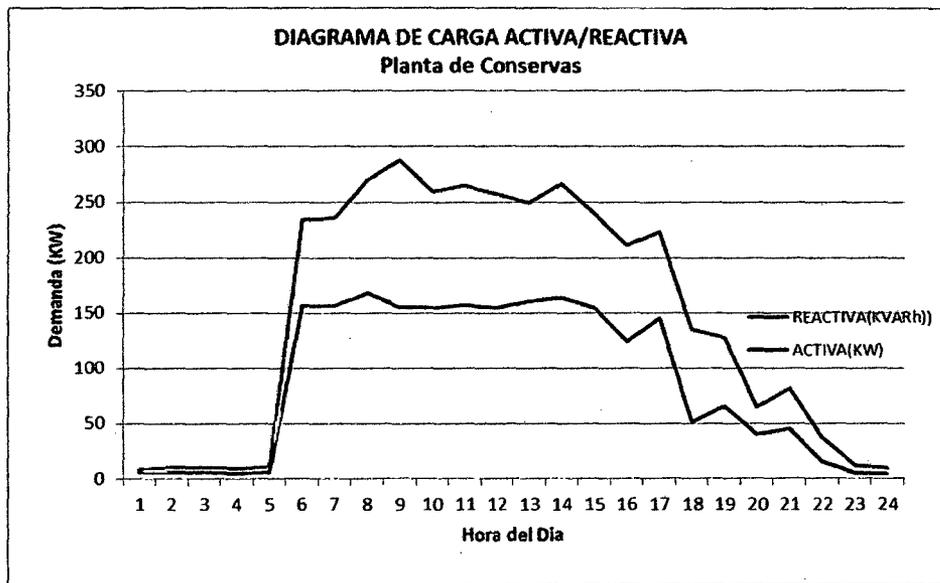


Figura Nº 42 Diagrama de Carga Activa/Reactiva

Fuente: Manual de Plantas Consumidoras de Energía (Robert Guevara)

Para la determinación de la energía consumida instantánea ya sea reactiva o activa , se aplica la técnica de integración debajo del paralelogramo para cada instante e tiempo , así tenemos:

2.7.4 CARACTERISTICAS DE CONSUMO ELECTRICO PARA PLANTA FRIGORIFICA:

a. CICLO TERMODINAMICO DE REFRIGERACION:

Los procesos son los siguientes en el ciclo de refrigeración ideal,

- **PROCESO 1-2:** Proceso de compresión adiabático y reversible del gas refrigerante a entropía constante, en el cual desde la presión de baja el refrigerante se comprime incrementando su presión y temperatura y reduciendo su volumen específico, desde el estado de vapor saturado al estado de vapor sobrecalentado. Este se realiza adicionando trabajo mecánico al sistema, el cual es un compresor, que puede ser del tipo recíprocante, tornillo o hermético. En este proceso se entrega trabajo mecánico al compresor para impulsar al refrigerante; esto implica el consumo de energía eléctrica.
- **PROCESO 2-3:** El gas refrigerante en estado de vapor sobrecalentado cede calor sensible y calor latente en un proceso isobárico dentro del condensador, actuando a la presión de alta del sistema. La cesión de calor se realiza a través de un proceso de transferencia de calor con el medio externo al sistema de refrigeración, por medio de convección natural para sistemas pequeños, por intercambio de calor de forma indirecta con agua y aire en un sistema forzado. Este proceso se conoce como Calor de rechazo , y se realiza dentro de un intercambiador de calor llamado condensador evaporativo.
- **PROCESO 3-4:** Dentro de la válvula de expansión el gas refrigerante cambia de presión, reduciéndose esta el valor de la presión de baja del ciclo. El proceso se inicia con el refrigerante en el estado de líquido saturado, posteriormente se expande en un proceso a entalpía constante, sin intercambio de calor, ni cesión o suministro de trabajo mecánico.

- PROCESO 4-1: El refrigerante en el estado de vapor húmedo y a la presión de baja , absorbe el calor de la carga a refrigerar ebulle hasta su punto de saturación. El refrigerante absorbe el calor contenido en la carga a refrigerar reduciéndole su temperatura y así mismo manteniéndola en esas condiciones. Este proceso se realiza a presión constante, alcanzando el refrigerante finalmente el estado de vapor saturado, condiciones en las cuales se inicia el proceso de compresión. Se procesó se conoce como Efecto Refrigerante, y cuando más alto su valor numérico, el ciclo refrigerante es más eficiente. El proceso se realiza dentro de un intercambiador de calor llamado evaporador.

En la figura siguiente se presenta el diagrama presión y entalpia del ciclo termodinámico ideal del sistema de refrigeración por compresión de vapor y así mismo el sistema básico de distribución de equipos:

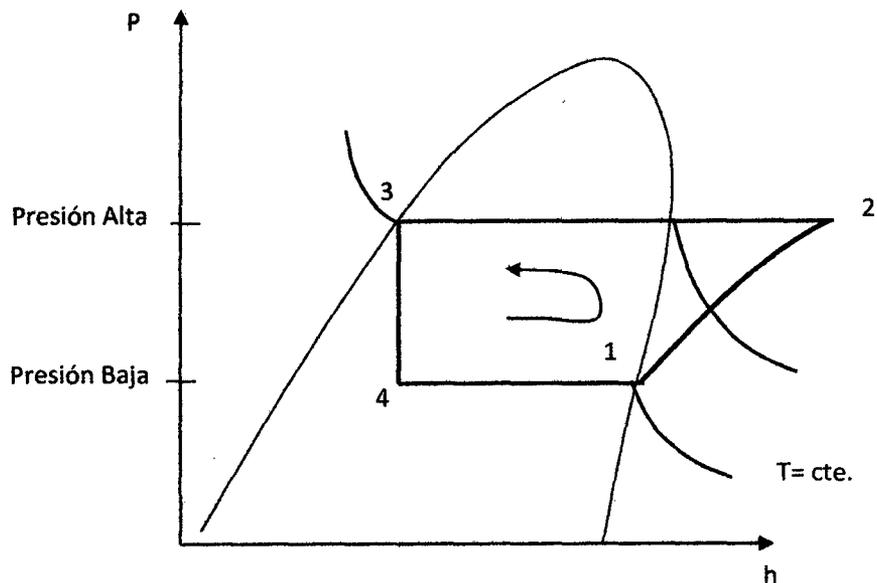


Figura N° 43 Diagrama P vs h del Ciclo Termodinámico Ideal de Refrigeración por Compresión de Vapor

Fuente: Elaboración Propia.

b. ESQUEMA REAL DE OPERACIÓN:

Las Irreversibilidades de los procesos, afectan sustancialmente al ciclo de refrigeración por compresión de vapor, se presenta la siguiente distribución de equipos para un ciclo de refrigeración real:

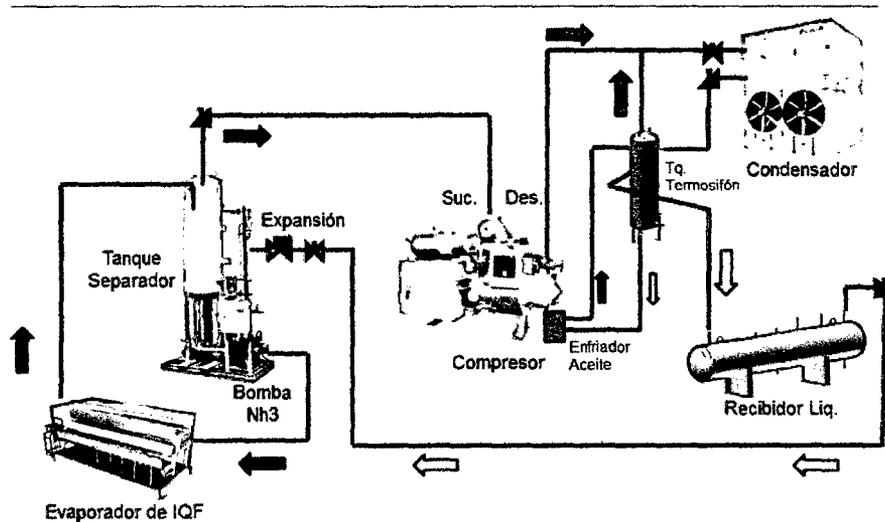


Figura N° 44 Distribución de Equipos Planta de Congelado.

Fuente: Cía. Johson Controls

c. DIAGRAMA DE CARGA TERMICO DE PLANTAS FRIGORIFICAS:

La operación de las Plantas frigoríficas aparte de depender del tipo de procesamiento que realiza , tiene dependencia de las estaciones del año , sobre todo si se ubica en zonas geográficas donde la temperatura de verano es superior a los 28 °C , lo que provoca una constante operación de los motores eléctricos que conforman la Planta frigorífica durante las 24 horas , condiciones diferentes se dan en ambientes en donde el invierno es pronunciado ,menos de 12°C , a lo cual se opta por apagar los motores eléctricos de los compresores por lo menos ¼ del tiempo del día debido a la temperatura fría del ambiente.

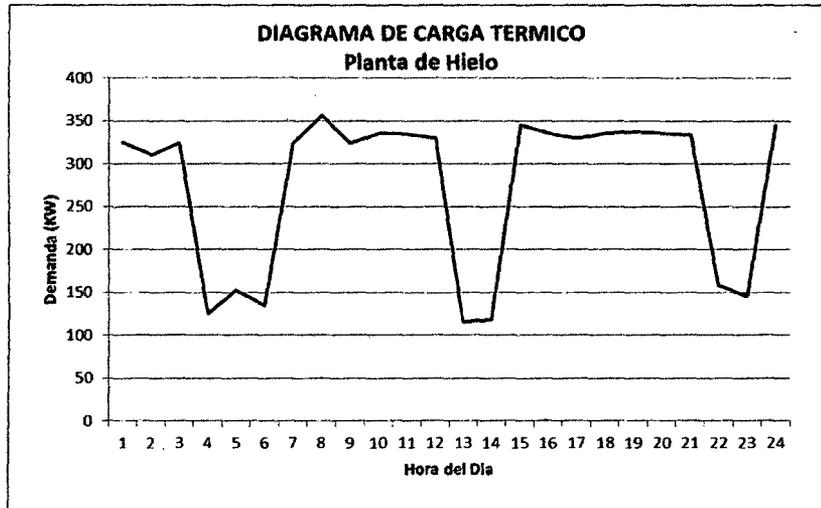


Figura Nº 45 Diagrama de Carga Térmico

Fuente: Manual de Plantas Consumidoras de Energía (Robert Guevara)

2.8 RENTABILIDAD ECONOMICA:

Se tienen los siguientes parámetros de rentabilidad para la instalación del sistema de compensación reactiva para la Planta Frigorífica:

2.8.1 VALOR ACTUAL NETO:

El valor Actual Neto (VAN) llamado también Valor Presente Neto, es un indicador de rentabilidad que representa la diferencia que existe entre el valor actual de los flujos de fondos de la inversión y el capital inicial necesario para realizarla. Calcular el VAN sirve para traer los flujos de caja futuro al valor presente, descontados a una tasa de descuento específica, para así poder compararlos con el importe inicial (capital) de la inversión.

Como regla general, si el VAN es positivo (es decir, mayor a 0) el proyecto es rentable y se recomienda realizar la inversión. Por el contrario, si el VAN es negativo (menor a 0), el proyecto no es rentable y debería rechazarse. En caso de tener dos proyectos con VAN positivo, conviene elegir aquel con el VAN más alto.

El VAN se evalúa según la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC}{(1+i)^t} - I \dots \dots \dots (30)$$

Dónde:

- Los Flujos de Caja (FC): Corresponde a los flujos de caja futuro en la que la empresa incurre anualmente.
- La Inversión Inicial (I): Corresponde al Valor Inicial o desembolso que la empresa hará en el momento de contraer la inversión.
- La tasa de descuento: Es la tasa de retorno requerida sobre una inversión. La tasa de descuento refleja la oportunidad perdida de gastar o invertir en el presente por lo que también se le conoce como tasa de oportunidad.
- Numero de periodos de duración del proyecto.

Para la determinación del flujo de caja se tiene la siguiente ecuación:

$$FC = A_t - CO_t \dots (40) \dots \dots (31)$$

Dónde:

A_t = Ingresos, ahorro o ganancia obtenida en cada periodo de tiempo analizado. (Para cada año)

CO_t = Egresos por Costos de Operación y Mantenimiento anual.

2.8.2 TASA INTERNA DE RETORNO:

La tasa interna de retorno (TIR), representa la tasa que iguala el valor presente neto a cero. Es un método derivado del Valor Actual Neto. La tasa interna de retorno también es conocida como la tasa de rentabilidad producto de la reinversión de los flujos netos de efectivo dentro de la operación propia del negocio y se expresa en porcentaje.

La evaluación de los proyectos de inversión cuando se hace con base en la Tasa Interna de Retorno, toman como referencia la tasa de descuento del mercado. Si la Tasa Interna de Retorno es mayor que la tasa de descuento, el proyecto se debe aceptar pues estima un rendimiento mayor al mínimo requerido, siempre y cuando se reinviertan los flujos netos de efectivo. Por el contrario, si la Tasa Interna de Retorno es menor que la tasa de descuento, el proyecto se debe rechazar pues estima un rendimiento menor al mínimo requerido. Matemáticamente se evalúa a través de la siguiente ecuación:

$$0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC}{(1+i)^t} \dots \dots \dots (32)$$

2.8.3 PAY BACK:

El Pay Back, también denominado plazo de recuperación, es uno de los llamados métodos de selección estáticos. Se trata de una técnica que tienen las empresas para hacerse una idea aproximada del tiempo que tardaran en recuperar el desembolso inicial en una inversión.

Esta herramienta es útil para la decisión de aceptar solo los proyectos e inversiones que devuelvan dicho desembolso inicial en el plazo de tiempo que se estime adecuado.

Sin embargo, el Pay Back (plazo de recuperación), como los demás métodos de selección estáticos, no tiene en cuenta ni el valor actual de los flujos de cajas futuro ni el flujo de caja de los últimos periodos por eso, si bien el análisis es más sencillo, no están completo como uno realizado con un método de selección dinámico.

$$PAY\ BACK = \frac{INVERSION}{AHOROS\ OBTENIDOS} \dots\dots\dots(33)$$

CAPITULO III:
MATERIALES Y METODO

3.1 MATERIALES

Dentro del Material utilizado se tiene lo siguiente:

3.1.1 SUSTANCIAS:

- a. **POTENCIA ACTIVA:** Representa la capacidad de una instalación eléctrica para transformar la energía eléctrica en trabajo útil: mecánica (movimiento o fuerza), lumínica, térmica, química, etc. Esta potencia es realmente la consumida en una instalación eléctrica. Se representa por P y se mide en vatios (W). La suma de esta potencia activa a lo largo del tiempo es la energía activa (kWh), que es lo que factura la compañía eléctrica (término de energía)
- b. **POTENCIA REACTIVA:** No es una potencia (energía) realmente consumida en la instalación, ya que no produce trabajo útil debido a que su valor medio es nulo. Aparece en una instalación eléctrica en la que existen bobinas o condensadores, y es necesaria para crear campos magnéticos y eléctricos en dichos componentes. Se representa por Q y se mide en voltamperios reactivos (VAR).
La compañía eléctrica mide la energía reactiva con el contador (kVARh) y si se superan ciertos valores, incluye un término de penalización por reactiva en la factura eléctrica.

3.1.2 EQUIPOS:

- a. **ANALIZADOR DE REDES:** Un Analizador de Redes es un instrumento capaz de analizar las propiedades de las redes eléctricas, especialmente aquellas propiedades asociadas con la reflexión y la transmisión de señales eléctricas, conocidas como parámetros de dispersión (Parámetros-S). Los analizadores de redes son más frecuentemente usados en altas frecuencias, que operan entre los rangos de 9 kHz hasta 110 GHz. Para nuestro caso se hizo uso del siguiente equipo:

Cuadro N° 8 Datos Técnicos de Circuito e3

Tensión	100...400 V c.a , 70,...,315 V c.c
Consumo	9 VA
Tensión (f-N)	10...400 V c.a. (f-N)
Tensión(f-f)	17...520 V c.a. (f-f)
Precisión	0,5 % F.E
Grado de Protección	IP53

Fuente : Manual de CIRCUITOR e3

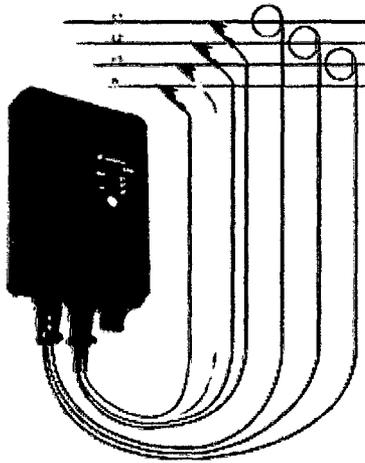


Figura N° 46 Circuito e3

Fuente: Manual de Circuito e3

- b. **COSFIMETRO:** Un cosímetro, cosenofímetro, cofímetro o fasímetro es un aparato para medir el factor de potencia ($\cos\phi$). Tiene en su interior una bobina de tensión y una de corriente dispuesta de tal forma que si no existe desfasaje, la aguja está en cero (al centro de la escala) lo que mide el cosímetro es el desfase que se produce entre la corriente y la tensión producto de cargas inductivas o capacitivas. Para nuestro caso se hizo uso de un equipo de las siguientes características:

PINZA DIGITAL MEDIDORA DE POTENCIA PCE-UT232: Detalles:

Medición indirecta (1 a 3 fases) mediante la pinza integrada.

Mediciones de potencia: Potencia activa (kW) , Potencia aparente (kVA) , Potencia reactiva (kVAR), Factor de potencia ($\cos \phi$), Ángulo de fase , Integrador de energía activa (kWh).

Mediciones de multímetro: Valor efectivo real / tensión, Valor efectivo real / corriente, Frecuencia

Registrador de datos de 99 valores visualízales en pantalla

Memoria para los valores mínimo, máximo y Data-Hold

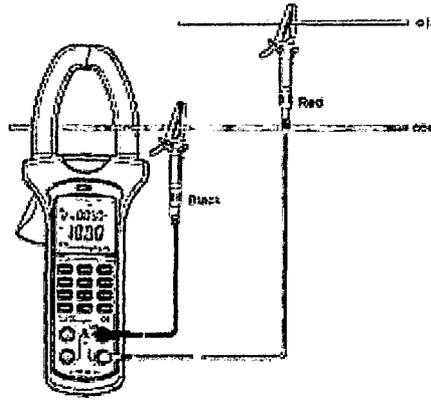


Figura N° 47 Cosfmetro PCE-UT232

Fuente: Manual de Circuitos

d. INSTRUMENTACION DE PLANTA:

La instrumentación utilizada es:

Manómetros.

Termómetros.

3.1.3 DIAGRAMAS DE CARGA:

Se tienen dos circuitos eléctricos en función a los cuadros N° 2 y N° 3:

a. CAMARAS FRIGORIFICAS:

ESTACION DE VERANO: Máxima Producción.

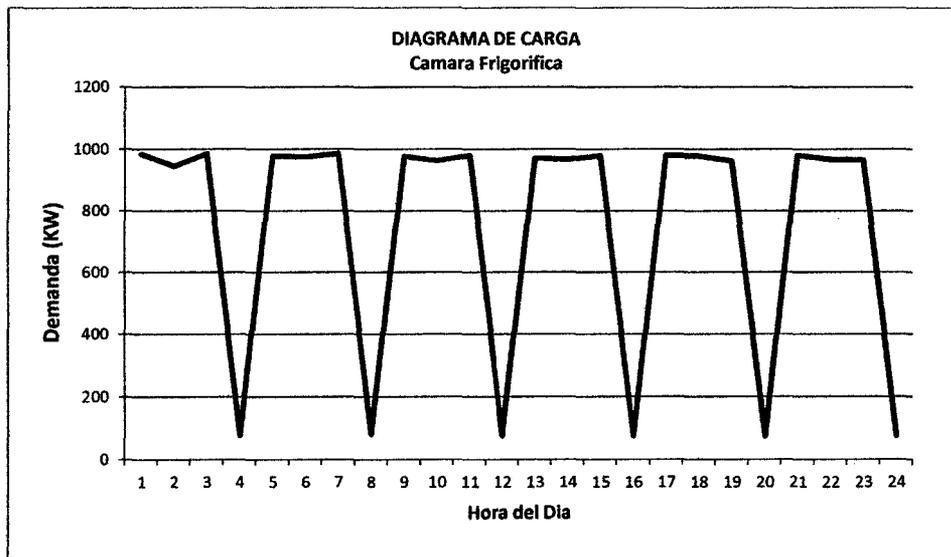


Figura N° 48 Diagrama de Carga de Verano Cámara Frigorífica a Máxima producción.

Fuente: Elaboración propia

ESTACION DE INVIERNO: Máxima Producción.

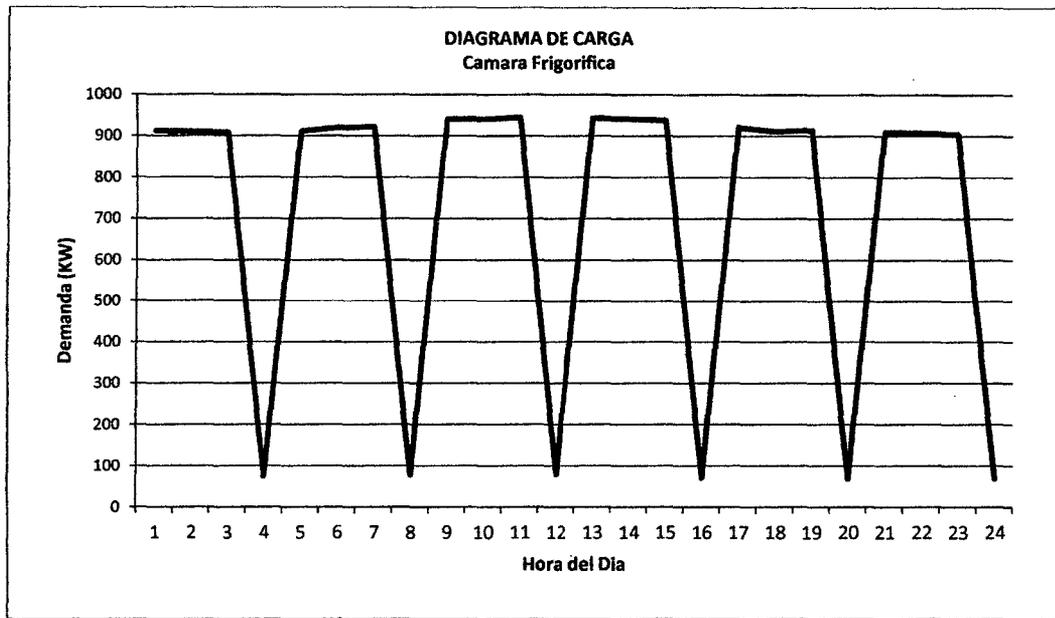


Figura Nº 49 Diagrama de Carga de Invierno Cámara Frigorífica a Máxima producción.

Fuente: Elaboración propia

ESTACION DE VERANO: Mínima Producción.

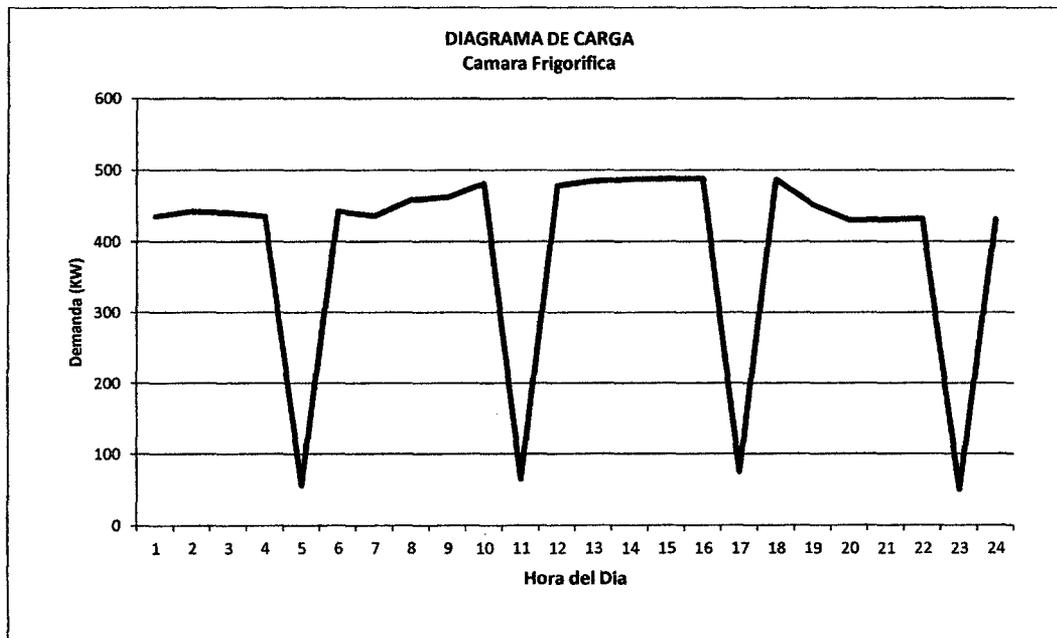


Figura Nº 50 Diagrama de Carga de Verano Cámara Frigorífica a Mínima producción.

Fuente: Elaboración propia

ESTACION DE INVIERNO: Mínima Producción.

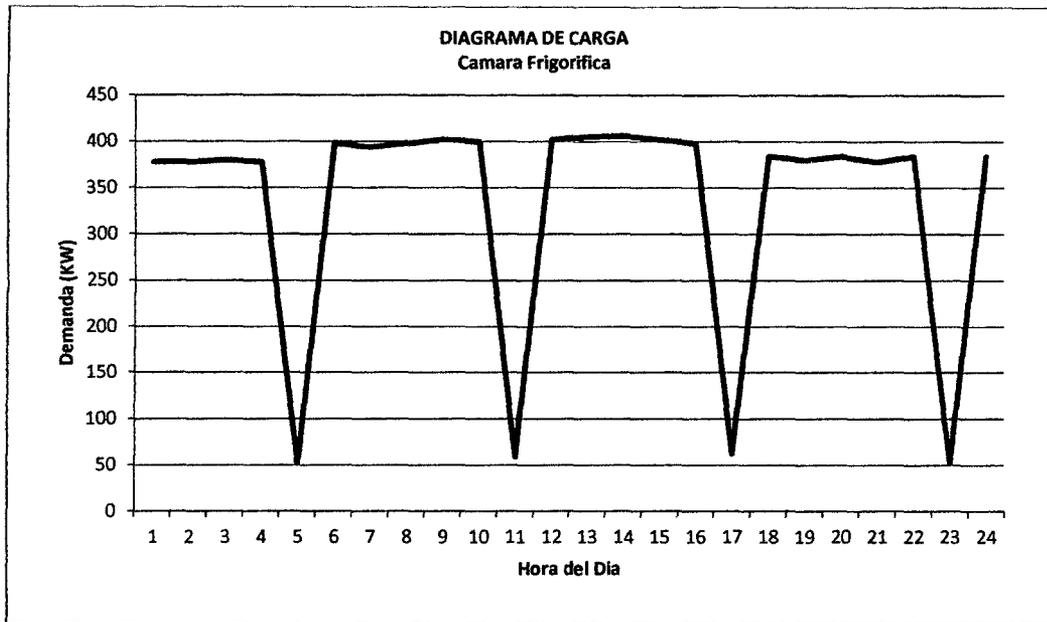


Figura Nº 51 Diagrama de Carga de Invierno Cámara Frigorífica a Mínima producción.

Fuente: Elaboración propia

b. TUNELES DE CONGELAMIENTO:

ESTACION DE VERANO: Máxima Producción.

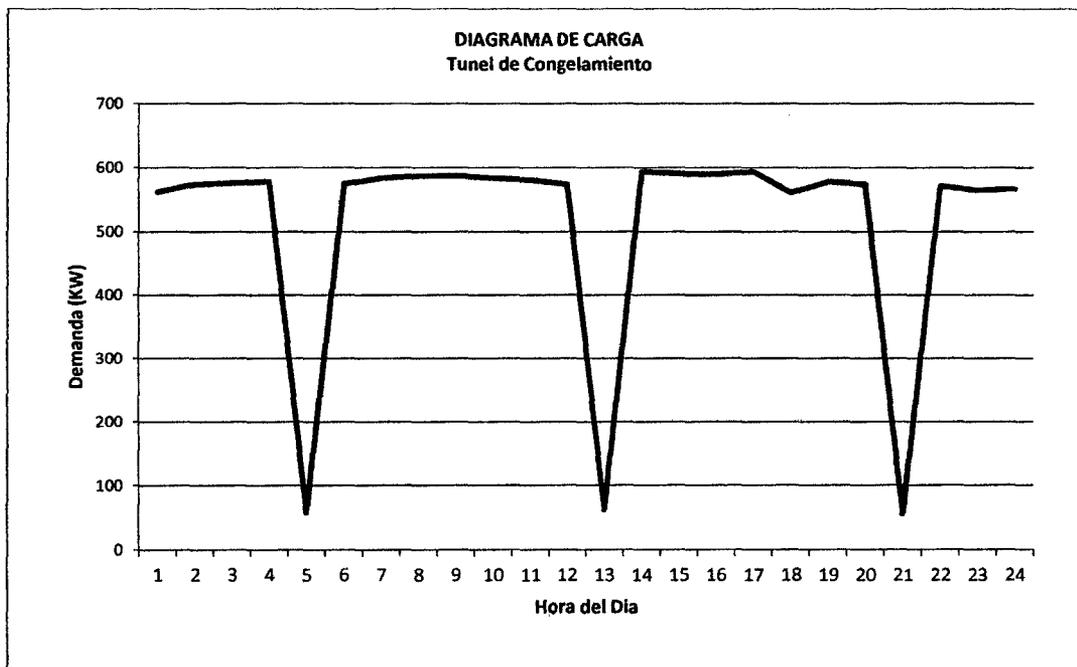


Figura Nº 52 Diagrama de Carga de Verano Túnel de congelamiento a Máxima producción.

Fuente: Elaboración propia

ESTACION DE INVIERNO: Máxima Producción.

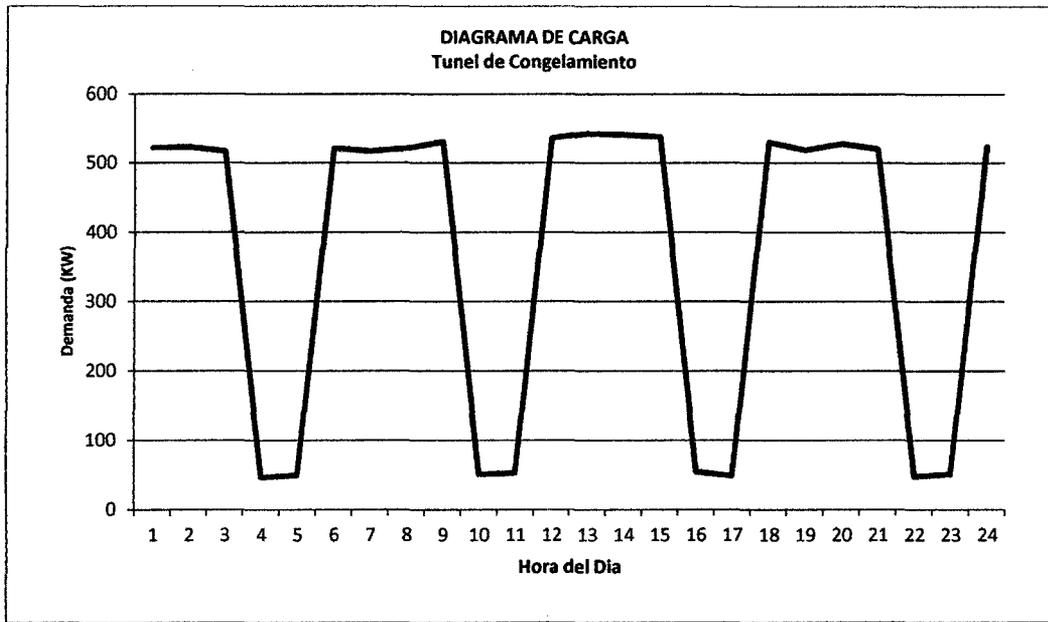


Figura Nº 48 Diagrama de Carga de Invierno Cámara Frigorífica a Máxima producción.

Fuente: Elaboración propia

ESTACION DE VERANO: Mínima Producción.

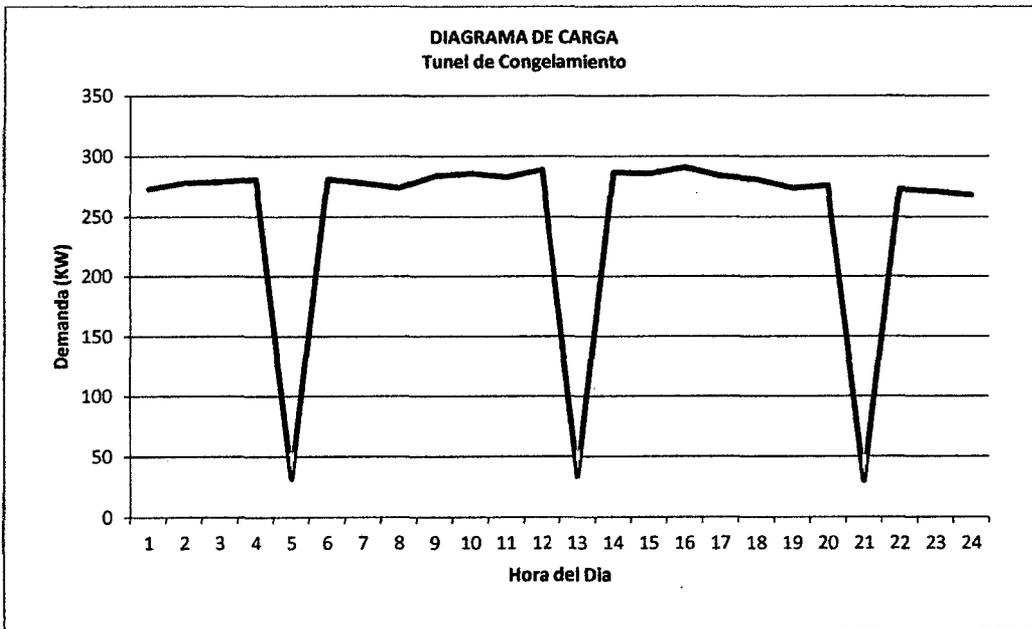


Figura Nº 53 Diagrama de Carga de Verano Cámara Frigorífica a Mínima producción.

Fuente: Elaboración propia

ESTACION DE INVIERNO: Mínima Producción.

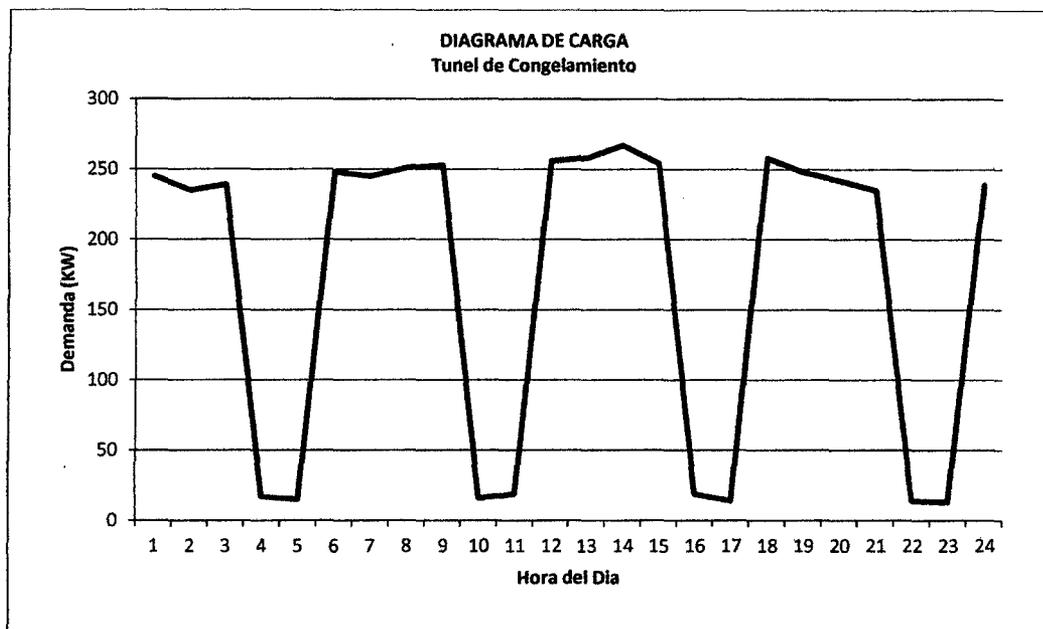


Figura Nº 54 Diagrama de Carga de Invierno Cámara Frigorífica a Mínima producción.

Fuente: Elaboración propia

3.2 METODO DE INVESTIGACION:

3.2.1 VARIABLES.

La variable independiente es el Diagrama de Carga

La variable dependiente es el Factor de Potencia

3.2.2 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.

3.2.2.1 DEFINICIÓN CONCEPTUAL

Variable Independiente:

Los diagramas de carga son diagramas característicos en donde se puede representar el comportamiento del consumo de energía (eléctrica, térmica, frío, aire comprimido, etc) y estimar sus principales indicadores de planta tal como : máxima demanda , mínima demanda , demanda promedio , factor de carga ,etc.

Variable Dependiente:

El Factor de Potencia: Se define factor de potencia, de un circuito de corriente alterna, como la relación entre la potencia activa y la potencia aparente. Da una medida de la capacidad de una carga de absorber potencia activa. Un factor de potencia adelantado

significa que la corriente se adelanta con respecto a la tensión, lo que implica carga capacitiva. Potencia reactiva negativa. Un factor de potencia atrasado significa que la corriente se retrasa con respecto a la tensión, lo que implica carga inductiva. Potencia reactiva positiva.

3.2.2.2 DEFINICIÓN OPERACIONAL.

Variable Independiente:

Los diagramas de carga son diagramas característicos en donde se visualiza el comportamiento de la energía activa, energía reactiva, frío industrial de la Planta Frigorífica de la Corporación Hayduk S.A.

Variable Dependiente:

Es el Factor de Potencia de la Planta Frigorífica de la Corporación Hayduk S.A. a analizar y optimizar.

3.2.3 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.

El presente trabajo realiza uso del método cuantitativo

Analítico: es un camino para llegar a un resultado mediante la descomposición de un fenómeno en sus elementos constitutivos. Al referirnos a diversos saberes en los que la aplicación del método analítico es posible, vemos una gradación que va desde las aplicaciones más empíricas y concretas hasta las más abstractas y simbólicas.

Sintético: Es un proceso de razonamiento que tiende a reconstruir un todo, a partir de los elementos distinguidos por el análisis, se trata en consecuencia de hacer una explosión metódica y breve, en resumen. En otras palabras decir que la síntesis es un procedimiento mental que tiene como meta la comprensión cabal de la esencia de lo que ya conocemos en todas sus partes y particularidades.

Deductivo, es la formulación o enunciación de sistemas de axiomas o conjunto de tesis de partida en una determinada Teoría. Es un método científico que considera que la conclusión se halla implícita dentro las premisas. Esto quiere decir que las conclusiones son una consecuencia necesaria de las premisas: cuando las premisas resultan verdaderas y el razonamiento deductivo tiene validez, no hay forma de que la conclusión no sea verdadera. En todos los casos, los investigadores que apelan al

método deductivo empiezan su trabajo planteando supuestos (coherentes entre sí) que se limitan a incorporar las características principales de los fenómenos. El trabajo sigue con un procedimiento de deducción lógica que finaliza en el enunciado de las leyes de carácter general.

3.2.4 TIPO DE ESTUDIO.

Tipo de Estudio: Explicativo

Como su nombre lo indica, su interés se centró en explicar porque ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da este, o porque se relacionan dos o más variables. Su interés se centró en explicar la optimización del factor de potencia en función a la metodología del diagrama de carga en la Planta frigorífica de la corporación Pesquera Hayduk S.A.

3.2.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

El diseño de estudio es pre experimental, longitudinal y transeccional con medición antes y después de un caso único.(el análisis del comportamiento de la energía activa y energía reactiva de la Planta frigorífica)

El diseño que se utiliza será el pre experimental, considerando la naturaleza de las dos variables. Variable independiente "Diagrama de Carga" de la Planta frigorífica y la variable dependiente "Factor de Potencia" de las Instalaciones en función a las características del consumo de energía activa y reactiva.

3.3 METODOLOGIA DE CÁLCULO:

Se tiene la siguiente metodología de cálculo.

a. DETERMINACION DEL COMPORTAMIENTO DE LA ENERGIA ACTIVA Y REACTIVA:

Se tiene la siguiente secuencia:

- Medición de la energía reactiva para los diagramas de carga típicos de invierno y verano para las cámaras frigoríficas y para los túneles de congelamiento.
- Determinación el factor de potencia para cada uno de los diagramas de carga en estudio, estimándose el ángulo de potencia.

- Estimar el factor de potencia globalizado para la Planta frigorífica entrecruzando los diagramas de carga.
- b. DETERMINACION DE LA ENERGIA REACTIVA A COMPENSAR:
- Se cuantifica la energía reactiva a compensar según las características de operación de cada sistema y estación.
 - Se estima el nuevo factor de potencia meta.
- c. DETERMINACION DEL BANCO DE CONDENSADORES:
- Determinación de las componentes del Banco de condensadores según las características técnicas para un óptimo factor de potencia.
 - Determinación de las variables de consumo de los componentes del banco de condensadores.
 - Estimar la reducción de la penalidad con la optimización del factor de potencia.
- d. EVALUACION DE LA RENTABILIDAD.
- Determinación del Valor Actual neto.
 - Determinación de la Tasa Interna de retorno.
 - Determinación del Pay Back.

CAPITULO IV:

CALCULOS Y DISCUSION DE

RESULTADOS

4.1 DETERMINACION DE LA CARGA REACTIVA A COMPENSAR:

Se determina el Factor de Potencia meta en función a la ecuación N° 9 , en el cual no existe penalidad según Resolución OSINERGMIN N° 188-2013-OS/CD

$$ER_{facturada} = ER_{leida} - (0.3 * Energia Activa Total)$$

$$0 = ER_{leida} - (0.3 * Energia Activa Total)$$

$$ER_{leida} = (0.3 * Energia Activa Total)$$

$$\frac{ER_{leida}}{Energia Activa Total} = \frac{0.3}{1}$$

Luego el factor de Potencia meta es de:

$$F.P = \cos\phi \left(\text{arc tang} \left(\frac{ER_{leida}}{Energia Activa Total} \right) \right) = 0.9578$$

Se presentan los cálculos y resultados de la Energía Activa, Energía Reactiva leída y la Energía Reactiva a compensar , haciendo uso de la ecuación N° 29 modificada para la potencia.

4.1.1 CAMARA FRIGORIFICA:

A. CARACTERIZACION CARGA DE VERANO –MAXIMA DEMANDA:

Para cada demanda puntual se realiza el cálculo del factor de potencia actual y de la carga reactiva a compensar, por ejemplo para la hora 3, asumiendo valores instantáneos:

$$F.P = \cos \left(\text{arc tang} \left(\frac{456}{987} \right) \right) = 0.9078$$

El valor del ángulo de potencia es :

$$\phi = \text{arc cos}(0.9078) = 25^{\circ} 38'$$

$$PR_{facturada} = PR_{compensar} = PR_{leida} - (0.3 * Demanda)$$

$$PR_{compensar} = 456 - (0.3 * 987) = 159.9 \text{ KVAR}$$

Se presenta el cuadro consolidado para el día típico de Verano de trabajo para una máxima demanda en la cámara de conservación:

Cuadro N°9 Comportamiento de la carga eléctrica Estación de verano-máxima demanda

Hora	Demanda(KW)	P.REACTIVA(KVAR)	P.R.COMPENSAR(KVAR)	F.P
1	985	448	152.5	0.9103
2	945	446	162.5	0.9043
3	987	456	159.9	0.9078
4	78	54	30.6	0.8222
5	978	462	168.6	0.9042
6	975	465	172.5	0.9026
7	987	458	161.9	0.9071
8	82	57	32.4	0.8211
9	977	461	167.9	0.9044
10	963	465	176.1	0.9005
11	980	460	166	0.9052
12	77	55	31.9	0.8137
13	972	471	179.4	0.8999
14	968	470	179.6	0.8996
15	980	463	169	0.9042
16	76	57	34.2	0.8000
17	981	462	167.7	0.9047
18	978	462	168.6	0.9042
19	962	463	174.4	0.9011
20	75	53	30.5	0.8167
21	981	464	169.7	0.9040
22	968	464	173.6	0.9018
23	966	467	177.2	0.9003
24	76	55	32.2	0.8101

Fuente : Elaboración propia

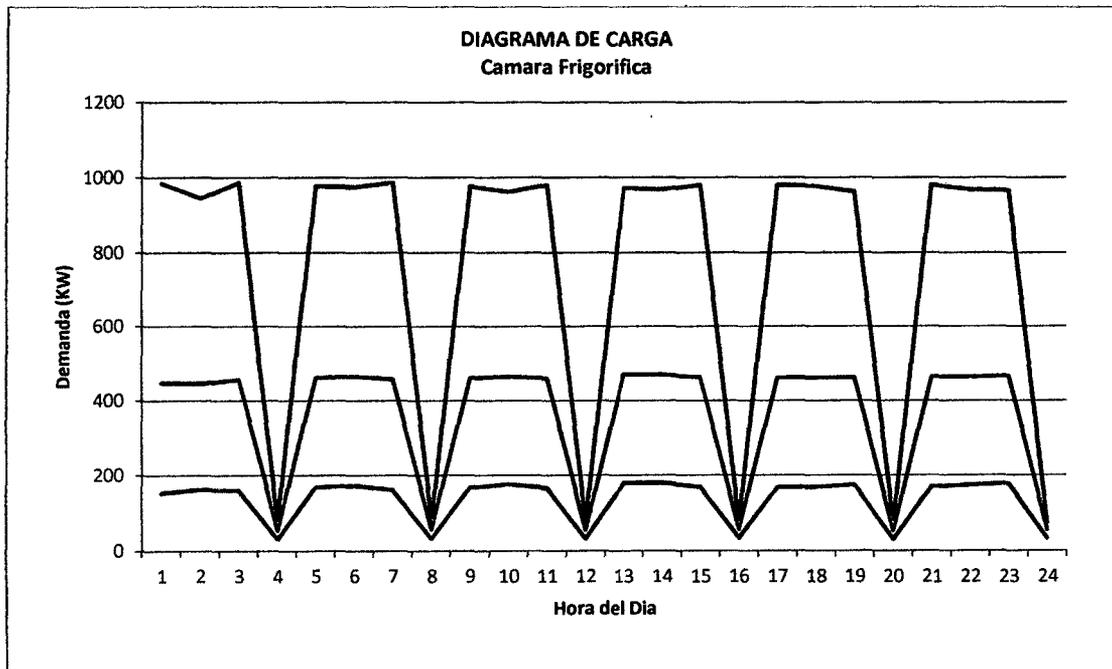


Figura N° 55 Diagrama de Carga de Verano Cámara Frigorífica a Máxima demanda.

Fuente: Elaboración propia

De la figura anterior se puede deducir que la cámaras frigorífica tiene una operación intermitente operando ambas las 2 unidades(Unidad 1 y Unidad 2 cada uno de ellas con una máxima demanda histórica de 500 KW y 4 compresores de tornillo cada una) en simultaneo, operando un promedio de 3 horas continua, y desconectándose los compresores durante 1 hora en promedio de operación, luego debido a la temperatura elevada del puerto de Coishco en verano (promedio 24 °C) se activa nuevamente los termostatos y se encienden los motores de los compresores para continuar con un proceso cíclico.

Se tienen 6 arranques por día, con una máxima demanda de 987 KW y una demanda mínima en las zonas valle del diagrama de carga de 75 KW, en el cual 2 compresores, uno por unidad opera con un porcentaje de carga del 26 % para poder mantener estable la temperatura dentro de las cámaras de conservación:

Cuadro N°10 Potencias para Unidades 1 y 2 de Cámaras Frigoríficas Estación de verano- máxima demanda

POTENCIA (HP)	EQUIPOS	PERIODO PUNTA(KW)	PERIODO VALLE(KW)
180	COMPRESOR 1 (134 KW))	120	-
180	COMPRESOR 2(134 KW)	120	-
180	COMPRESOR 3(134 KW)	120	-
150	COMPRESOR 4(111 KW)	100	26
45	COND.EVAPORATIVO (34 KW)	23	10
14	VENTILADORES(10.7 KW)	7	1
7	AUXILIARES(5.4 KW)	3.5	0.5
756	DEMANDA	493.5	37.5

Fuente : Elaboración propia

B. CARACTERIZACION CARGA DE VERANO –MINIMA DEMANDA:

Para cada demanda puntual se realiza el cálculo del factor de potencia actual y de la carga reactiva a compensar, por ejemplo para la hora 12, asumiendo valores instantáneos:

$$F.P = \cos \left(\text{arc tang} \left(\frac{230}{478} \right) \right) = 0.9011$$

El valor del ángulo de potencia es :

$$\phi = \text{arc cos}(0.9011) = 25^\circ 41'$$

$$PR_{facturada} = PR_{compensar} = PR_{leida} - (0.3 * Demanda)$$

$$PR_{compensar} = 230 - (0.3 * 478) = 86.6 \text{ KVAR}$$

Se presenta el cuadro consolidado para el día típico de Verano de trabajo para una mínima demanda en la cual solo opera una unidad de la cámara de conservación:

Cuadro N°11 Comportamiento de la carga eléctrica Estación de verano-mínima demanda

Hora	Demanda(KW)	P.REACTIVA(KVAR)	P.R.COMPENSAR(KVAR)	F.P
1	435	234	103.5	0.8807
2	442	235	102.4	0.8830
3	440	236	104	0.8812
4	435	231	100.5	0.8832
5	56	42	25.2	0.8000
6	442	236	103.4	0.8821
7	436	237	106.2	0.8786
8	458	222	84.6	0.8999
9	462	221	82.4	0.9021
10	481	226	81.7	0.9051
11	65	46	26.5	0.8163
12	478	230	86.6	0.9011
13	485	229	83.5	0.9043
14	487	229	82.9	0.9049
15	488	228	81.6	0.9060
16	488	231	84.6	0.9039
17	75	48	25.5	0.8423
18	487	229	82.9	0.9049
19	452	238	102.4	0.8848
20	430	229	100	0.8826
21	431	228	98.7	0.8839
22	432	229	99.4	0.8835
23	50	37	22	0.8038
24	431	235	105.7	0.8780

Fuente : Elaboración propia

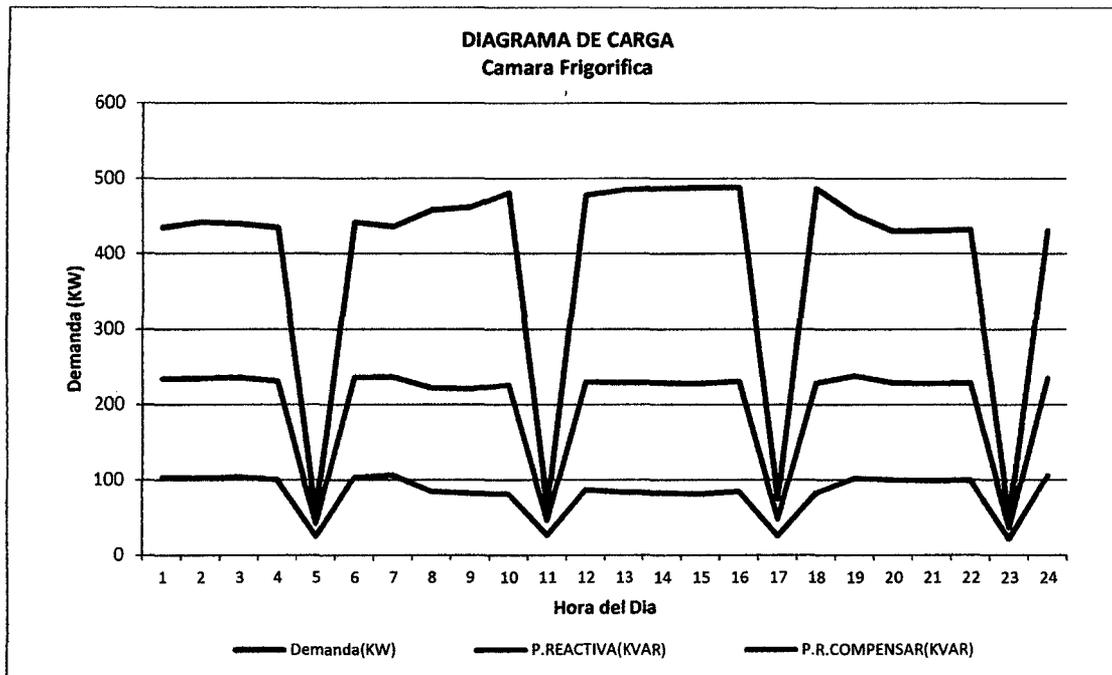


Figura Nº 56 Diagrama de Carga de Verano Cámara Frigorífica a Mínima demanda.

Fuente: Elaboración propia

De la figura anterior se puede deducir que las cámaras frigoríficas tiene una operación intermitente operando solo una unidad, operando un promedio de 5 horas continuas, y desconectándose los compresores durante 1 hora en promedio de operación, luego debido a la temperatura elevada del puerto de Coishco en verano (promedio 24 °C) se activa nuevamente los termostatos y se encienden los motores de los compresores para continuar con un proceso cíclico.

Se tienen 4 batch de operación o arranques mayores por día, con una máxima demanda de 488 KW y una demanda minina en las zonas valle del diagrama de carga de 50 KW, en el cual 1 compresor opera con un porcentaje de carga del 31.4 % para poder mantener estable la temperatura dentro de la unidad de la cámara de conservación:

Cuadro N°12 Potencias para Unidades 1 de la Cámaras Frigorífica Estación de verano-
mínima demanda

POTENCIA (HP)	EQUIPOS	PERIODO PUNTA(KW)	PERIODO VALLE(KW)
180	COMPRESOR 1 (134 KW))	120	-
180	COMPRESOR 2(134 KW)	120	-
180	COMPRESOR 3(134 KW)	120	-
150	COMPRESOR 4(111 KW)	100	36
45	COND.EVAPORATIVO (34 KW)	22	12
14	VENTILADORES(10.7 KW)	4	1.5
7	AUXILIARES(5.4 KW)	2	0.5
756	DEMANDA	488	50

Fuente: Elaboración propia

C. CARACTERIZACION CARGA DE INVIERNO –MAXIMA DEMANDA:

Para cada demanda puntual se realiza el cálculo del factor de potencia actual y de la carga reactiva a compensar, por ejemplo para la hora 7, asumiendo valores instantáneos:

$$F.P = \cos \left(\text{arc tang} \left(\frac{407}{922} \right) \right) = 0.9148$$

El valor del ángulo de potencia es :

$$\phi = \text{arc cos}(0.9078) = 23^{\circ} 49'$$

$$PR_{facturada} = PR_{compensar} = PR_{leida} - (0.3 * Demanda)$$

$$PR_{compensar} = 407 - (0.3 * 922) = 130.4 \text{ KVAR}$$

Se presenta el cuadro consolidado para el día típico de Invierno Verano de trabajo para una máxima demanda en la cámara de conservación, operando las 2 unidades:

Cuadro N°13 Comportamiento de la carga eléctrica Estación de invierno-máxima demanda

Hora	P.ACTIVA(KW)	P.REACTIVA(KVAR)	P.R.COMPENSAR(KVAR)	F.P
1	912	409	135.4	0.9124
2	910	415	142	0.9099
3	908	418	145.6	0.9084
4	75	53	30.5	0.8167
5	911	406	132.7	0.9134
6	920	411	135	0.9130
7	922	407	130.4	0.9148
8	78	52	28.6	0.8321
9	942	425	142.4	0.9115
10	941	426	143.7	0.9110
11	945	420	136.5	0.9138
12	79	52	28.3	0.8353
13	944	425	141.8	0.9118
14	942	428	145.4	0.9104
15	938	431	149.6	0.9087
16	71	49	27.7	0.8230
17	921	408	131.7	0.9143
18	911	408	134.7	0.9127
19	915	411	136.5	0.9122
20	68	49	28.6	0.8113
21	910	411	138	0.9114
22	908	414	141.6	0.9099
23	905	415	143.5	0.9090
24	69	48	27.3	0.8209

Fuente: Elaboración propia

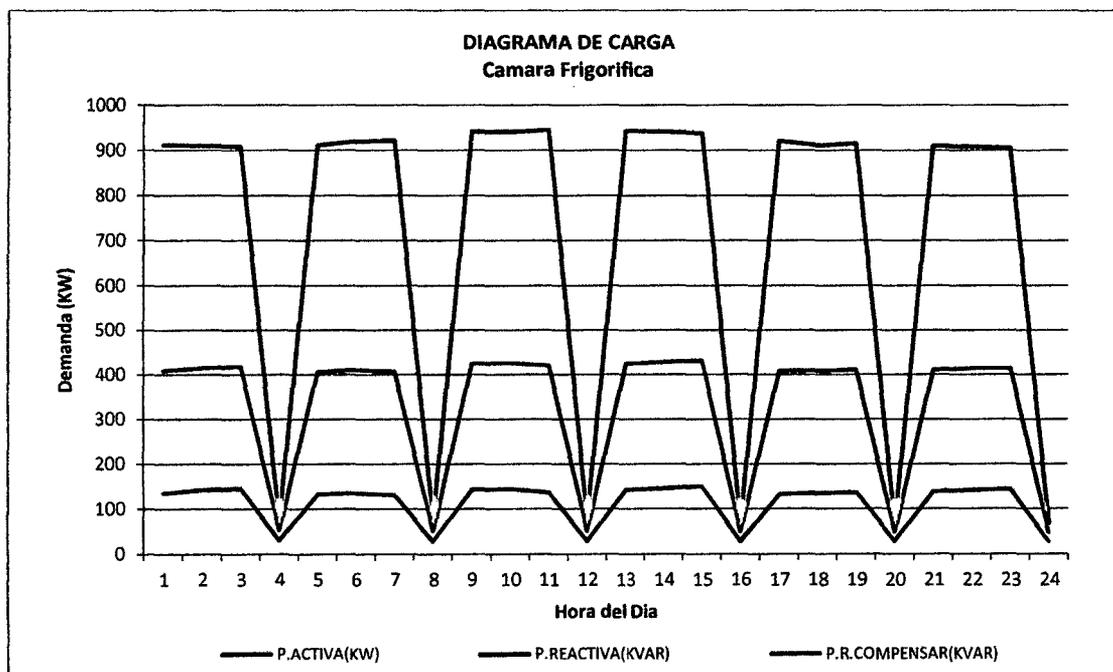


Figura N° 57 Diagrama de Carga de Invierno Cámara Frigorífica a Máxima demanda.

Fuente: Elaboración propia

De la figura anterior se puede deducir que las unidades de la cámara frigorífica tiene una operación intermitente, operando un promedio de 3 horas continuas, y desconectándose los compresores principales durante 1 hora en promedio de operación, luego debido a la temperatura perdida en la cámara (promedio 18 °C) se activa nuevamente los termostatos y se encienden los motores principales de los compresores para continuar con un proceso cíclico.

Se tienen 6 batch de operación o arranques mayores por día, con una máxima demanda de 945 KW (472.5 KW por unidad) y una demanda mínima en las zonas valle del diagrama de carga de 79 KW (39.5 KW por unidad), en el cual 1 compresor opera con un porcentaje de carga del 31.4 % para poder mantener estable la temperatura dentro de la unidad de la cámara de conservación:

Cuadro N°14 Potencias para Unidades 1 y 2 de la Cámaras Frigorífica Estación de invierno-máxima demanda

POTENCIA (HP)	EQUIPOS	PERIODO PUNTA(KW)	PERIODO VALLE(KW)
180	COMPRESOR 1 (134 KW))	120	-
180	COMPRESOR 2(134 KW)	120	-
180	COMPRESOR 3(134 KW)	120	-
150	COMPRESOR 4(111 KW)	80	28
45	COND.EVAPORATIVO (34 KW)	22	10
14	VENTILADORES(10.7 KW)	7	1
7	AUXILIARES(5.4 KW)	3.5	0.5
756	DEMANDA	472.5	39.5

Fuente: Elaboración propia

D. CARACTERIZACION CARGA DE INVIERNO –MINIMA DEMANDA:

Para cada demanda puntual se realiza el cálculo del factor de potencia actual y de la carga reactiva a compensar, por ejemplo para la hora 14, asumiendo valores instantáneos:

$$F.P = \cos \left(\text{arc tang} \left(\frac{197}{406} \right) \right) = 0.8997$$

El valor del ángulo de potencia es :

$$\phi = \text{arc cos}(0.9011) = 25^\circ 52'$$

$$PR_{facturada} = PR_{compensar} = PR_{leida} - (0.3 * Demanda)$$

$$PR_{compensar} = 197 - (0.3 * 406) = 75.2 \text{ KVAR}$$

Se presenta el cuadro consolidado para el día típico de Invierno de trabajo para una mínima demanda en la cual solo opera una unidad de la cámara de conservación:

Cuadro N°15 Comportamiento de la carga eléctrica Estación de invierno-mínima demanda

Hora	P.ACTIVA(KW)	P.REACTIVA(KVAR)	P.R.COMPENSAR(KVAR)	F.P
1	378	202	88.6	0.8820
2	378	204	90.6	0.8800
3	380	203	89	0.8820
4	378	199	85.6	0.8849
5	52	39	23.4	0.8000
6	398	203	83.6	0.8908
7	394	202	83.8	0.8899
8	398	207	87.6	0.8872
9	402	198	77.4	0.8971
10	400	199	79	0.8953
11	59	36	18.3	0.8536
12	402	199	78.4	0.8962
13	405	196	74.5	0.9001
14	406	197	75.2	0.8997
15	402	202	81.4	0.8935
16	398	204	84.6	0.8899
17	62	42	23.4	0.8279
18	384	198	82.8	0.8888
19	380	201	87	0.8840
20	384	199	83.8	0.8879
21	378	198	84.6	0.8858
22	384	196	80.8	0.8907
23	52	35	19.4	0.8296
24	384	203	87.8	0.8841

Fuente: Elaboración propia

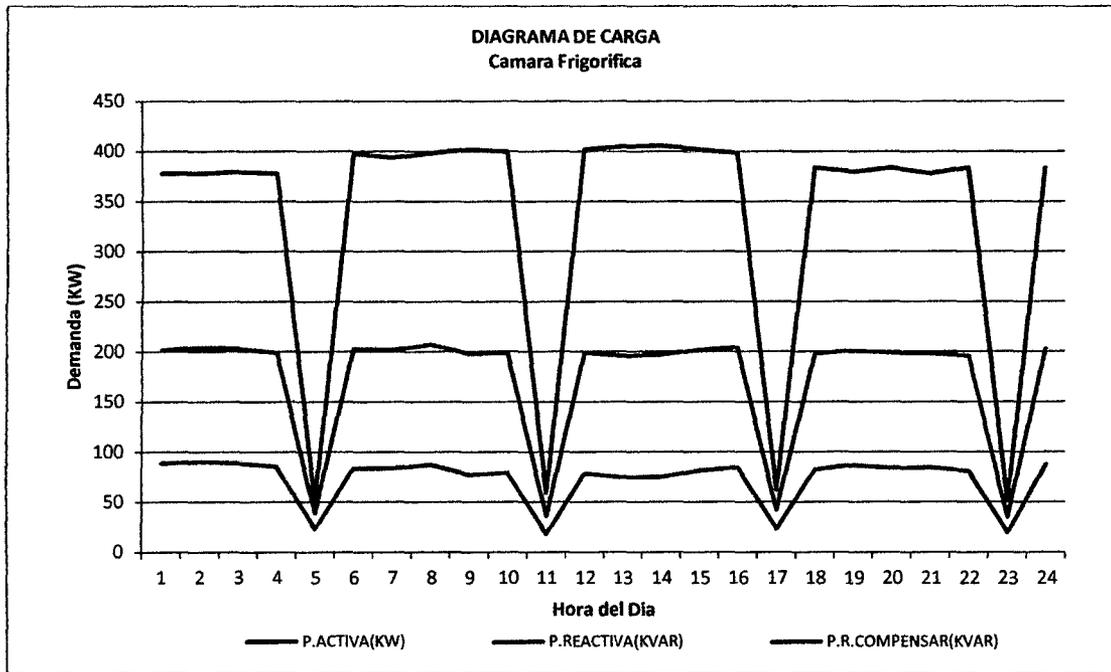


Figura N° 58 Diagrama de Carga de Invierno Cámara Frigorífica a Mínima demanda.

Fuente: Elaboración propia

De la figura anterior se puede deducir que la cámara frigorífica tiene una operación intermitente operando solo una unidad, operando un promedio de 5 horas continuas, y desconectándose los compresores principales durante 1 hora en promedio de operación, luego debido a la temperatura perdida de invierno del puerto de Coishco en (promedio 18 °C) se activa nuevamente los termostatos y se encienden los motores de los compresores para continuar con un proceso cíclico.

Se tienen 4 batch de operación o arranques mayores por día, con una máxima demanda de 406 KW y una demanda minina en las zonas valle del diagrama de carga de 52 KW, en el cual 1 compresor opera con un porcentaje de carga del % para poder mantener estable la temperatura dentro de la unidad de la cámara frigorífica:

Cuadro N°16 Potencias para Unidad 1 de la Cámara Frigorífica Estación de invierno -
mínima demanda

POTENCIA (HP)	EQUIPOS	PERIODO PUNTA(KW)	PERIODO VALLE(KW)
180	COMPRESOR 1 (134 KW)	125	-
180	COMPRESOR 2 (134 KW)	125	-
180	COMPRESOR 3 (134 KW)	124	38
150	COMPRESOR 4 (111 KW)	0	-
45	COND.EVAPORATIVO (34 KW)	22	12
14	VENTILADORES (10.7 KW)	7	1.5
7	AUXILIARES (5.4 KW)	3	0.5
756	DEMANDA	406	52

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 TUNEL DE CONGELAMIENTO:

A. CARACTERIZACION CARGA DE VERANO –MAXIMA DEMANDA:

Para cada demanda puntual se realiza el cálculo del factor de potencia actual y de la carga reactiva a compensar, por ejemplo para la hora 14, asumiendo valores instantáneos:

$$F.P = \cos \left(\text{arc tang} \left(\frac{321}{594} \right) \right) = 0.8798$$

El valor del ángulo de potencia es :

$$\phi = \text{arc cos}(0.8798) = 28^{\circ} 24'$$

$$PR_{facturada} = PR_{compensar} = PR_{leida} - (0.3 * Demanda)$$

$$PR_{compensar} = 321 - (0.3 * 594) = 142.8 \text{ KVAR}$$

Se presenta el cuadro consolidado para el día típico de Verano de trabajo para una máxima demanda en el túnel de congelamiento:

Cuadro N°17 Comportamiento de la carga eléctrica Estación de verano-máxima demanda

Hora	Demanda(KW)	REACTIVA(KVAC)	COMPENSAR(KV)	F.P
1	562	319	150.4	0.8697
2	574	319	146.8	0.8741
3	576	317	144.2	0.8761
4	578	319	145.6	0.8755
5	44	33	19.8	0.8000
6	575	318	145.5	0.8751
7	584	318	142.8	0.8782
8	587	317	140.9	0.8799
9	588	317	140.6	0.8802
10	584	319	143.8	0.8776
11	581	318	143.7	0.8772
12	574	318	145.8	0.8747
13	48	34	19.6	0.8160
14	594	321	142.8	0.8798
15	591	325	147.7	0.8762
16	590	324	147	0.8765
17	594	321	142.8	0.8798
18	561	319	150.7	0.8693
19	578	317	143.6	0.8768
20	574	318	145.8	0.8747
21	42	31	18.4	0.8046
22	571	314	142.7	0.8762
23	565	317	147.5	0.8721
24	567	319	148.9	0.8715

Fuente: Elaboración propia

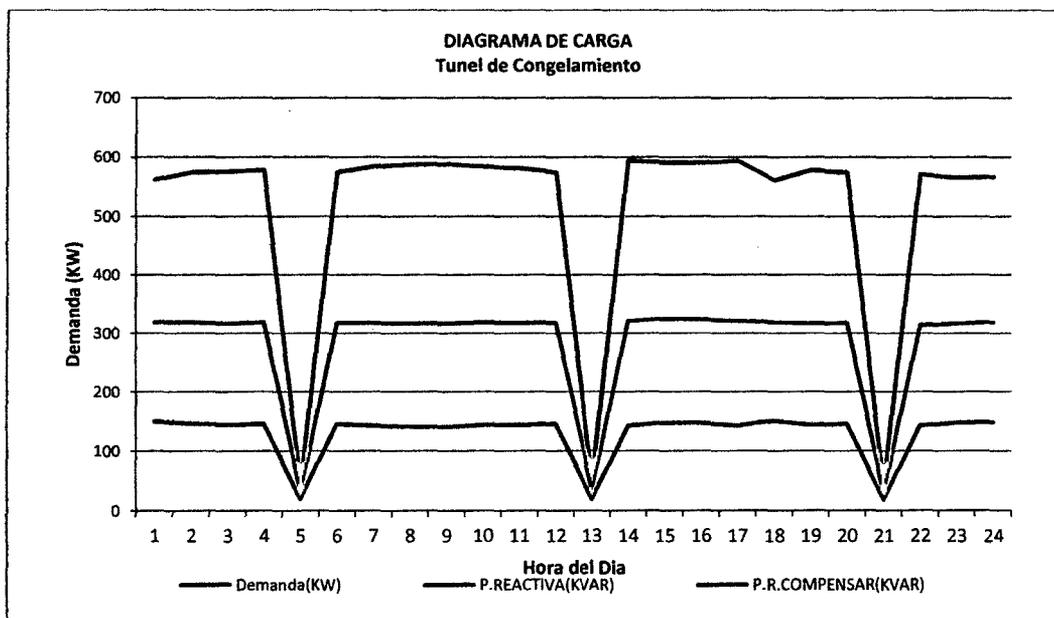


Figura N° 59 Diagrama de Carga de Verano Túnel de Congelamiento- Máxima demanda.

Fuente: Elaboración propia

De la figura anterior se puede deducir que el túnel de congelamiento (que opera con 3 unidades de 200 KW cada una de ellas) tiene una operación intermitente de 3 batch de operación ,con 7 horas de operación continua y 1 hora de operación con mínima carga operando tan solo un compresor de tornillo a carga parcial.

Se tienen 3 arranques principales por día, con una máxima demanda de 594 KW(3*198 KW) y una demanda mínima en las zonas valle del diagrama de carga de 42 KW(3*14 KW), en el cual 3 compresores, uno por unidad opera con un porcentaje de carga del % para poder mantener estable la temperatura dentro de los túneles de congelamiento a una temperatura oscilante entre -20 a -30 °C .

Cuadro N°18 Potencias para Unidades 1 y 2 de Cámaras Frigoríficas Estación de verano-
máxima demanda

POTENCIA (HP)	EQUIPOS	PERIODO PUNTA(KW)	PERIODO VALLE(KW)
125	COMPRESOR 1 (93 KW))	86	-
125	COMPRESOR 2(93 KW)	86	10
30	COND.EVAPORATIVO (22 KW)	18	3
12	VENTILADORES(8.9 KW)	5	1
6	AUXILIARES(4.5 KW)	3	0
298	DEMANDA	198	14

Fuente: Elaboración propia

B. CARACTERIZACION CARGA DE VERANO –MINIMA DEMANDA:

Para cada demanda puntual se realiza el cálculo del factor de potencia actual y de la carga reactiva a compensar, por ejemplo para la hora 16, asumiendo valores instantáneos:

$$F.P = \cos \left(\text{arc tang} \left(\frac{157}{291} \right) \right) = 0.88011$$

El valor del ángulo de potencia es :

$$\phi = \text{arc cos}(0.8801) = 28^{\circ} 21'$$

$$PR_{facturada} = PR_{compensar} = PR_{leida} - (0.3 * Demanda)$$

$$PR_{compensar} = 157 - (0.3 * 291) = 69.7 \text{ KVAR}$$

Se presenta el cuadro consolidado para el día típico de Verano de trabajo para una mínima demanda en la cual solo opera una unidad de la cámara de conservación:

Cuadro N°19 Comportamiento de la carga eléctrica Estación de verano-mínima demanda

Hora	Demanda(KW)	REACTIVA(KVA)	COMPENSAR(KV)	F.P
1	273	161	79.1	0.8614
2	278	164	80.6	0.8613
3	279	162	78.3	0.8648
4	281	159	74.7	0.8703
5	16	12	7.2	0.8000
6	281	159	74.7	0.8703
7	278	161	77.6	0.8654
8	274	160	77.8	0.8636
9	284	161	75.8	0.8699
10	286	162	76.2	0.8701
11	283	160	75.1	0.8705
12	289	157	70.3	0.8787
13	17	12	6.9	0.8170
14	287	156	69.9	0.8786
15	286	155	69.2	0.8792
16	291	157	69.7	0.8801
17	284	159	73.8	0.8726
18	281	160	75.7	0.8690
19	274	163	80.8	0.8594
20	276	157	74.2	0.8692
21	15	11	6.5	0.8064
22	273	155	73.1	0.8696
23	271	154	72.7	0.8694
24	268	154	73.6	0.8670

Fuente : Elaboración propia

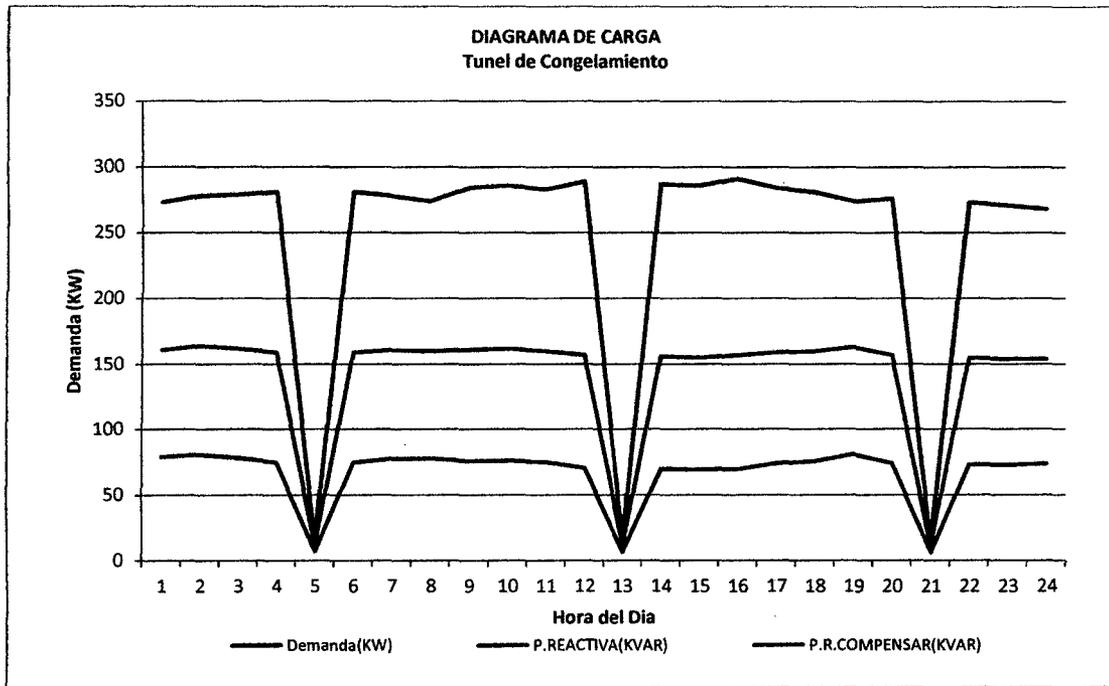


Figura Nº 60 Diagrama de Carga de Verano Túnel de Congelamiento Mínima demanda.

Fuente: Elaboración propia

De la figura anterior se puede deducir que el túnel de congelamiento operando con sus tres unidades de forma intermitente, operando un promedio de 7 horas continuas, y desconectándose los compresores durante 1 hora en promedio de operación, luego debido a la temperatura elevada del puerto de Coishco en verano (promedio 24 °C) se activa nuevamente los termostatos y se encienden los motores de los compresores para continuar con un proceso cíclico.

Se tienen 3 batch de operación o arranques totales por día, con una máxima demanda de 289 KW y una demanda mínima en las zonas valle del diagrama de carga de 15 KW (3* 5 KW), en el cual solo operan los sistemas auxiliares y los ventiladores impulsores poder mantener estable la temperatura dentro de las unidades del túnel de congelamiento:

Cuadro N°20 Potencias para Unidades del Túnel de Congelamiento Estación de verano-
mínima demanda

POTENCIA (HP)	EQUIPOS	PERIODO PUNTA(KW)	PERIODO VALLE(KW)
125	COMPRESOR 1 (93 KW))	80	-
125	COMPRESOR 2(93 KW)	-	-
30	COND.EVAPORATIVO (22 KW)	11	-
12	VENTILADORES(8.9 KW)	4	3.5
6	AUXILIARES(4.5 KW)	2	1.5
298	DEMANDA	97	5

Fuente: Elaboración propia

C. CARACTERIZACION CARGA DE INVIERNO –MAXIMA DEMANDA:

Para cada demanda puntual se realiza el cálculo del factor de potencia actual y de la carga reactiva a compensar, por ejemplo para la hora 13, asumiendo valores instantáneos:

$$F.P = \cos \left(\text{arc tang} \left(\frac{292}{542} \right) \right) = 0.8804$$

El valor del ángulo de potencia es :

$$\phi = \text{arc cos}(0.8804) = 28^{\circ} 18'$$

$$PR_{facturada} = PR_{compensar} = PR_{teida} - (0.3 * Demanda)$$

$$PR_{compensar} = 542 - (0.3 * 292) = 129.4 \text{ KVAR}$$

Se presenta el cuadro consolidado para el día típico de Invierno de trabajo para una máxima demanda en el túnel de congelamiento , operando las 3 unidades:

Cuadro N°21 Comportamiento de la carga eléctrica Estación de invierno-máxima demanda

Hora	Demanda(KW)	REACTIVA(KVA)	COMPENSAR(KV)	F.P
1	522	287	130.4	0.8763
2	523	289	132.1	0.8753
3	517	294	138.9	0.8693
4	47	35	20.9	0.8020
5	50	36	21	0.8115
6	521	286	129.7	0.8766
7	517	288	132.9	0.8736
8	521	288	131.7	0.8752
9	531	287	127.7	0.8797
10	51	36	20.7	0.8170
11	53	36	20.1	0.8272
12	536	291	130.2	0.8788
13	542	292	129.4	0.8804
14	541	293	130.7	0.8793
15	538	294	132.6	0.8775
16	55	37	20.5	0.8297
17	49	35	20.3	0.8137
18	530	292	133	0.8759
19	519	293	137.3	0.8708
20	528	299	140.6	0.8702
21	520	298	142	0.8676
22	48	35	20.6	0.8080
23	51	36	20.7	0.8170
24	524	298	140.8	0.8693

Fuente: Elaboración propia

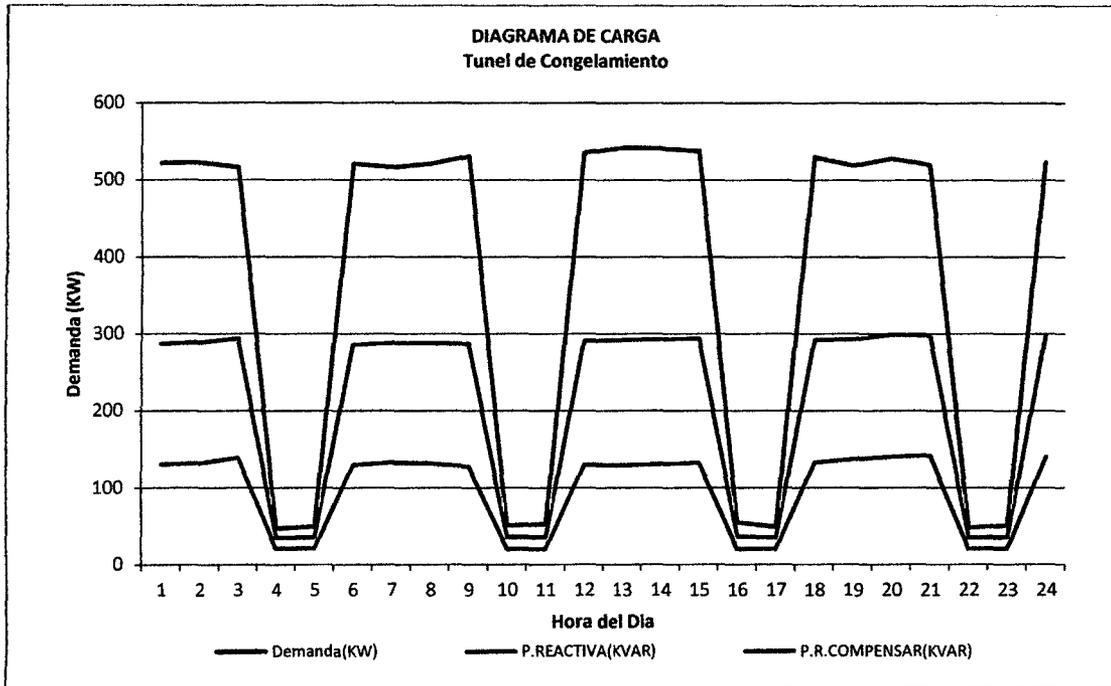


Figura Nº 61 Diagrama de Carga de Invierno Cámara Frigorífica a Máxima demanda.

Fuente: Elaboración propia

De la figura anterior se puede deducir que las 3 unidades del túnel de congelamiento tienen una operación intermitente, operando un promedio de 4 horas continuas, y desconectándose el 50 % de los compresores principales durante 2 horas en promedio de operación, luego debido a la temperatura perdida en el túnel de congelamiento se activa nuevamente los termostatos y se encienden los motores de los compresores para continuar con un proceso cíclico.

Se tienen 4 batch de operación o arranques mayores por día, con una máxima demanda de 542 KW ($180.6 \text{ KW} * 3$) y una demanda mínima en las zonas valle del diagrama de carga de 47 KW ($15.6 \text{ KW} * 3$). Durante los periodos valle opera tan solo un compresor de tornillo a 12.5 % de su carga, mientras que el segundo compresor se apaga.

Cuadro N°22 Potencias para Unidades 1,2 y 3 del Túnel de congelamiento Estación de invierno-máxima demanda

POTENCIA (HP)	EQUIPOS	PERIODO PUNTA(KW)	PERIODO VALLE(KW)
125	COMPRESOR 1 (93 KW))	80	-
125	COMPRESOR 2(93 KW)	80	11.4
30	COND.EVAPORATIVO (22 KW)	15	3
12	VENTILADORES(8.9 KW)	4	1
6	AUXILIARES(4.5 KW)	1.6	0.2
298	DEMANDA	180.6	15.6

Fuente: Elaboración propia

D. CARACTERIZACION CARGA DE INVIERNO –MINIMA DEMANDA:

Para cada demanda puntual se realiza el cálculo del factor de potencia actual y de la carga reactiva a compensar, por ejemplo para la hora 14, asumiendo valores instantáneos:

$$F.P = \cos \left(\text{arc tang} \left(\frac{144}{267} \right) \right) = 0.8802$$

El valor del ángulo de potencia es :

$$\phi = \text{arc cos}(0.8802) = 28^{\circ} 21'$$

$$PR_{facturada} = PR_{compensar} = PR_{leida} - (0.3 * Demanda)$$

$$PR_{compensar} = 144 - (0.3 * 267) = 63.9 \text{ KVAR}$$

Se presenta el cuadro consolidado para el día típico de invierno de trabajo para una mínima demanda en la cual operan las 3 unidades del túnel de congelamiento

Cuadro N°23 Comportamiento de la carga eléctrica Estación de invierno-mínima demanda

Hora	Demanda(KW)	REACTIVA(KVA)	COMPENSAR(K)	F.P
1	245	138	64.5	0.8713
2	235	134	63.5	0.8687
3	239	135	63.3	0.8707
4	17	12	6.9	0.8170
5	15	12	7.5	0.7809
6	248	139	64.6	0.8723
7	245	138	64.5	0.8713
8	251	140	64.7	0.8733
9	253	141	65.1	0.8735
10	16	12	7.2	0.8000
11	19	14	8.3	0.8051
12	256	142	65.2	0.8745
13	258	142	64.6	0.8761
14	267	144	63.9	0.8802
15	254	143	66.8	0.8714
16	19	13	7.3	0.8253
17	14	11	6.8	0.7863
18	258	143	65.6	0.8746
19	248	140	65.6	0.8708
20	242	137	64.4	0.8702
21	235	134	63.5	0.8687
22	14	11	6.8	0.7863
23	13	10	6.1	0.7926
24	239	136	64.3	0.8691

Fuente: Elaboración propia

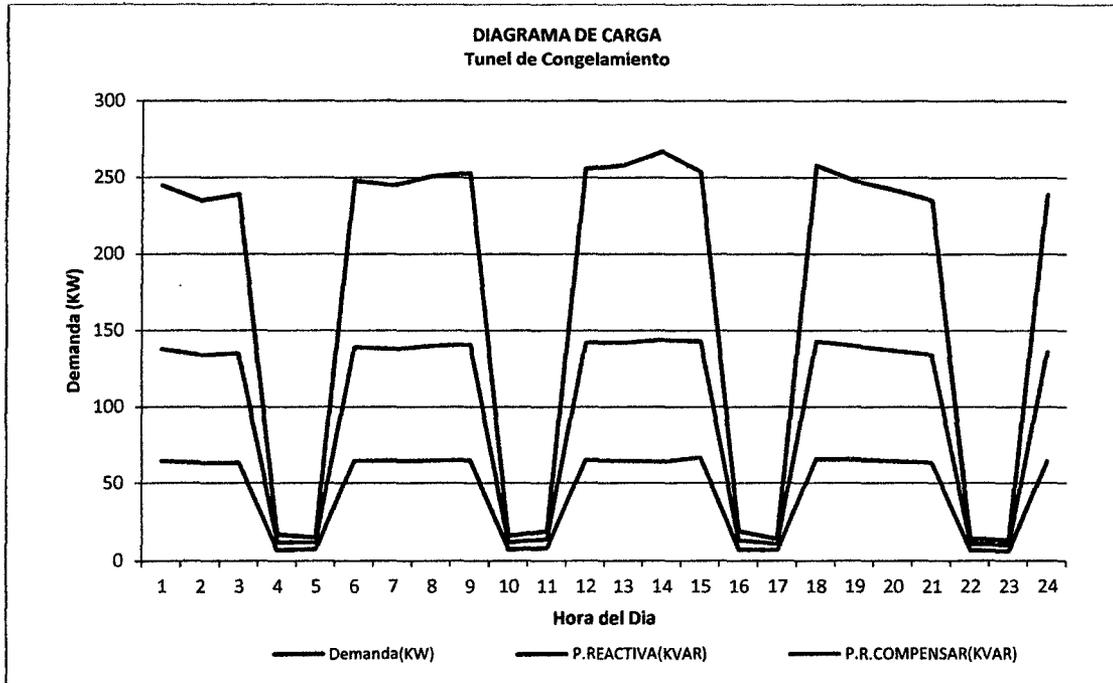


Figura N° 62 Diagrama de Carga de Invierno Túnel de congelamiento Mínima demanda.

Fuente: Elaboración propia

De la figura anterior se puede deducir que en el túnel de congelamiento durante los periodos de mínima demanda trabajan las 3 unidades que la conforman con la característica de que solo opera un compresor por unidad durante las horas punta de operación, mientras que durante las horas valle solo operan los servicios auxiliares y ventiladores.

Se tienen 4 batch de operación con 4 horas de operación y 2 horas de operación operando los servicios auxiliares y ventiladores, con una máxima demanda de 267 KW (3*89 KW) y una demanda mínima en las zonas valle del diagrama de carga de 13 KW (3*4.3 KW).

Cuadro N°24 Potencias para Unidades del Túnel de congelamiento Estación de invierno - mínima demanda

POTENCIA (HP)	EQUIPOS	PERIODO PUNTA(KW)	PERIODO VALLE(KW)
125	COMPRESOR 1 (93 KW))	74	-
125	COMPRESOR 2(93 KW)	-	-
30	COND.EVAPORATIVO (22 KW)	10	-
12	VENTILADORES(8.9 KW)	3.5	3.5
6	AUXILIARES(4.5 KW)	1.5	0.8
298	DEMANDA	89	4.3

Fuente: Elaboración propia

4.2 ESTIMACION DEL NUMERO DE ESCALONES DEL SISTEMA DE COMPENSACION:

4.2.1 CAMARAS FRIGORIFICAS:

A. ESTACION DE VERANO: Máxima Producción.

Se tiene la siguiente configuración: 1:2:3:4:4:4

Un total de 7 escalonamientos: 1 de 10 KVAR, 1 de 20 KVAR, 1 de 30 KVAR y 4 de 40 KVAR

Con un Factor de Potencia final de:

$$\cos(\arctg \left(\frac{8,638 - 3,240}{17,997} \right)) = 0.9578$$

Cuadro N° 25 Escalonamientos para Carga de Verano Cámara Frigorífica a Máxima producción

Hora	10	10	20	20	20	20	30	30	30	30	40	40	40	40	40	EQUIPO
1							30				40	40	40			150
2											40	40	40	40		160
3											40	40	40	40		160
4							30									30
5	10										40	40	40	40		170
6	10										40	40	40	40		170
7											40	40	40	40		160
8							30									30
9	10										40	40	40	40		170
10			20								40	40	40	40		180
11	10										40	40	40	40		170
12							30									30
13			20								40	40	40	40		180
14			20								40	40	40	40		180
15	10										40	40	40	40		170
16											40					40
17	10										40	40	40	40		170
18	10										40	40	40	40		170
19	10										40	40	40	40		170
20							30									30
21	10										40	40	40	40		170
22	10										40	40	40	40		170
23			20								40	40	40	40		180
24							30									30
	10		20				30				40	40	40	40		3240

Fuente: Elaboración propia

B. ESTACION DE VERANO : Mínima Producción.

Se tiene la siguiente configuración: 1:2:3:4:4:

Un total de 5 escalonamientos: 1 de 10 KVAR, 1 de 20 KVAR, 1 de 30 KVAR y 2 de 40 KVAR

Con un Factor de Potencia final de:

$$\cos(\arctg \left(\frac{4,786 - 1,980}{9,366} \right)) = 0.9579$$

Cuadro N° 26 Escalonamiento para Carga de Verano Cámara Frigorífica a Mínima producción.

Hora	10	10	20	20	20	20	30	30	30	30	40	40	40	40	40	EQUIPO
1			20								40	40				100
2			20								40	40				100
3							30				40	40				110
4			20								40	40				100
5							30									30
6							30				40	40				110
7							30				40	40				110
8											40	40				80
9											40	40				80
10											40	40				80
11							30									30
12	10										40	40				90
13											40	40				80
14											40	40				80
15											40	40				80
16	10										40	40				90
17							30									30
18											40	40				80
19			20								40	40				100
20			20								40	40				100
21	10										40	40				90
22			20								40	40				100
23			20													20
24							30				40	40				110
	10		20				30				40	40				1980

Fuente: Elaboración propia

C. ESTACION DE INVIERNO: Máxima Producción.

Se tiene la siguiente configuración: 1:2:3:4:4:4

Un total de 6 escalonamientos: 1 de 10 KVAR, 1 de 20 KVAR, 1 de 30 KVAR y 3 de 40 KVAR

Con un Factor de Potencia final de:

$$\cos(\arctg \left(\frac{7,791 - 2,680}{17,045} \right)) = 0.9578$$

Cuadro N° 27 Escalonamiento para Carga de Invierno Cámara Frigorífica a Máxima producción.

Hora	10	10	20	20	20	20	30	30	30	30	40	40	40	40	40	EQUIPO
1			20								40	40	40			140
2			20								40	40	40			140
3							30				40	40	40			150
4							30									30
5	10										40	40	40			130
6			20								40	40	40			140
7	10										40	40	40			130
8							30									30
9			20								40	40	40			140
10			20								40	40	40			140
11			20								40	40	40			140
12							30									30
13			20								40	40	40			140
14							30				40	40	40			150
15							30				40	40	40			150
16							30									30
17	10										40	40	40			130
18	10										40	40	40			130
19	10										40	40	40			130
20							30									30
21			20								40	40	40			140
22			20								40	40	40			140
23			20								40	40	40			140
24							30									30
	10		20				30				40	40	40			2680

Fuente: Elaboración propia

D. ESTACION DE INVIERNO: Mínima Producción.

Se tiene la siguiente configuración: 1:2:4:4:

Un total de 4 escalonamientos: 1 de 10 KVAR, 1 de 20 KVAR y 2 de 40 KVAR

Con un Factor de Potencia final de:

$$\cos(\arctg \left(\frac{4,162 - 1,760}{8,038} \right)) = 0.9581$$

Cuadro N° 28 Escalonamiento para Carga de Invierno Cámara Frigorífica a Mínima producción.

Hora	10	10	20	20	20	20	30	30	30	30	40	40	40	40	40	EQUIPO
1	10										40	40				90
2	10										40	40				90
3											40	40				80
4	10										40	40				90
5			20													20
6											40	40				80
7											40	40				80
8	10										40	40				90
9											40	40				80
10											40	40				80
11			20													20
12											40	40				80
13											40	40				80
14											40	40				80
15											40	40				80
16	10										40	40				90
17			20													20
18											40	40				80
19	10										40	40				90
20											40	40				80
21	10										40	40				90
22											40	40				80
23			20													20
24	10										40	40				90
	10		20								40	40				1760

Fuente: Elaboración propia

- E. RESUMEN ESCALONAMIENTOS CAMARA FRIGORIFICA : Se presenta los resultados para las 4 condiciones de producción ,optándose por una configuración con 7 escalonamientos: : 1 de 10 KVAR, 1 de 20 KVAR, 1 de 30 KVAR y 4 de 40 KVAR

Cuadro N° 29 Resumen Escalonamiento de Condensadores Cámara Frigorífica

ESTACION DE VERANO MAXIMA PRODUCCION	10	20	30	40	40	40	40
ESTACION DE VERANO MINIMA PRODUCCION	10	20	30	40	40		
ESTACION DE INVIERNO MAXIMA PRODUCCION	10	20	30	40	40	40	
ESTACION DE INVIERNO MINIMA PRODUCCION	10	20		40	40		

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 TUNEL DE CONGELAMIENTO:

A. ESTACION DE VERANO: Máxima Producción.

Se tiene la siguiente configuración: 2:3:4:4:4

Un total de 5 escalonamientos: 1 de 20 KVAR, 1 de 30 KVAR y 3 de 40 KVAR

Con un Factor de Potencia final de:

$$\cos(\arctg \left(\frac{6,792 - 3,110}{12,282} \right)) = 0.9578$$

Cuadro N° 30 Escalonamientos para Carga de Verano Túnel de Congelamiento
a Máxima producción

Hora	10	10	20	20	20	20	30	30	30	30	40	40	40	40	40	EQUIPO
1							30				40	40	40			150
2							30				40	40	40			150
3			20								40	40	40			140
4							30				40	40	40			150
5			20													20
6							30				40	40	40			150
7			20								40	40	40			140
8			20								40	40	40			140
9			20								40	40	40			140
10			20								40	40	40			140
11			20								40	40	40			140
12							30				40	40	40			150
13			20													20
14			20								40	40	40			140
15							30				40	40	40			150
16							30				40	40	40			150
17			20								40	40	40			140
18							30				40	40	40			150
19			20								40	40	40			140
20							30				40	40	40			150
21			20													20
22			20								40	40	40			140
23							30				40	40	40			150
24							30				40	40	40			150
			20				30				40	40	40			3110

Fuente: Elaboración propia

B. ESTACION DE VERANO: Mínima Producción.

Se tiene la siguiente configuración: 1:3:4:4

Un total de 4 escalonamientos: 1 de 10 KVAR, 1 de 30 KVAR y 2 de 40 KVAR

Con un Factor de Potencia final de:

$$\cos(\arctg \left(\frac{3,371 - 1,600}{5,925} \right)) = 0.9581$$

Cuadro N° 31 Escalonamiento para Carga de Verano Túnel de Congelamiento a Mínima producción.

Hora	10	10	20	20	20	20	30	30	30	30	40	40	40	40	40	
1											40	40				80
2											40	40				80
3											40	40				80
4							30				40					70
5	10															10
6							30				40					70
7											40	40				80
8											40	40				80
9											40	40				80
10											40	40				80
11											40	40				80
12							30				40					70
13	10															10
14							30				40					70
15							30				40					70
16							30				40					70
17							30				40					70
18											40	40				80
19											40	40				80
20							30				40					70
21	10															10
22							30				40					70
23							30				40					70
24							30				40					70
	10						30				40	40				1600

Fuente: Elaboración propia

C. ESTACION DE INVIERNO: Máxima Producción.

Se tiene la siguiente configuración: 1:2:4:4:4

Un total de 6 escalonamientos: 1 de 10 KVAR, 1 de 20 KVAR y 3 de 40 KVAR

Con un Factor de Potencia final de:

$$\cos(\arctg \left(\frac{4,955 - 2,310}{8,834} \right)) = 0.9580$$

Cuadro N° 32 Escalonamiento para Carga de Invierno Túnel de Congelamiento a Máxima producción.

Hora	10	10	20	20	20	20	30	30	30	30	40	40	40	40	40	EQUIPO
1	10										40	40	40			130
2	10										40	40	40			130
3			20								40	40	40			140
4			20													20
5			20													20
6	10										40	40	40			130
7			20								40	40	40			140
8	10										40	40	40			130
9	10										40	40	40			130
10			20													20
11			20													20
12	10										40	40	40			130
13	10										40	40	40			130
14	10										40	40	40			130
15			20								40	40	40			140
16			20													20
17			20													20
18	10										40	40	40			130
19			20								40	40	40			140
20			20								40	40	40			140
21			20								40	40	40			140
22			20													20
23			20													20
24			20								40	40	40			140
																2310
	10		20								40	40	40			

Fuente: Elaboración propia

D. ESTACION DE INVIERNO: Mínima Producción.

Se tiene la siguiente configuración: 1:2:3:3:4

Un total de 5 escalonamientos: 1 de 10 KVAR, 1 de 20 KVAR, 2 de 30 KVAR y 1 de 40 KVAR

Con un Factor de Potencia final de:

$$\cos(\arctg \left(\frac{2,321 - 1,100}{4,100} \right)) = 0.9584$$

Cuadro N° 33 Escalonamiento para Carga de Invierno Túnel de Congelamiento a Mínima producción.

Hora	10	10	20	20	20	20	30	30	30	30	40	40	40	40	40	EQUIPO
1							30	30								60
2							30	30								60
3							30	30								60
4	10															10
5	10															10
6							30	30								60
7							30	30								60
8							30	30								60
9							30				40					70
10	10															10
11	10															10
12							30				40					70
13							30				40					70
14			20								40					60
15							30				40					70
16	10															10
17	10															10
18							30				40					70
19							30				40					70
20			20								40					60
21			20								40					60
22	10															10
23	10															10
24			20								40					60
	10		20				30	30			40					1100

Fuente: Elaboración propia

- E. RESUMEN ESCALONAMIENTOS TUNEL DE CONGELAMIENTO : Se presenta los resultados para las 4 condiciones de producción ,optándose por una configuración con 7 escalonamientos: : 1 de 10 KVAR, 1 de 20 KVAR, 2 de 30 KVAR y 3 de 40 KVAR

Cuadro N° 34 Resumen Escalonamiento de Condensadores Túnel de Congelamiento

ESTACION DE VERANO MAXIMA PRODUCCION		20	30		40	40	40
ESTACION DE VERANO MINIMA PRODUCCION	10		30		40	40	
ESTACION DE INVIERNO MAXIMA PRODUCCION	10	20			40	40	40
ESTACION DE INVIERNO MINIMA PRODUCCION	10	20	30	30	40		

Fuente: Elaboración propia

4.3 CARACTERIZACION DEL BANCO DE CONDENSADORES: Un equipo de compensación automático debe ser capaz de adecuarse a las variaciones de potencia reactiva de la instalación; para conseguir y mantener el factor de potencia de la instalación. Un equipo de compensación automático está constituido por 4 elementos principales:

- El regulador:
- Contactores:
- Condensadores:
- Elementos externos del regulador del factor de potencia.

4.3.1 BANCO DE CONDENSADORES DE CAMARA DE CONSERVACION:

A. CONSIDERACIONES TECNICAS:

Para el Banco de condensadores de la cámara de conservación se necesitara un escalonamiento 1:2:3:4:4:4:4.

Para la determinación de la corriente nominal por condensador trifásico se aplica la siguiente ecuación:

$$I_n = \frac{Q_i}{\sqrt{3} * v}$$

Dónde:

I_n = Corriente nominal de fase en amperios.

Q_i = Es la Potencia reactiva del condensador (KVAR)

v = Tensión de fase en voltios (0.440 kV)

Para la selección del contactor que permitirá conectar y desconectar los condensadores al sistema eléctrico de la cámara de conservación debe tener en cuenta lo siguiente : En el caso de compensación individual, la corriente de cresta de conexión puede alcanzar valores de hasta 30 veces la corriente nominal del condensador. En bancos automáticos de varios pasos, la corriente de conexión proviene no sólo de la red, sino especialmente, de los condensadores que ya están conectados. En este caso los valores de la corriente de cresta pueden alcanzar fácilmente valores de hasta 180 a 200 veces la corriente nominal. Estas elevadas corrientes pueden dañar tanto los contactos de los contactores como los condensadores y las oscilaciones de tensión asociadas, pueden provocar problemas en otros circuitos de la instalación. El manual Schneider Electric Tomo V recomienda seleccionar un valor de $1.43 I_n$

Para los dispositivos de protección (interruptores) teniendo en cuenta de considerar una sobrecarga del 30 % por efecto de armónicos y una tolerancia de 5% según la Norma NFC 54-104 e IEC 70) entonces el valor de la corriente de este equipo debe ser .: $1.36 I_n$

Para la selección de fusibles de alta capacidad de ruptura A.R del tipo GL, para proteger al condensador de : Sobrecargas (30 % debido a los armónicos) , evitar altas corrientes transitorias de conexión, evitar la explosión de la unidad fallida y reducir la energía del arco dentro de la unidad fallada.

El parámetro más importante en la selección del fusible es la energía específica I^2t , es decir que comparando el I^2t del fusible con el I^2t de la corriente de conexión del condensador puede determinarse el calibre apropiado del fusible . Lo recomendable según el Manual de MERLIN GERIN (Fabricantes de condensadores) se sugiere un valor entre 1.6 a 2 veces el valor del I_n

Según recomendaciones del fabricante Merlin Gerin, los conductores de potencia de los condensadores de baja tensión deben estar dimensionados para una corriente de 1,5 veces la corriente nominal de funcionamiento del condensador.

B. ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS CONDENSADORES:

Los condensadores siemens para corregir el factor de potencia están especialmente diseñado para aplicaciones industriales de altas potencias con demandas extremas de vida útil, uso constante y soporta altas corrientes de llamada ($200 \times I_n$). Tales aplicaciones requieren pasos típicos de 5 o 50 kVAR conmutado por un controlador de factor de potencia vía el contactor de cada condensador. Con los condensadores de la serie PHASECAP se pueden formar conjuntos más compactos, reducir el costo de los componentes y el tiempo de instalación y conexión con una respuesta térmica mejorada.

Se seleccionan los siguientes equipos:

01 Condensador CLMD13-10 de 10 KVAR Tipo 2GCA281118A0030.

01 Condensador CLMD43-25 de 20 KVAR Tipo 2GCA280827A0030

01 Condensador CLMD63-40 de 30 KVAR Tipo 2GCA280830A0030.

04 Condensadores CLMD63-50 de 30 KVAR Tipo 2GCA281541A0030

El interruptor principal del Banco de Condensadores es:

$$I_n = \frac{Q_i}{\sqrt{3} * v}$$

$$I_n = \frac{220}{\sqrt{3} * 0,44} = 291 \text{ Amperios}$$

El interruptor principal del banco de compensación es tipo ferromagnético marca ABB modelo AF 590 de caja moldeada, con corriente nominal de 290 A, voltaje nominal de 440 V, máxima temperatura a 70 °C y corriente de interrupción de 12 kA.

El rango de temperaturas óptimas especificadas para el condensador es el siguiente:

- Temperatura mínima: -25 °C
- Temperatura Máxima: +50 °C (Máxima diaria)
- Temperatura Media: +40 °C (Promedio Diaria)
- Temperatura Media: +30 °C (Promedio Anual)

c. CARACTERISTICAS DEL REGULADOR:

Este es un equipo de control automático que realiza la conexión o desconexión mediante relés, de los pasos con el fin de alcanzar el factor de potencia seleccionado previamente por el usuario. Se selecciona un regulador de factor de potencia DCRG 8 Marca Lovato Electric de 8 escalones, teniendo en cuenta los 7 escalones actuales y una salida para ampliaciones. Incluye 4 módulos de expansión adicionales externos.(Ver detalles en el Anexo)

Los datos que se deben programar en un regulador al realizar la puesta en marcha son los siguientes:

- El $\cos \varphi$ deseado en la instalación.
- La relación C/K.

Estos datos son únicos para cada instalación y no se pueden programar de fábrica.

Para nuestro caso el valor del factor de potencia deseado es de 0.9567, valor mínimo el cual no se hace efectivo la penalidad por energía reactiva en una empresa.

Para el caso de la relación C/K : El regulador es el componente que decide la entrada o salida de los escalones, en función de la potencia reactiva utilizada en aquel momento en la instalación. Para esta función utiliza tres parámetros:

- El $\cos \varphi$ deseado en la instalación.
- El $\cos \varphi$ que existe en cada momento en la instalación.
- La intensidad del primer escalón, que es el que marca la regulación mínima de la batería.

La toma de la señal de la intensidad se realiza siempre a través de un transformador de intensidad mediante una relación de transformación $RT = X/5$.

Para que el regulador pueda conectar un escalón u otro, ha de conocer la potencia de cada escalón y consecuentemente su intensidad. La señal permanente, recibida del transformador de intensidad, le permite conocer las necesidades de cada momento.

La acomodación de esta necesidad a la conexión de escalones se realiza por medio de una relación, que llamamos C/K, introducida como un parámetro en el regulador. El valor del C/K se obtiene de la fórmula siguiente:

$$\frac{C}{k} = \frac{Q1(VAR)}{\sqrt{3} * v(voltios) * RT}$$

$$\frac{C}{k} = \frac{10,000}{\sqrt{3} * 440 * 80/5} = 0.827$$

Para comprender la importancia del ajuste del C/K, tenemos que entender que cada batería tiene su propio escalón base.

Por tanto, la batería sólo podrá ajustar su potencia a la potencia solicitada, en función del $\cos \varphi$ deseado, cuando ésta tenga un valor igual o múltiplo del escalón base.

Los reguladores proporcionan la posibilidad de ajuste automático del C/K bajo cualquier condición de carga de la instalación. El ajuste manual permite la introducción de valores desde 0,01 hasta 1,99, pudiéndose visualizar en pantalla el valor ajustado.

Un ajuste demasiado bajo del C/K (banda muy estrecha) implica un sobretrabajo inútil de los contactores.

Un ajuste demasiado alto (banda muy ancha) implica un defecto de ajuste del $\cos \varphi$ deseado y una excesiva estabilidad de los contactores; por tanto, la regulación del C/K tiene un valor óptimo que corresponde a la fórmula anteriormente descrita.

D. ESPECIFICACIONES TECNICAS COMPONENTES:

Se tiene un cálculo para el escalonamiento N° 1 de 10 KVAR:

- Corriente nominal del condensador :

$$I_n = \frac{Q_i}{\sqrt{3} * v} = \frac{10}{\sqrt{3} * 0.44} = 13.12 \text{ amperios}$$

- Para el cálculo del I_c : Corriente nominal permanente de empleo del contactor

$$I_c = I_n * 1.43 = 18.8 \text{ amperios} = 19 \text{ amperios}$$

Se selecciona un Contactor para maniobra ABB UA 16-30-10RA de 10KVAR fabricado según la norma IEC.

- Para la selección de los fusibles se toma un valor intermedio de 1.8:

$$I_f = I_n * 1.8 = 23.6 \text{ amperios} = 24 \text{ amperios}$$

Se seleccionan fusibles WEG desarrollados de acuerdo con la Norma IEC60269 del tipo FNH 00- 25K-A

- Para los interruptores se toma en cuenta los valores recomendados por el fabricante MERLIN GERIN seleccionándose interruptores NC 100 H/LH para una temperatura de 50 °C.
- Para la selección de los conductores , se toma en cuenta un valor de 2 veces la corriente nominal :

$$I_{cond} = I_n * 2 = 26.24 \text{ amperios} = 26 \text{ amperios}$$

Se seleccionan conductores fabricados según la norma IEC 60227 y NTP 320.252 Calibre de 2.5 mm² de sección nominal

- Se tienen los siguientes resultados para cada uno de los componentes por escalonamiento:

Cuadro N° 35 Resumen de Componentes Banco de Condensadores –Cámara de conservación

ESCALON	POTENCIA(KVAR)	In (Amp)	Ic (Amp)	CONTACTOR	INTERRUPTOR	If (Amp)	FUSIBLES	I cond(Amp)	Calibre
1	10	13	19	ABB UA 16-30-10RA	NC 100 H/LH	24	FNH 00- 25K-A	26	2.5 mm2
2	20	26	38	ABB UA 26-30-10RA	C101 H/N/L	47	FNH 00- 50K-A	52	4 mm2
3	30	39	56	ABB UA 30-30-10RA	C101 H/N/L	71	FNH 00- 80K-A	79	6 mm2
4	40	71	90	ABB UA 16-30-10RA	C161 H/N/L	90	FNH 00- 100K-A	100	10 mm2
5	40	71	90	ABB UA 16-30-10RA	C161 H/N/L	90	FNH 00- 100K-A	100	10 mm2
6	40	71	90	ABB UA 16-30-10RA	C161 H/N/L	90	FNH 00- 100K-A	100	10 mm2
7	40	71	90	ABB UA 16-30-10RA	C161 H/N/L	90	FNH 00- 100K-A	100	10 mm2

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 BANCO DE CONDENSADORES DE TUNEL DE CONGELAMIENTO:

A. CONSIDERACIONES TECNICAS:

Para el Banco de condensadores de la cámara de conservación se necesitara un escalonamiento 1:2:3:3:4:4:4. de 210 KVAR.

B. ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS CONDENSADORES:

Los condensadores siemens para corregir el factor de potencia están especialmente diseñado para aplicaciones industriales de altas potencias con demandas extremas de vida útil, uso constante y soporta altas corrientes de llamada ($200 \times I_n$). Tales aplicaciones requieren pasos típicos de 5 o 50 kVAR conmutado por un controlador de factor de potencia vía el contactor de cada condensador. Con los condensadores de la serie PHASECAP se pueden formar conjuntos más compactos, reducir el costo de los componentes y el tiempo de instalación y conexión con una respuesta térmica mejorada.

Se seleccionan los siguientes equipos:

01 Condensador CLMD13-10 de 10 KVAR Tipo 2GCA281118A0030.

01 Condensador CLMD43-25 de 20 KVAR Tipo 2GCA280827A0030

02 Condensador CLMD63-40 de 30 KVAR Tipo 2GCA280830A0030.

03 Condensadores CLMD63-50 de 30 KVAR Tipo 2GCA281541A0030

El interruptor principal del Banco de Condensadores es:

$$I_n = \frac{Q_i}{\sqrt{3} * v}$$

$$I_n = \frac{210}{\sqrt{3} * 0.44} = 276 \text{ Amperios}$$

El interruptor principal del banco de compensación es tipo ferromagnético marca ABB modelo AF 590 de caja moldeada, con corriente nominal de 290 A, voltaje nominal de 440 V, máxima temperatura a 70 °C y corriente de interrupción de 12 kA.

El rango de temperaturas óptimas especificadas para el condensador es el siguiente:

- Temperatura mínima: -25 °C
- Temperatura Máxima: +50 °C (Máxima diaria)
- Temperatura Media: +40 °C (Promedio Diaria)
- Temperatura Media: +30 °C (Promedio Anual)

c. CARACTERISTICAS DEL REGULADOR:

Este es un equipo de control automático que realiza la conexión o desconexión mediante relés, de los pasos con el fin de alcanzar el factor de potencia seleccionado previamente por el usuario. Se selecciona un regulador de factor de potencia DCRG 8 Marca Lovato Electric de 8 escalones, teniendo en cuenta los 7 escalones actuales y una salida para ampliaciones. Incluye 4 módulos de expansión adicionales externos.(Ver detalles en el Anexo)

La acomodación de esta necesidad a la conexión de escalones se realiza por medio de una relación, que llamamos C/K, introducida como un parámetro en el regulador. El valor del C/K se obtiene de la fórmula siguiente:

$$\frac{C}{k} = \frac{Q1(VAR)}{\sqrt{3} * v(voltios) * RT}$$

$$\frac{C}{k} = \frac{10,000}{\sqrt{3} * 440 * 80/5} = 0.827$$

D. ESPECIFICACIONES TECNICAS COMPONENTES:

Se tiene un cálculo para el escalonamiento N° 1 de 10 KVAR:

- Corriente nominal del condensador :

$$I_n = \frac{Q_i}{\sqrt{3} * v} = \frac{10}{\sqrt{3} * 0.44} = 13.12 \text{ amperios}$$

- Para el cálculo del I_c : Corriente nominal permanente de empleo del contactor

$$I_c = I_n * 1.43 = 18.8 \text{ amperios} = 19 \text{ amperios}$$

Se selecciona un Contactor para maniobra ABB UA 16-30-10RA de 10KVAR fabricado según la norma IEC.

- Para la selección de los fusibles se toma un valor intermedio de 1.8:

$$I_f = I_n * 1.8 = 23.6 \text{ amperios} = 24 \text{ amperios}$$

Se seleccionan fusibles WEG desarrollados de acuerdo con la Norma IEC60269 del tipo FNH 00- 25K-A

- Para los interruptores se toma en cuenta los valores recomendados por el fabricante MERLIN GERIN seleccionándose interruptores NC 100 H/LH para una temperatura de 50 °C.

- Para la selección de los conductores , se toma en cuenta un valor de 2 veces la corriente nominal :

$$I_{cond} = I_n * 2 = 26.24 \text{ amperios} = 26 \text{ amperios}$$

Se seleccionan conductores fabricados según la norma IEC 60227 y NTP 320.252 Calibre de 2.5 mm² de sección nominal

- Se tienen los siguientes resultados para cada uno de los componentes por escalonamiento:

Cuadro N° 36 Resumen de Componentes Banco de Condensadores –Túnel de congelamiento

ESCALON	POTENCIA(KVAR)	In (Amp)	Ic (Amp)	CONTACTOR	INTERRUPTOR	If (Amp)	FUSIBLES	I cond(Amp)	Calibre
1	10	13	19	ABB UA 16-30-10RA	NC 100 H/LH	24	FNH 00- 25K-A	26	2.5 mm2
2	20	26	38	ABB UA 26-30-10RA	C101 H/N/L	47	FNH 00- 50K-A	52	4 mm2
3	30	39	56	ABB UA 30-30-10RA	C101 H/N/L	71	FNH 00- 80K-A	79	6 mm2
4	30	39	56	ABB UA 30-30-10RA	C101 H/N/L	71	FNH 00- 80K-A	79	6 mm2
5	40	71	90	ABB UA 16-30-10RA	C161 H/N/L	90	FNH 00- 100K-A	100	10 mm2
6	40	71	90	ABB UA 16-30-10RA	C161 H/N/L	90	FNH 00- 100K-A	100	10 mm2
7	40	71	90	ABB UA 16-30-10RA	C161 H/N/L	90	FNH 00- 100K-A	100	10 mm2

Fuente: Elaboración propia

4.4 CARACTERIZACION DE LAS CARGAS CAPACITIVAS INDIVIDUALES:

4.4.1 CARGAS INDIVIDUALES EN CAMARA DE CONSERVACION/TUNEL DE CONSERVACION:

Se tienen los siguientes motores de las 2 unidades pertenecientes a la cámara de conservación que por el tamaño de los motores requieren un condensador individual.

Cuadro N° 37 Resumen de Motores para instalar compensación individual –Cámara de Conservación

EQUIPO UNIDAD 1	POTENCIA (HP)	FACTOR DE POTENCIA
COMPRESOR 1 (134 KW))	180	0.9
COMPRESOR 2(134 KW)	180	0.9
COMPRESOR 3(134 KW)	180	0.9
COMPRESOR 4(111 KW)	150	0.9
EQUIPO UNIDAD 2	POTENCIA (HP)	FACTOR DE POTENCIA
COMPRESOR 1 (134 KW))	180	0.9
COMPRESOR 2(134 KW)	180	0.9
COMPRESOR 3(134 KW)	180	0.9
COMPRESOR 4(111 KW)	150	0.9

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 38 Resumen de Motores para instalar compensación individual –Túnel de congelamiento

EQUIPOS-UNIDAD 1	POTENCIA (HP)	FACTOR DE POTENCIA
COMPRESOR 1 (93 KW))	125	0.9
COMPRESOR 2(93 KW)	125	0.9
EQUIPOS-UNIDAD 2	POTENCIA (HP)	FACTOR DE POTENCIA
COMPRESOR 1 (93 KW))	125	0.9
COMPRESOR 2(93 KW)	125	0.9
EQUIPOS-UNIDAD 3	POTENCIA (HP)	FACTOR DE POTENCIA
COMPRESOR 1 (93 KW))	125	0.9
COMPRESOR 2(93 KW)	125	0.9

Fuente: Elaboración propia

El factor de potencia de los motores es muy bajo en vacío o con poca carga; debemos procurar evitar trabajar en estas condiciones sin compensación.

En el momento de instalar una batería de condensadores en los bornes de un motor, hemos de asegurarnos que la potencia de la batería es inferior a la potencia necesaria para la autoexcitación del motor.

Si un motor arrastra una carga con gran inercia (volante), puede suceder que después de un corte de la alimentación siga girando por la fuerza de la energía cinética y utilice la energía de la batería de condensadores para autoexcitarse y trabajar como un generador asíncrono. Esta actuación genera una sobretensión en la red, y a veces de valores importantes. Para evitar este fenómeno, debemos asegurarnos que la potencia de la batería de condensadores es inferior a la autoexcitación propia del motor, asegurándonos que:

$$Q_c \leq 0.9 * I_0 * v * \sqrt{3}$$

Se tiene el siguiente procedimiento para un motor de 180 HP o 134 KW , para un Factor de potencia de 0.9.

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{134}{0.9} = 149 \text{ KVA}$$

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

$$Q = \sqrt{149^2 - 134^2} = 65.15 \text{ KVAR}$$

Para un factor de potencia meta de 0.9567 , se tiene el valor de la Potencia reactiva presente:

$$Q_{nuevo} = P * \text{tang}(\text{arc cos } 0.9567)) = 40.76 \text{ KVAR}$$

La Potencia reactiva a compensar es igual a :

$$Q_{comp} = Q - Q_{nuevo} = 65.15 - 40.76 = 24.4 \text{ KVAR} = 25 \text{ KVAR}$$

Se selecciona el siguiente equipo:

01 Condensador CLMD53-50 de 25 KVAR Tipo 2GCA280828A0030.

Se determinan sus principales accesorios:

- Corriente nominal del condensador :

$$I_n = \frac{Q_i}{\sqrt{3} * v} = \frac{25}{\sqrt{3} * 0.44} = 33.1 \text{ amperios}$$

- Para el cálculo del I_c : Corriente nominal permanente de empleo del contactor

$$I_c = I_n * 1.43 = 48 \text{ amperios}$$

Se selecciona un Contactor para maniobra ABB UA 75-30-00 de 53 amperios fabricado según la norma IEC.

- Para la selección de los fusibles se toma un valor intermedio de 1.8:

$$I_f = I_n * 1.8 = 59.6 \text{ amperios} = 60 \text{ amperios}$$

Se seleccionan fusibles WEG desarrollados de acuerdo con la Norma IEC60269 del tipo FNH00-63K-A

- Para los interruptores se toma en cuenta los valores recomendados por el fabricante MERLIN GERIN seleccionándose interruptores NC 101 H/LH para una temperatura de 50 °C.

Cuadro N° 40 Resumen de Compensación individual

POTENCIA(KW)	POTENCIA(KVAR)	I_n (Amp)	I_c (Amp)	CONTACTOR	INTERRUPTOR	I_f (Amp)
134	25	33.1	48	ABB UA 75-30-00	NC 100 H/LH	60
111	13	26	38	ABB UA 13-15	NC 100 H/LH	47
93	5	8.6	12.3	ABB UA 16-30-10RA	NC 100 H/LH	15.5

Fuente: Elaboración propia

4.5 EVALUACION ECONOMICA:

4.5.1 FLUJO DE CAJA:

A. AHORRO ECONOMICO POR COMPENSACION REACTIVA:

Se presenta el cuadro N° 41 con los gastos mensuales por facturación de energía eléctrica para el año 2013.

Cuadro N° 41 Resumen gastos por facturación de energía eléctrica

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
EAHP	78560	70230	73100	74560	66302	48962	45561	41230	45630	44560	45890	56320
EAHFP	398630	302120	321630	333230	302630	296302	287560	229560	215630	208963	198630	223610
ER LEIDA	256321	202302	225963	236120	209654	212305	201230	152302	139630	139620	137890	147890
MAX.DEMANDA HFP	1581	1530	729	729	1450	1332	1542	1423	1230	1245	1356	1368
MAX.DEMANDA HP	1558	1502	731	733	1420	1325	1512	1402	1120	1320	1320	1302
EAHP	78560	70230	73100	74560	66302	48962	45561	41230	45630	44560	45890	56320
EAHFP	398630	302120	321630	333230	302630	296302	287560	229560	215630	208963	198630	223610
ER FACTURDA	113164	90597	107544	113783	98974.4	108725.8	101293.7	71065	61252	63563.1	64534	63911
PRECIO EAHP	0.1542	0.1542	0.1542	0.1542	0.1542	0.1542	0.1542	0.1542	0.1542	0.1542	0.1542	0.1542
PRECIO EAHFP	0.1152	0.1152	0.1152	0.1152	0.1152	0.1152	0.1152	0.1152	0.1152	0.1152	0.1152	0.1152
PRECIO ER FACTURADA	0.0351	0.0351	0.0351	0.0351	0.0351	0.0351	0.0351	0.0351	0.0351	0.0351	0.0351	0.0351
PRECIO PAG	25.63	25.63	25.63	25.63	25.63	25.63	25.63	25.63	25.63	25.63	25.63	25.63
PRECIO PRD	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75
CARGO EAHP	12113.952	10829.466	11272.02	11497.152	10223.7684	7549.9404	7025.5062	6357.666	7036.146	6871.152	7076.238	8684.544
CARGO EAHFP	45922.18	34804.22	37051.78	38388.10	34862.98	34133.99	33126.91	26445.31	24840.58	24072.54	22882.18	25759.87
CARGO ER	3972.06	3179.95	3774.79	3993.78	3474.00	3816.28	3555.41	2494.38	2149.95	2231.06	2265.14	2243.28
CARGO PAG	40521.03	39213.90	18684.27	18684.27	37163.50	34139.16	39521.46	36471.49	31524.90	31909.35	34754.28	35061.84
CARGO PRD	13632.50	13142.50	6396.25	6413.75	12425.00	11593.75	13230.00	12267.50	9800.00	11550.00	11550.00	11392.50
SUBTOTAL	116161.71	101170.04	77179.11	78977.05	98149.25	91233.12	96459.29	84036.35	75351.57	76634.10	78527.84	83142.03

Fuente: Dpto. de Producción.

Del cuadro anterior se deduce de que se busca suprimir la compensación reactiva dese un valor promedio anual de 0.8712 a un valor de 0.9567, con lo cual se tiene como meta evitar la penalidad por facturación de energía reactiva , por lo tanto se estima un ahorro anual de S/. 37,150.10 = U\$ 11,831.00

B. INVERSION:

Según los cálculos realizados se tienen la siguiente infraestructura a considerar:

01 Banco de Condensadores automático para la Cámara de Conservación de 220 KVAR , en condición de compensación grupal.

01 Banco de Condensadores automático para el Túnel de Congelamiento de 210 KVAR , en condición de compensación grupal.

Se cuenta con 06 Motores de 134 KW (180 HP) cada uno con un condensador individual de 25 KVAR.

Se cuenta con 02 Motores de 111 KW (150 HP) cada uno con un condensador individual de 13 KVAR

Se cuenta con 06 Motores de 93 KW (125 HP) cada uno con un condensador individual de 5 KVAR

Se tiene el siguiente presupuesto resumido (ver anexo presupuesto detallado)

Inversión Total: U\$ 22,000.00

Además se considera un costo de operación y mantenimiento de U\$ 1,000.00 anuales por mantenimiento preventivo del sistema de compensación reactiva, el cual no involucra el incremento de personal adicional en planta.

C. PARAMETROS ECONOMICOS.

Los parámetros económicos a considerar en el análisis de la rentabilidad es la siguiente:

Vida útil : 10 años

Tasa de interés comercial : 12%

4.5.2 DETERMINACION DE LOS INDICADORES DE RENTABILIDAD:

Aplicando las ecuaciones 30, 31,32 y 33 se determinan los indicadores de rentabilidad para lo cual se presenta el siguiente cuadro resumen:

Cuadro N° 42 Indicadores de Rentabilidad

ANALISIS ECONOMICO				
Ingresos				
Ahorro por Compensacion		11831.00		
Egresos				
OM		1000.00		
Inversion Total				
Inversion Sistema de Compensacion		22000.00		
Periodo	INVERSION	EGRESOS	INGRESOS	SALDO
0	22000.00			-22000.00
1		1000.00	11831.00	10831.00
2		1000.00	11831.00	10831.00
3		1000.00	11831.00	10831.00
4		1000.00	11831.00	10831.00
5		1000.00	11831.00	10831.00
6		1000.00	11831.00	10831.00
7		1000.00	11831.00	10831.00
8		1000.00	11831.00	10831.00
9		1000.00	11831.00	10831.00
10		1000.00	11831.00	10831.00
VAN (U\$)	54,873.09	TIR	48%	
PAY BACK(AÑOS)		1.86		

Fuente: Elaboración propia

4.6 DISCUSION DE RESULTADOS:

4.6.1 CON REFERENCIA A LOS ANTECEDENTES:

- La presente tesis coincide con el trabajo elaborado por Ruby Aliaga Bautista (UNI,2008), en el cual se reconoce la importancia del uso de los diagramas de carga , aplicándolo en el desplazamiento de cargas pico en programas de uso eficiente y ahorro de energía eléctrica , para nuestro se hizo uso de los diagramas de carga para poder determinar las características de los bancos de condensadores a instalar, hacemos notar que la importancia de los diagramas de carga en nuestro informe también radico en poder identificar el comportamiento de las áreas conformantes de la Panta Frigorífica de la Empresa Pesquera Hayduk S.A.
- Para el caso de la tesis de Enrique Gómez Morales (2009) se consiguió un ahorro del 8.9 % de la factura total de energía eléctrica , con una recuperación de la inversión en 6 meses , mientras que en el presente trabajo al instalar el sistema de compensación reactiva se consigue reducir el 3.5 % de la facturación total anual , con un monto de S/ 37,150.1 con un periodo de recuperación de 1.8 años ,equivalente a 1 año 9 meses. Básicamente la diferencia entre ahorros y periodos de retorno de la inversión es por la diferencia de precios en México y Perú , pero en ambos países se aplica la misma penalidad por energía reactiva , esto cuando el Factor de Potencia es menor a 0.9567.
- Con referencia a la tesis de Gerardo López País (Guatemala , 2,011), en esta se consigue corregir el factor de potencia desde 0.82 a 0.95, procurando una adecuada selección de los elementos de maniobra y los elementos de seguridad para poder darle a la instalación la garantía ante sobretensiones ,tal como lo recomiendan fabricantes tal como SCHNEIDER ELECTRIC y MERLIN GERIN, haciendo uso de equipos normalizados. Mientras que en nuestro informe de tesis se consigue incrementar y mejorar el factor de potencia desde 0.8712 hasta 0.9567, también se selecciona correctamente los componentes de maniobra y seguridad teniendo presente las indicaciones de los fabricantes de condensadores.
- Existe coincidencia con la metodología desarrollada por Fredy Lluíquinga Loya (Ecuador, 2012) en el cual para poder realizar cálculos, dimensionamiento o selección de componentes o equipos, primeramente analiza los diagramas de carga de operación de las instalaciones y trata de identificar las características de comportamiento de consumo

de energía eléctrica, mejorando su factor de potencia hasta 0.92 , tal como lo exige la normatividad de Ecuador. Mientras que en nuestro estudio se aplicó la metodología del diagrama de carga para poder identificar las características de comportamiento de las 02 unidades conformantes de la Planta frigorífica , las cuales son la Unidad de Cámara de Conservación y la Unidad de túnel de congelamiento , así mismo se analizó mediante la metodología del diagrama de carga la influencia de las estaciones en la operación de los motores eléctricos , identificándose un mayor consumo de potencia eléctrica en estaciones de verano. Así mismo se corrigió el Factor de Potencia hasta un valor superior a 0.9567 tal como lo estipula la normatividad peruana , Resolución N°206-2013 OS/CD .

- La tesis de Arturo Ortiz Díaz establece que los beneficios económicos se logran en la reducción de costos en el pago de la energía, en el mantenimiento de instalaciones. Y los beneficios ambientales se logran al que consumir menos energía eléctrica, se consume menos combustibles fósiles.

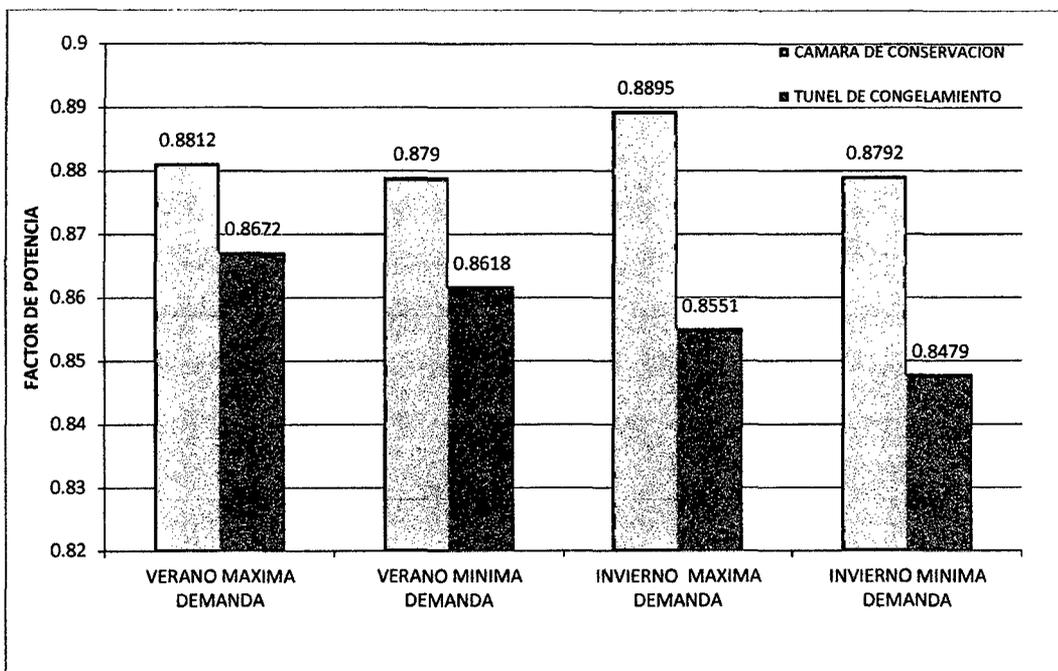
Para nuestro caso tan solo se ha determinado los beneficios económicos , mas no los beneficios ambientales, los cuales no fueron materia de los objetivos planteados en el presente informe.

- Con respecto a la tesis de Daniel Pernia Márquez(Venezuela ,2003) manifiesta que uno de los factores que afecta mayormente al funcionamiento del banco de condensadores debido a la alta sensibilidad de sus componentes es el rango de temperaturas a la cual se ve sometido diariamente y el resultado arrojado por el análisis de costos y beneficio de la propuesta de mejoras en lo referente a la compensación reactiva se observa una recuperación de la inversión, al décimo cuarto mes de operación del sistema. En este caso las condiciones de temperatura en una Planta frigorífica permiten mantener en condiciones operativas las instalaciones eléctricas, las cuales no se ven afectadas por las temperaturas moderadas de la instalación,; así mismo la recuperación de la inversión la realiza en 21° mes.

4.6.2 CON REFERENCIA A LOS CALCULOS:

- La Planta Frigorífica de la Empresa Hayduk S.A cuenta dentro de sus instalaciones con dos áreas o unidades , las cuales son : una cámara frigorífica compuesto por dos grupos con una máxima demanda de 987 KW y un túnel de congelamiento compuesto por tres grupos de operación con una máxima demanda de 594 KW , valores que se registran en los periodos de verano en condiciones de máxima producción.
- Se tienen los comportamientos del factor de potencia para ambas unidades en función a la estación y los niveles de producción:

Grafico N° 1 Comportamiento del Factor de Potencia por Unidades y Estación del año



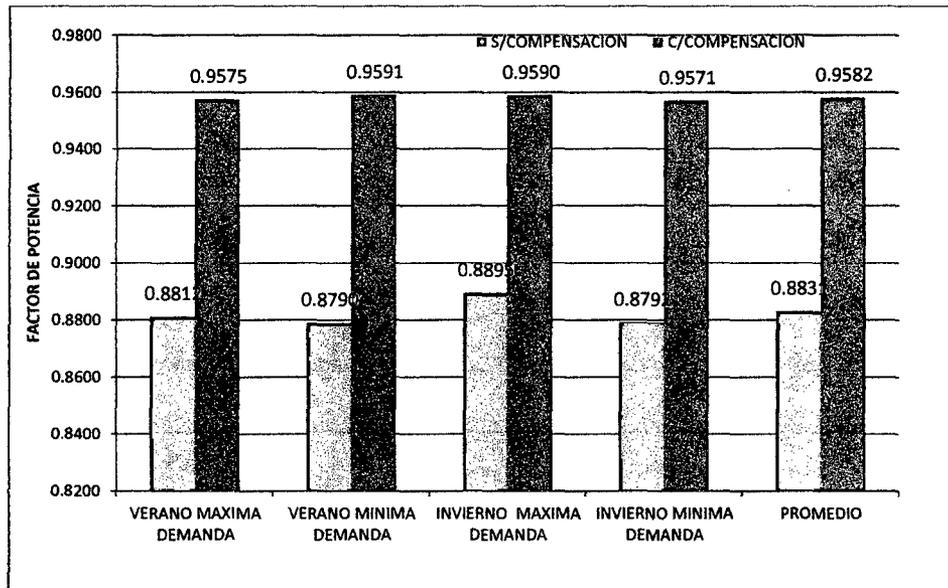
Fuente : Elaboración propia.

Se tiene un valor promedio del Factor de Potencia de 0.8831 para la cámara de conservación y 0.8591 para el Túnel de congelamiento, con un valor del factor de potencia de 0.8712 para toda la planta frigorífica.

- Se ha instalado en la Cámara frigorífica un Banco de Condensadores por grupo de 220 KVAR con un escalonamiento de : 1 de 10 KVAR, 1 de 20 KVAR, 1 de 30 KVAR y 4 de 40

KVAR (1:2:3:4:4:4:4) para lo cual se prevee mejorar el factor de potencia a un valor de 0.9582 , valor superior a 0.9567 establecido por la Resolución N°206-2013 OS/CD . Con un incremento porcentual de 8.5 %.

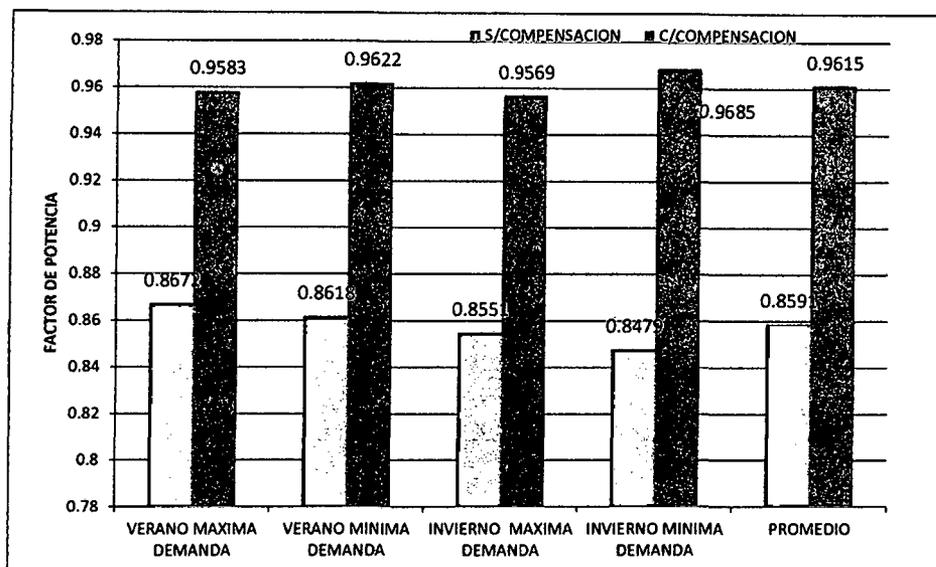
Grafico N° 2 Comportamiento del Factor de Potencia para Cámara Frigorifica



Fuente: Elaboración propia.

- Se ha instalado en el Túnel de Congelamiento un Banco de Condensadores por grupo de 210 KVAR con un escalonamiento de : 1 de 10 KVAR, 1 de 20 KVAR, 2 de 30 KVAR y 3 de 40 KVAR (1:2:3:3:4:4:4) para lo cual se prevee mejorar el factor de potencia a un valor de 0.9615 , valor superior a 0.9567 establecido por la Resolución N°206-2013 OS/CD . Con una mejora porcentual del 11.9 %.

Gráfico N° 3 Comportamiento del Factor de Potencia para el Túnel de Congelamiento



Fuente: Elaboración propia.

- Se ha previsto instalar un conjunto de 14 Condensadores fijos individuales para los motores de 180, 150 y 125 HP , básicamente son motores eléctricos trifásicos que accionan a compresores de tornillo marca VILTER. Con un total de 206 KVAR.
- Con referencia a la meta alcanzada , se presenta el Cuadro N°43 , en el cual se observa que se alcanza un factor de potencia global de 0.9598 el cual es un valor superior al valor meta en 0.33 %.

Cuadro N° 43 Resumen de cumplimiento de meta

	CAMARA FRIGORIFICA	TUNEL DE CONGELAMIENTO	PROMEDIO
VALOR ALCANZADO	0.9582	0.9615	0.95985
META	0.9567	0.9567	0.9567
INCREMENTO	0.16%	0.50%	0.33%

Fuente: Elaboración propia

- Con referencia a la evaluación de la rentabilidad , se tiene una Inversión de U\$ 22,000.00 con el cual se recupera la inversión en 1 año y 9 meses , teniendo un VAN favorable de U\$ 54,873.09 y un TIR de 48 % , con un ahorro de U\$ 11,831 anuales , lo que representa una reducción de la tarificación en 3.5 % , lo que en si es un valor bajo económicamente , pero de vital importancia técnica para la buena operación de las instalaciones.

CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se realizó un análisis de los diagramas de carga de la Planta Frigorífica de la Empresa Hayduk S.A , identificándose las características de operación de las 02 Unidades conformantes , tal como son la Cámara Frigorífica y el Túnel de Congelamiento, analizándose para cada uno de ellos los diagramas de carga en función a la estación de verano e invierno , así como del requerimiento de demanda máxima y demanda mínima.
- Se obtuvo un factor de potencia en la Cámara frigorífica de 0.8831 y para el túnel de congelamiento de 0.8591 , aplicando la metodología del diagrama de carga , con un valor promedio de toda la instalación de 0.8712
- Se dimensiono 02 sistemas de compensación de energía reactiva por grupos , según las siguientes características: Para la cámara frigorífica se tiene la siguiente configuración: 1:2:3:4:4:4:4 con un total de 7 escalonamientos: 1 de 10 KVAR, 1 de 20 KVAR, 1 de 30 KVAR y 4 de 40 KVAR , sumando 220 KVAR-
Para el túnel de congelamiento se tiene una configuración : 1:2:3:3:4:4:4 con 7 escalonamientos: : 1 de 10 KVAR, 1 de 20 KVAR, 2 de 30 KVAR y 3 de 40 KVAR, sumando 210 KVAR.
- Se dimensiono un total de 14 Condensadores individuales con los siguientes detalles :
06 Motores de 134 KW (180 HP) cada uno con un condensador individual de 25 KVAR,
02 Motores de 111 KW (150 HP) cada uno con un condensador individual de 13 KVAR
y 06 Motores de 93 KW (125 HP) cada uno con un condensador individual de 5 KVAR
- Se obtiene un factor de potencia global de 0.9598 desde un valor inicial de 0.8712 , mejorando en un 0.33 % el valor meta fijado de 0.9567 , valor en el cual se suprime la penalidad por consumo de energía reactiva.

- Se obtiene un ahorro económico anual de S/ 37,150 o U\$ 11,831.00 , a instalar el sistema de compensación reactiva compuesto por 02 Bancos de condensadores automáticos grupales y 14 condensadores individuales para motores de gran potencia.
- Se tiene los siguientes indicadores de rentabilidad: Valor Actual Neto de U\$ 54,873 , Tasa Interna de Retorno de 48 % y un pay back de 1 año 9 meses , con el cual con una Inversión de U\$ 22,000.00 el proyecto de instalación de un sistema de compensación reactiva es entable para la empresa.

RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar un estudio de armónicos , luego de implementarse el sistema de compensación reactiva, ya que ante la presencia de cargas no lineales , este fenómeno esta presente en el sistema de compensación reactiva.
- Se recomienda realizar operaciones de mantenimiento preventivo y predictivo de manera periódica con la finalidad de evitar fallas previsibles en el funcionamiento de banco de condensadores.
- Debe prestarse particular atención a la temperatura de servicio, porque tiene una gran influencia sobre la vida del condensador. Es conveniente controlar periódicamente las temperaturas de los condensadores y del ambiente, para que no sobrepasen los límites establecidos, evitando la acumulación de polvo y sustancias ambientales que siempre perjudican la protección eléctrica y térmica.
- Es recomendable realizar un estudio para verificar las condiciones de suministro de energía en el transformador de potencia de la empresa para determinar su estado en lo referente a su capacidad reactiva y mejorarlo si es que fuese necesario.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

TEXTOS:

BASTIAN, P. (2001). "ELECTROTECNIA". (1a ed.). AKAL.
ISBN 9788446013464

COTO, A.(2002). "ANALISIS DE SISTEMAS DE ENERGIA ELECTRICA". Universidad de Oviedo.
ISBN 8483173344

CHAPMAN, S. (2012). "MAQUINAS ELECTRICAS". (5a ed.). Mc Graw Hill.
ISBN 6071507243

ENRIQUEZ, H. (1985). "EL ABC DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES". (2a ed.). Limusa.
ISBN 9789681819354

HERMOSA, D. (2003). "PRINCIPIOS DE ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA". (2a ed.). Marcombo.
ISBN 9788426713339

KOSOW, I. (2001). "MAQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES". (4a ed.). Pearson.
ISBN 968880293X

MUJAL, R. (2004). "ELECTROTECNIA". (1a ed.). Universidad de Cataluña.
ISBN 8498800978

TORRENS, P. (2005). "MÁQUINAS ELÉCTRICAS: APLICACIONES DE INGENIERÍA ELÉCTRICA A INSTALACIONES NAVALES Y MARINAS. PRÁCTICAS". (1a ed.). Universidad de Cataluña.
ISBN 9788498801996

TESIS CONSULTADAS:

- ALIAGA, R. (2004). "OPTIMIZACION DE COSTOS EN LA FACTURACION ELECTRICA APLICADOS A LA PEQUEÑA Y MICRO EMPRESA BASADOS EN UNA CORRECTA APLICACIÓN DEL MARCO REGULATORIO Y LA LEY DE CONCESIONES ELÉCTRICAS Y SU REGLAMENTO. DL 25844 – DS 093-2003". Tesis para optar el Título de Ingeniero Eléctrico, Universidad Nacional de Ingeniería, Peru.
- GOMEZ, M. (2009). "Compensación de Energía Reactiva". Tesis para optar el Título de Ingeniero Electricista, Universidad Tecnológica Nacional de México, México.
- LOPEZ, P. (2011). "CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA Y DISEÑO E INSTALACIÓN ÓPTIMA DE BANCO DE CAPACITORES BAJO EL EFECTO DE DISTORSIÓN ARMÓNICA EN LA INDUSTRIA DE PRODUCCIÓN DE CLORO". Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico Electricista, Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- ORTIZ, D. (2010). "PROYECTO DE INSTALACIONES ELECTRICAS RESIDENCIALES". Tesis para optar Título de Ingeniero Electricista, Universidad Veracruzana de México, México.
- PERNIA, V. (2003). "Propuesta para la detección de las causas de fallas a través del diagnóstico y evaluación, del sistema de compensación reactiva de la planta de alimentos balanceados para animales PROCRIA". Tesis para optar el Título de Ingeniero Electricista de la Universidad de los Andes, Venezuela. .
- SANTA, C. (2010). "Análisis energético para determinar los correctivos a los disturbios eléctricos en las instalaciones de la planta de producción textil san miguel de empresas "PINTO S.A" dentro del área de concesión de la EMPRESA REGIONAL NORTE S.A." Tesis para optar el Título de Ingeniero mecánico Electricista, Universidad Técnica del Norte, Ecuador.

LINKS:

Conductores Eléctricos Lima (2014).Peru: CELSA. Disponible en:

<http://www.celsa.com.pe/catalogoporpagina/CableTW-70.pdf> [2015, 03 de mayo].

Optimización de la calidad y soluciones de energía eléctrica (2012). Peru: FAMETAL.

Disponible en:

[http://www.fametal.com/wp-content/uploads/2014/11/capitulo-9_2014_V3-](http://www.fametal.com/wp-content/uploads/2014/11/capitulo-9_2014_V3-Optimizaci%C3%B3n-de-la-Calidad-y-Consumo-de-Energ%C3%ADa.pdf)

[Optimizaci%C3%B3n-de-la-Calidad-y-Consumo-de-Energ%C3%ADa.pdf](http://www.fametal.com/wp-content/uploads/2014/11/capitulo-9_2014_V3-Optimizaci%C3%B3n-de-la-Calidad-y-Consumo-de-Energ%C3%ADa.pdf) [2015, 10 de mayo].

Soluciones Eléctricas. Contactores para conmutación de condensadores. (2012).

Chile: NDU. Disponible en:

<http://www.ndu.cl/pdf/0302268010AB.pdf> [2015, 18 de mayo].

Reguladores de Factor de Potencia. (2013). España: LOVATO ELECTRIC. Disponible en:

[http://www.lovatoelectric.com/HandlerDoc.ashx?s=24+-](http://www.lovatoelectric.com/HandlerDoc.ashx?s=24+-+Reguladores+de+factor+de+potencia+y+m%C3%B3dulos+de+tiristor_01_14.pdf&ic=174)

[+Reguladores+de+factor+de+potencia+y+m%C3%B3dulos+de+tiristor_01_14.pdf&ic=174](http://www.lovatoelectric.com/HandlerDoc.ashx?s=24+-+Reguladores+de+factor+de+potencia+y+m%C3%B3dulos+de+tiristor_01_14.pdf&ic=174) [2015, 28 de abril].

Venta y Distribución de Condensadores (2012). Peru: MERLIN GERIN HP INDUSTRIAL.

Disponible en:

[https://www.google.com.pe/search?q=merlin+gerin+catalogo&oq=mer&aqs=chrom](https://www.google.com.pe/search?q=merlin+gerin+catalogo&oq=mer&aqs=chrome.0.69i59j0j69i60j69i57j69i61j69i60.4747j0j8&sourceid=chrome&es_sm=93&ie=UTF-8#q=merlin+gerin+&toJSON=undefined)

[e.0.69i59j0j69i60j69i57j69i61j69i60.4747j0j8&sourceid=chrome&es_sm=93&ie=UTF-8#q=merlin+gerin+&toJSON=undefined](https://www.google.com.pe/search?q=merlin+gerin+catalogo&oq=mer&aqs=chrome.0.69i59j0j69i60j69i57j69i61j69i60.4747j0j8&sourceid=chrome&es_sm=93&ie=UTF-8#q=merlin+gerin+&toJSON=undefined) [2015, 18 de junio].

Compensación de la Energía Reactiva (2012). Argentina: SCHNEIDER ELECTRIC.

Disponible en:

<http://www.schneider->

[electric.com.ar/documents/recursos/myce/capitulo02_1907.pdf](http://www.schneider-electric.com.ar/documents/recursos/myce/capitulo02_1907.pdf) [2015,18 de abril].

Tomo V Cálculos de Banco de Condensadores (2012). Argentina: SCHNEIDER ELÉCTRIC. Disponible en:

https://www.google.com.pe/search?q=schneider&oq=sch&aqs=chrome.1.69i59i2j69i60i3j69i57.4294j0j8&sourceid=chrome&es_sm=93&ie=UTF-

[8#q=compensacion+reactiva+schneider+tomo+5&toJSON=undefined](https://www.google.com.pe/search?q=schneider&oq=sch&aqs=chrome.1.69i59i2j69i60i3j69i57.4294j0j8&sourceid=chrome&es_sm=93&ie=UTF-8#q=compensacion+reactiva+schneider+tomo+5&toJSON=undefined) [2015,03 de junio].

Fusibles ultrarrápidos (2012). México: WEG .Disponible en:

<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-fusibles-ultra-rapidos-tipo-nh-ar-50030486-catalogo-espanol.pdf> [2015,26 de abril].

ANEXOS

Reguladores de factor de potencia y módulos de tiristor



Reguladores automáticos de factor de potencia		
	DCRL	DCRG
Pases	DCRL3: 3 (5 con EXP10 06) DCRL5: 5 (7 con EXP10 06)	6 (10, 12, 14, 16 con EXP...)
FRONTE/CUERPO		
Visor	LCD retroiluminado de iconos	LCD retroiluminado gráfico 128x60 pxeles
Idiomas	6 (solo texto presente de los códigos alarma) Italiano, inglés, español, francés, alemán, portugués	10 Italiano, inglés, español, francés, alemán, checo, polaco, ruso, portugués y 1 configurable
Dimensiones	96x96mm	144x144mm
Grado de protección	IP54	IP54
Expandible con módulos EXP...	●	●
CONTROL/FUNCIONES		
Reconocimiento automático del flujo de corriente	●	●
Operación en 4 cuadrantes	●	●
Arquitectura master/slave	●	●
Entrada independiente para alimentación auxiliar	●	●
Control de tensión trifásico	●	●
Entradas de corriente	1 (para TA, SA o IA)	3 (TA SA o IA)
Regulación dinámica del factor de potencia (FAST)	●	● con EXP10 01 (6 pases)
Empiezo en media tensión	●	●
Regulación del factor de potencia de cada fase	●	●
Conexión fase-neutro en sistemas trifásicos	●	●
Entrada programable como función o sensor de temperatura exterior	●	● con EXP10 04
Puerto de comunicación USB	● con EXP10 10	● con EXP10 10
Puerto de comunicación RS232	● con EXP10 11	● con EXP10 11
Puerto de comunicación RS485 aislado	● con EXP10 12	● con EXP10 12
Puerto de comunicación ETHERNET con función webserver	● con EXP10 13	● con EXP10 13
Puerto óptico de comunicación USB frontal	● con CX 01	● con CX 01
Puerto de comunicación RS232	● con EXP10 11	● con EXP10 11
Puerto de comunicación RS485 aislado	● con EXP10 12	● con EXP10 12
Puerto de comunicación ETHERNET con función webserver	● con EXP10 13	● con EXP10 13
Puerto óptico de comunicación USB frontal	● con CX 01	● con CX 01
Puerto óptico de comunicación w-l frontal	● con CX 02	● con CX 02
Configuración rápida del transformador de corriente	●	●
Disponibilidad software de ajuste y pruebas automáticas del cuadro	●	●
Disponibilidad software de control remoto	●	●
Reloj calendario con reserva de carga	●	●
Registro de eventos: alarmas, modificación de ajustes, etc.	●	●
MEDIDAS		
Tensión nominal de medida	600VAC máx	600VAC máx
Rango de medida de tensión	50...720VAC	50...720VAC
Corte - instantáneo	●	●
Factor de potencia - instantáneo y promedio cosφ	●	●
Tensión y corriente	●	●
Potencia reactiva para alcanzar el set-point y total	●	●
Sobrecarga de condensadores	●	●
Temperatura de cuadro eléctrico	●	●
Valor máximo de tensión y corriente	●	●
Valor máximo de sobrecarga de condensadores	●	●
Valor máximo de temperatura cuadro	●	●
Valor máximo de temperatura condensadores	●	● con EXP10 04
Potencia activa y aparente	●	●
Análisis armónico de la corriente y la tensión	● hasta 15°	● hasta 31°
Valor medido en "VAR" de cada paso	●	●
Número de conmutaciones de cada paso	●	●

24

Reguladores automáticos de factor de potencia



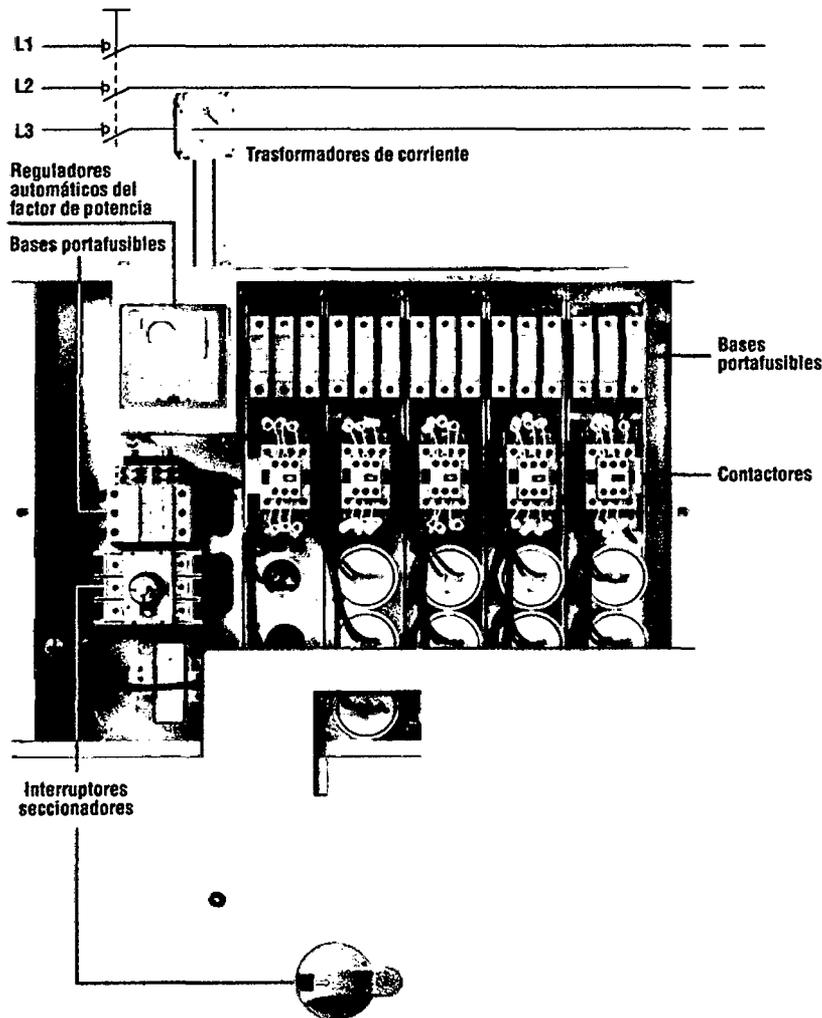
DCRL



DCRG

PROTECCIONES

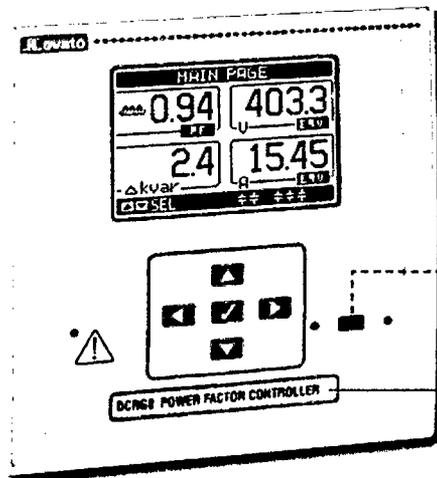
Tensión demasiado alta y baja	○	○
Corriente demasiado alta y baja	○	○
Sobrecompensación (condensadores desconectados y $\cos\phi$ superior al de consigna)	○	○
Baja compensación (condensadores conectados y $\cos\phi$ inferior de consigna)	○	○
Sobrecarga de condensadores	○	○
Sobrecarga de condensadores en las 3 fases	○	○
Sobretemperatura	○	○
Microinterrupciones en red	○	○
Fallo de la batería de condensadores	○	○
Superación límite máx. de distorsión armónica de corriente	○	○
Programación propiedades de alarmas (habilitación, retardo disparo, relé energizado, etc.)	○	○



¡LA SOLUCIÓN IDEAL PARA TODAS LAS APLICACIONES!

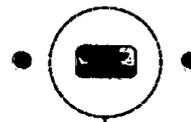
● DISPLAY GRÁFICO RETROILUMINADO

128x80 píxeles de alta visibilidad e intensidad ajustable.



● PUERTO ÓPTICO DE COMUNICACIÓN

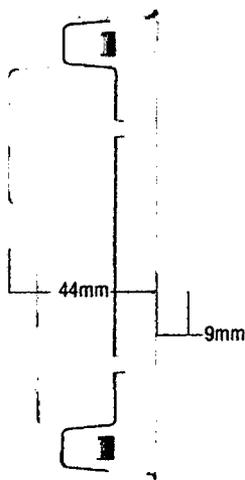
El puerto óptico frontal con interfaz estándar USB y wi-fi permite la comunicación con ordenadores, teléfonos inteligentes y tabletas para las operaciones de programación, diagnóstico y descarga de datos sin necesidad de desconectar la alimentación del cuadro eléctrico.



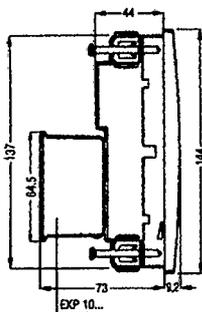
● POSIBILIDAD DE PERSONALIZACIÓN

El panel frontal tiene un sitio dedicado a la descripción personalizada del regulador mediante nombres, logotipos, códigos, etc.

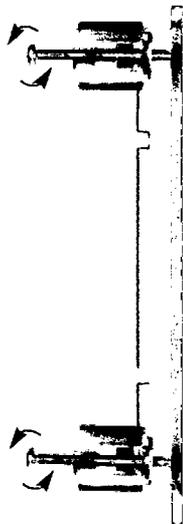
● TAMAÑO COMPACTO



Perfil rebajado y poca profundidad, que facilitan la instalación del regulador del factor de potencia incluso en cuadros eléctricos sumamente compactos.



● SISTEMA DE FIJACIÓN

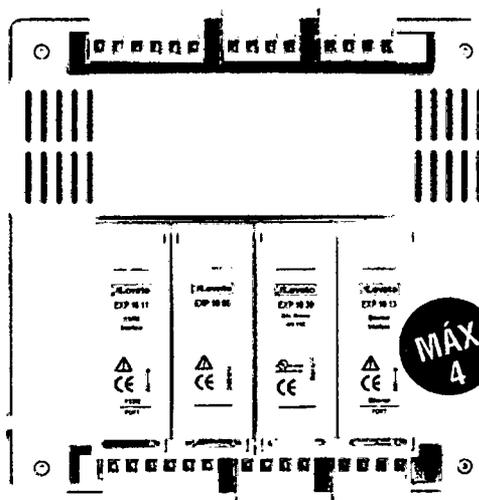


El sistema de fijación con tornillos metálicos garantiza una colocación óptima y duradera.

● ALTO GRADO DE PROTECCIÓN

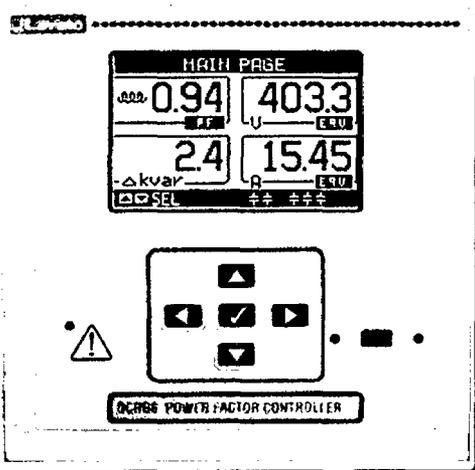
El frente del instrumento y la junta posterior han sido diseñados para garantizar el grado de protección IP54.

● EXPANSIBILIDAD



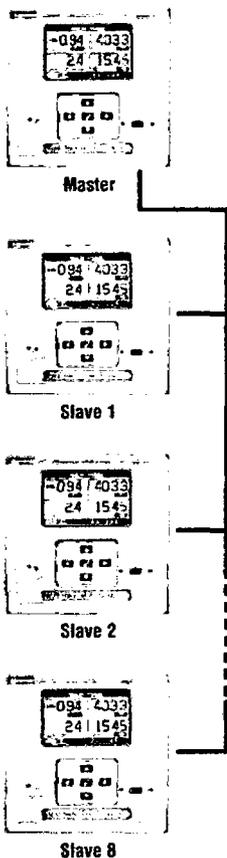
Las funciones básicas del regulador pueden ampliarse fácilmente gracias a los módulos de expansión de la serie EXP...:

- relé de salida para aumento pasos
- salidas estáticas aisladas (también para la regulación dinámica del factor de potencia)
- protección de condensadores
- entradas y salidas digitales y analógicas
- puerto RS232 aislado
- puerto RS485 aislado
- puerto Ethernet aislado con función webserver
- puerto Profibus-DP aislado
- módem GPRS/GSM.



- EMPLEO PARA REGULACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA CON CONTACTORES Y CON MÓDULOS DE TIRISTOR
- ENVÍO DE SMS DE ALARMA
- ENVÍO DATOS POR E-MAIL O SERVIDOR FTP
- WEBSERVER PARA LECTURA DATOS
- DISEÑO ERGONÓMICO
El regulador DCRG presenta un diseño ergonómico y estético en todos sus detalles.

- **FUNCIÓN MASTER-SLAVE**
Un regulador DCRG puede controlar, además de sus pasos, las salidas de otros reguladores similares siguiendo una arquitectura de tipo master-slave.
Pueden controlarse hasta 8 reguladores esclavos para obtener un sistema de hasta 32 pasos.



- **FUNCIÓN WEBSERVER**
Instalando el módulo de expansión Ethernet EXP10 13, los valores principales medidos por el regulador pueden visualizarse mediante los más comunes web clients compatibles con Java, sin necesidad de instalar algún software específico en el PC.

- **PROTECCIÓN CONDENSADORES**
Colocando el módulo de expansión EXP10 16 es posible añadir al regulador DCRG otras funciones de protección para los condensadores. El módulo puede medir las corrientes armónicas y la temperatura local de los condensadores, así como reconocer un fallo en cualquiera de las fases.

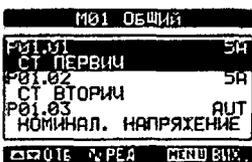
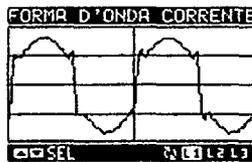
- **3 ENTRADAS DE CORRIENTE**
 - Posibilidad de efectuar la regulación independiente del factor de potencia de cada fase
 - posibilidad de analizar todos los parámetros eléctricos de la instalación (multímetro).

- **AMPLIO RANGO DE TENSIONES NOMINALES DE MEDICIÓN**
El amplio rango de medición comprendido entre 100 y 600VAC permite el empleo del regulador en la mayoría de las aplicaciones.

- **MÓDEM GSM/GPRS**
Con el módulo de expansión EXP10 15 se equipa el regulador con un módem GSM/GPRS configurado automáticamente desde la centralita, simplificando las operaciones de instalación y cableado. Una vez introducida una tarjeta SIM para el tráfico de datos, el regulador puede enviar mensajes SMS de alarma o notificación, e-mail o archivos de datos a servidores FTP.

- **5A O 1A EN EL MISMO REGULADOR**
Mediante un parámetro es posible habilitar el regulador para el empleo de transformadores de corriente con secundario de 5A o 1A.

- **GRÁFICOS Y TEXTOS EN 10 IDIOMAS**
Visualización de formas de onda, gráficos y textos en 10 idiomas: italiano, inglés, español, francés, alemán, checo, polaco, ruso, portugués y uno configurable.



- **EMPLEO PARA SISTEMAS DE MEDIA TENSIÓN**
El regulador puede emplearse en sistemas de media tensión gracias a la posibilidad de configurar la relación de un transformador de tensión a fin de regular y visualizar en pantalla las medidas relativas a su primario.
- **EMPLEO PARA REGULACIÓN DINÁMICA DEL FACTOR DE POTENCIA (FAST)**
Gracias a los módulos de expansión con salidas estáticas EXP10 01 es posible realizar sistemas de tiristores para la regulación dinámica del factor de potencia en caso de rápidas variaciones de carga reactiva. Utilizando también las salidas de relé integradas se puede crear un sistema mixto tradicional (de relé) y dinámico.

Serie DCRM



DCRM 2

Código de pedido	Pasos	Tensión de alimentación auxiliar	Uds. de env.	Peso
	n°	[V]	n°	[kg]
Para sistemas monofásicos y trifásicos de baja tensión.				
DCRM 2	2	380...415VAC	1	0,284

Características generales

DCRM2 permite controlar la corriente reactiva de una instalación y puede regular la carga al mejor factor de potencia posible reduciendo la demanda de corriente reactiva al proveedor de energía.

Puede controlar la conexión de hasta 2 bancos de condensadores. Cada uno puede activarse independientemente ajustando la potencia individualmente mediante su propio selector (trimmer). Asimismo es posible regular el tiempo de conexión y desconexión de los condensadores, ajustando así la velocidad de reacción del sistema.

Este aparato puede emplearse tanto en sistemas trifásicos como monofásicos.

Características de empleo

- Tensión de alimentación auxiliar: 380...415VAC standard
- Frecuencia nominal: 50/60Hz
- Entrada voltimétrica: 80...528VAC
- Entrada amperimétrica:
 - mediante TA /5A
 - rango de medición: 0,1...6A
 - tipo de medición: valor eficaz (TRMS)
 - Reconocimiento automático del flujo de conexión del TA (directo / inverso)
- Salidas de relé:
 - 2 relés (pasos) con 1 contacto conmutado cada uno
 - capacidad nominal: 8A-250VAC (AC1)
 - habilitación independiente del control de cada relé
- Cuerpo modular DIN 43880 (3 módulos)
- Grado de protección: IP40 frontal (instalado en caja o cuadro eléctrico con IP40), IP20 en los terminales.

REGULACIONES

"C/K Step 1"	Coef. C/K paso 1 (0,15...2)
"C/K Step 2"	Coef. C/K paso 2 (0,15...2)
"Connection delay"	Retardo de conexión de las capacidades 1...60s
"Disconnection delay"	Retardo de desconexión de las capacidades 0,1...60s
"System configuration"	Selección sistemas monofásico o trifásico

INDICADORES

- 1 LED verde de señal alimentación y duración inhibición
- 2 LED rojos de señal activación relé

Homologaciones y conformidad

Homologaciones obtenidas: cULus, EAC.
 Conforme a normas: IEC/EN 60255-5,
 IEC/EN 61010-1, IEC/EN 61000-6-2, IEC/EN 61000-6-3,
 UL 508, CSA C22.2 n°14.

Serie DCRL



DCRL 3 - DCRL 5



Código de pedido	Pasos	Cuerpo empotrable	Uds. de env.	Peso
	n°	[mm]	n°	[kg]
P/sistemas monofásicos y trifásicos de baja y media tensión.				
DCRL 3	3	96x96	1	0,300
DCRL 5	5	96x96	1	0,350
Accesorio.				
EXP80 00	Pieza plástica para etiqueta de personalización		10	0,050

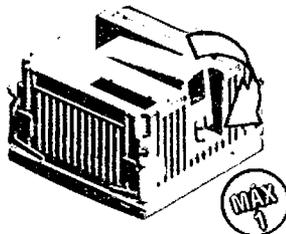
EXP80 00



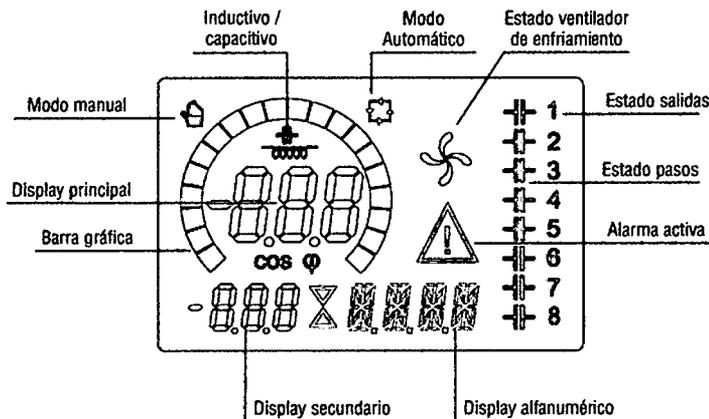
EXP 10...

Código de pedido	Descripción
MÓDULOS DE EXPANSIÓN.	
Fijación a presión de un solo módulo posterior en DCRL... Entradas y salidas.	
EXP10 06	2 salidas de relé para aumento pasos de regulación factor potencia
EXP10 03	2 salidas de relé 5A 250VAC
Puertos de comunicación.	
EXP10 10	Puerto USB aislado
EXP10 11	Puerto RS232 aislado
EXP10 12	Puerto RS485 aislado

Fijación módulo de expansión EXP...
DCRL 3 - DCRL 5



Display LCD retroluminado con iconos



Características generales

La serie DCRL presenta funciones avanzadas y un cuerpo específico ultracompacto. Combina el diseño moderno del frente con la practicidad de montaje y la posibilidad de expansión (módulos EXP...).

El display LCD facilita la interfaz de usuario, siendo clara e intuitiva.

Características principales:

- Pantalla LCD con iconos retroluminada con óptima visualización de los datos
- Códigos de alarma con textos pasantes, configurables en 6 idiomas (italiano, inglés, español, francés, alemán, portugués)
- Conexión en líneas monofásicas, trifásicas y sistemas de cogeneración (4 cuadrantes)
- Entrada de medida de tensión independiente de la alimentación, utilizable en líneas de media tensión con TV
- Significativa reducción del número de conmutaciones
- Uso homogéneo de los pasos de potencia equivalente
- Medición de la potencia reactiva instalada en cada paso
- Protección de los condensadores contra sobrecorriente
- Protección del cuadro contra sobretemperatura mediante sensor interno
- Protección precisa contra microinterrupciones
- Vasta gama de parámetros disponibles, incluso THD de tensión y corriente, con análisis de cada armónico hasta el 15°
- Vasto rango de medición tensión
- Alta precisión de las medidas en valor eficaz (TRMS)
- Puerto óptico frontal de comunicación USB (con CX 01) y wi-fi (con CX 02) para conexión a ordenadores, teléfonos inteligentes y tabletas
- Software de configuración DCRL SW
- Compatibilidad con software de supervisión **Synergy**
- Personalización con etiqueta frontal.

Características de empleo

- Alimentación:
 - tensión auxiliar: 100...440VAC
 - frecuencia: 50/60Hz ±10%
- Entrada de tensión:
 - tensión nominal: 600VAC L-L (346VAC L-N)
 - rango de frecuencia: 45...65Hz
- Entrada de corriente:
 - conexión monofásica
 - corriente nominal: 1A o 5A configurable
- Medidas y control:
 - regulación del factor de potencia: 0,5 ind...0,5 cap
 - rango de medida de tensión: 50...720VAC L-L; 50...415VAC L-N
 - rango de medida de corriente: 0,025...1,2A para f.esc. 1A; 0,025...6A para f.esc. 5A
 - tipo de medida de tensión y corriente: valor eficaz (TRMS).
- Salidas de relé (pasos):
 - DCRL3: 3 salidas
 - DCRL5: 5 salidas
 - configuración contactos: NA; último conmutado
 - capacidad nominal: 5A 250VAC AC1
- Versión empotrable (96x96mm)
- Grado de protección: IP54 frontal; IP20 en terminales.

Homologaciones y conformidad

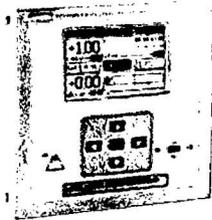
Homologaciones obtenidas: EAC; cULus en curso.
Conforme a normas: IEC/EN 61010-1, IEC/EN 61000-6-2, IEC/EN 61000-6-3, UL 508, CSA C22.2 n°14.

Contadores especiales para regulación factor potencia
Ver capítulo 2, página 2-14.

Software de supervisión Synergy
Ver capítulo 27.

Módulos de expansión
Ver capítulo 28, página 2.

Serie DCRG



DCRG 8



EXP 10...

Código de pedido	Pasos	Cuerpo empotrable	Uds. de env.	Peso
	n°	[mm]	n°	[kg]
DCRG 8	8	144x144	1	0,980

Accesorios.

NTC 01	Sonda de temperatura remota, incluye cable longitud 3m	1	0,150
--------	--	---	-------

Código de pedido	Descripción
------------------	-------------

MÓDULOS DE EXPANSIÓN
Fijación a presión de 4 módulos posteriores en DCRG 8 Entradas y salidas.

EXP10 06	2 salidas de relé para aumento pasos
EXP10 03	2 salidas de relé 5A 250VAC
EXP10 00	4 entradas digitales aisladas
EXP10 01	4 salidas estáticas aisladas para aumento pasos estáticos
EXP10 02	2 entradas digit. y 2 salidas estát. aisladas
EXP10 04	2 entradas analógicas aisladas PT100 o 0/4...20mA o 0...10V o 0...±5V
EXP10 05	2 salidas analógicas aisladas 0/4...20mA o 0...10V o 0...±5V
EXP10 08	2 entradas digitales aisladas y 2 salidas de relé 5A 250VAC
EXP10 16	Protección condensadores con 2 entradas de medición temperatura con sensores NTC y 2 entradas medición corriente trifásica

Puertos de comunicación.

EXP10 10	Puerto USB aislado
EXP10 11	Puerto RS232 aislado
EXP10 12	Puerto RS485 aislado
EXP10 13	Puerto Ethernet aislado con función webserver

Otras funciones.

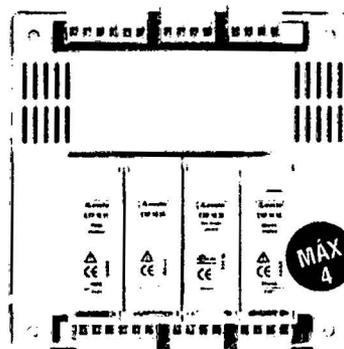
EXP10 15	Módem GPRS/GSM sin antena
----------	---------------------------

Para la configuración mediante software contactar con nuestro Servicio de Atención a Clientes (Datos de contacto en el interior de la portada).

Expandibilidad máxima DCRG 8

DCRG 8 Regulador	EXP10 06 Módulo con 2 salidas relé	EXP10 01 Módulo con 4 salidas estát.	PASOS TOTALES	
			Relé	Estát.
8	1 (2 pasos)	-	10	-
8	1 (2 pasos)	1 (4 pasos)	10	4
8	2 (4 pasos)	-	12	-
8	2 (4 pasos)	1 (4 pasos)	12	4
8	3 (6 pasos)	-	14	-
8	4 (8 pasos)	-	16	-
8	-	-	8	-
8	-	1 (4 pasos)	8	4
8	-	2 (8 pasos)	8	8

Fijación módulos de expansión EXP... DCRG 8



Características generales

El regulador del factor de potencia DCRG 8 responde a los requisitos técnicos de las modernas instalaciones eléctricas industriales. Está concebido para responder a estas exigencias y permite aumentar sus prestaciones con el agregado de algunos módulos de expansión específicos de la serie EXP. Asimismo, su equipamiento estándar incluye un puerto óptico USB para la programación del instrumento, el diagnóstico y la descarga de datos. La pantalla gráfica LCD retroiluminada permite la visualización de los datos incluso en condiciones de escaso alumbrado, presentándolos de manera clara e intuitiva.

Características principales:

- Pantalla LCD gráfica retroiluminada de 128x80 píxeles con texto en 10 Idiomas: italiano, inglés, español, francés, alemán, checo, polaco, ruso, portugués y uno configurable
- Identificación automática del flujo de corriente del TA
- Conexión en líneas monofásicas, trifásicas con y sin control del neutro y en sistemas de cogeneración (4 cuadrantes)
- Empleo en líneas de media tensión con TV
- Correcto funcionamiento aun en sistemas con alto contenido de armónicos
- Significativa reducción del número de conmutaciones
- Uso homogéneo de los pasos de potencia equivalente
- Medición de la potencia reactiva instalada en cada paso
- Registro de la cantidad de conexiones de cada paso
- Protección de los condensadores contra sobrecorriente en las tres fases
- Protección del cuadro contra sobretemperatura mediante sensor interno y externo
- Protección precisa contra microinterrupciones
- Análisis de armónicos de corriente y tensión
- Función de configuración rápida del TA
- Puerto de comunicación USB (CX 01) y wi-fi (CX 02) para conexión a ordenadores, teléfonos inteligentes y tabletas
- Protocolo de comunicación Modbus-RTU TCP y ASCII
- Software de configuración DCRJ SW
- Compatibilidad con software de supervisión **Synergy**
- Posibilidad de enviar SMS y email de alarma (con módulo EXP10 15).

Características de empleo

- Circuito de tensión:
 - tensión de alimentación auxiliar: 100...415VAC
 - frecuencia nominal: 50/60Hz (±10%)
- Circuito de corriente:
 - entrada monofásica y trifásica
 - corriente nominal Ie: 5A (1A programable)
- Mediciones y control:
 - regulación del factor de potencia: 0,5 ind...0,5 cap
 - rango de medida de tensión: 50...720VAC
 - rango de medida de corriente: 0,025...6A
 - rango de medida de temperatura: -30...+85°C
 - rango de medida de corriente de sobrecarga de los condensadores: 0...250%
 - tipo de medida de tensión y corriente: valor eficaz (TRMS).
- Salidas de relé:
 - 7 cada uno, con contacto NA y el último conmutado
 - capacidad nominal: 5A 250VAC AC1
- Versión empotrable (144x144mm)
- Grado de protección: IP54 frontal; IP20 en terminales.

Homologaciones y conformidad

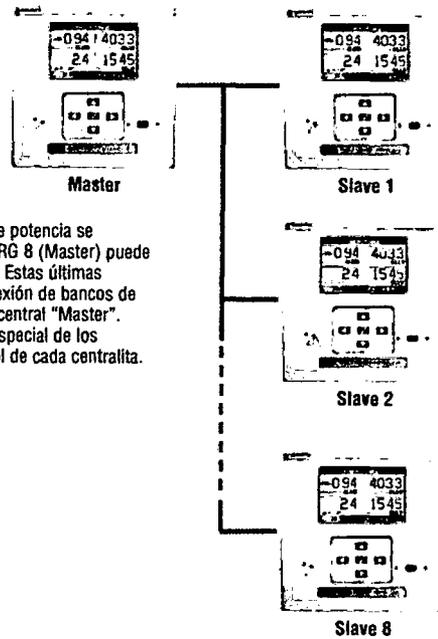
Homologaciones obtenidas: cULus, EAC. Conforme a normas: IEC 61010-1, IEC/EN 61000-6-2, IEC/EN 61000-6-3, UL 508, CSA C22.2 n°14.

Contactores especiales para regulación factor potencia
Ver el capítulo 2, página 2-14.

Software de supervisión Synergy
Ver el capítulo 27.

Módulos de expansión
Ver el capítulo 28, página 28-2.

Sistema de regulación factor de potencia "Master-Slave" con DCRG 8



Cuando el sistema de regulación del factor de potencia se subdivide en varios cuadros, la centralita DCRG 8 (Master) puede controlar hasta 8 centralitas DCRG 8 (Slave). Estas últimas funcionan como salidas remotas para la conexión de bancos de condensadores, siguiendo los mandos de la central "Master". La monitorización del cuadro eléctrico y en especial de los bancos de condensadores está bajo el control de cada centralita.

Software y accesorios para DCRL 3, DCRL 5 y DCRG 8



51 C4

Código de pedido	Descripción	Uds. de env. n°	Peso (kg)
Software de configuración y prueba automática.			
DCRJ SW	Para DCRL... y DCRG 8, incluye cable 51 C2	1	0,246
Accesorios.			
51 C2	Cable de conexión PC ↔ DCRL/DCRG+ EXP10 11 longitud 1,8m	1	0,090
51 C4	Cable de conexión PC ↔ convertidor 4 PX1, longitud 1,8m	1	0,147
51 C5	Cable de conexión DCRL/DCRG+ EXP1011 ↔ Módem longitud 1,8m	1	0,111
51 C6	Cable de conexión DCRG+EXP10 11 ↔ convertidor 4 PX1, longitud 1,8m	1	0,102
51 C9	Cable de conexión PC ↔ Módem, long. 1,8m	1	0,137
4 PX1	Convertidor RS232/RS485 aislamiento galvánico, alimentación 220...240VAC (o 110...120VAC)	1	0,600

① Contacte con nuestro Servicio de Atención a Clientes (Datos de contacto en el interior de la portada).
 ② Convertidor de sobremesa RS232/RS485 optoaislado, 38.400 Baud-rate máx, gestión automática o manual de la línea de TRANSMIT, alimentación 220...240VAC ±10% (110...120VAC bajo pedido).

Características generales

Con el software DCRJ SW es posible configurar el regulador rápidamente desde el ordenador, evitando posibles errores en los parámetros. También es posible guardar en el ordenador los parámetros configurados en un DCRL... o DCRG8 y descargarlos en otro que requiera la misma configuración.

Operaciones posibles:

- Control de funcionamiento del sistema:
 - visualización gráfica y numérica de las medidas
 - estado del regulador
- Control de eficiencia de los condensadores:
 - medida de los kvar actuales en cada paso
 - contadores de cantidad de conexiones en cada paso
 - cuantahoras tiempo total de conexión de cada paso
 - acceso a todos los parámetros de configuración
 - memorización, carga e impresión de parámetros
 - variaciones de valores destacadas
 - reposición de los valores predefinidos
- Prueba automática del cuadro eléctrico.

El software Synergy permite el control remoto y la supervisión de los reguladores DCRL... y DCRG 8. Ver el capítulo 27 para más detalles.

Su estructura y aplicaciones se basan en bases de datos relacionales MS SQL, cuya consulta se realiza mediante los navegadores más comunes.

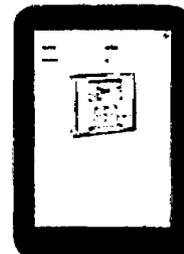
Es un sistema sumamente versátil al que pueden acceder simultáneamente una gran cantidad de usuarios o estaciones mediante Intranet, VPN o internet.

Aplicación para teléfonos inteligentes y tabletas

La aplicación Smarti permite configurar el regulador, visualizar alarmas, enviar mandos, leer las medidas, descargar datos estadísticos y eventos, transmitir por e-mail los datos obtenidos. La conexión con teléfonos inteligentes y tabletas es de tipo wi-fi, mediante el dispositivo CX02.

Compatible con iOS y Android.

Para más detalles, consulte el capítulo 27 o contacte con nuestro Servicio de Atención a Clientes (Datos de contacto en el interior de la portada).





Copyright © 2009 NDU Ingeniería Ltda.

Contadores para conmutación de condensadores.

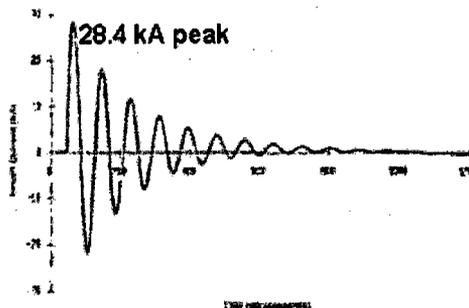
Condiciones transientes de los condensadores.

En instalaciones industriales de baja tensión, los condensadores son principalmente utilizados para la corrección de energía reactiva (aumento del factor de potencia). Cuando estos condensadores son energizados, ocurren sobrecorrientes de gran amplitud y frecuencia (3 a 15KHz) durante el periodo transiente (1 a 2ms).

Las amplitudes de estos peaks de corriente, también conocidos como "inrush current peaks", depende de los siguientes factores.

- Las redes inductivas.
- Los transformadores de potencia y la tensión de cortocuito.
- El tipo de corrección del factor de potencia.

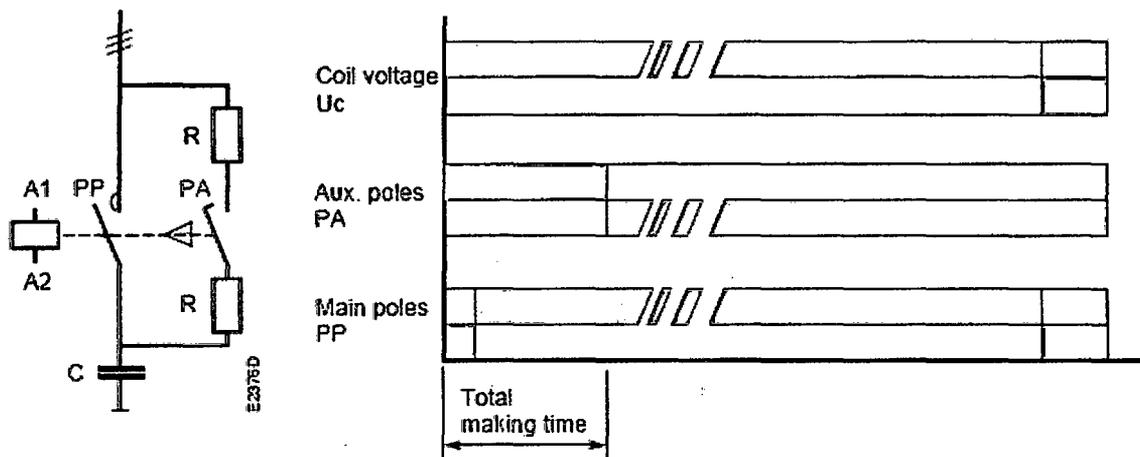
A continuación se muestra un ejemplo de un peak de corriente durante la energización de un banco de condensadores, el peak inrush current transiente llega hasta 28.4 kA.



Existen dos tipos de correcciones de factor de potencia: fijo o automático.

La corrección del factor de potencia fija consiste en insertar, en paralelo sobre la red, un banco de condensadores cuya potencia total es proporcionada por el ensamblaje de condensadores de idénticas o diferentes categorías.

El banco es energizado por un contactor que simultáneamente alimenta todos los condensadores (en un solo paso).



La inserción de resistencias permite disminuir el peak de corriente más alto del condensador cuando se cambia a on, cualquiera sea su nivel.

Tabla de selección acorde a IEC

Type	Power in kvar - 50/60 Hz (AC-6b)															Max. permissible peak current I	gG type fuses A max (*)
	230/240 V			400/415 V			440 V			500/550 V			690 V				
	40°C	55°C	70°C	40°C	55°C	70°C	40°C	55°C	70°C	40°C	55°C	70°C	40°C	55°C	70°C		
16-30-10 RA	8	7.5	6	12.5	12.5	10	15	13	11	18	16	12.5	22	21	17	Unlimited	80
26-30-10 RA	12.5	11.5	9	22	20	15.5	24	20	17	30	25	20	35	31	26		125
30-30-10 RA	16	16	11	30	27.5	19.5	32	30	20.5	34	34	25	45	45	32		200
50-30-00 RA	25	24	20	40	40	35	50	43	37	55	50	46	72	65	60	Unlimited	200
63-30-00 RA	30	27	23	50	45	39	55	48	42.5	65	60	50	80	75	65		200
75-30-00 RA	35	30	25	60	50	41	65	53	45	75	65	55	100	80	70		200
95-30-00 RA	40	35	30	70	60	53	75	65	58	85	75	70	120	105	85	Unlimited	250
110-30-00 RA	45	40	35	80	70	60	85	75	70	95	82	78	130	110	100		250

Tabla de selección acorde a UL/CSA

Type	Power in kvar - 60 Hz			Max permissible peak current I
	240 V 40 °C	480 V 40 °C	600 V 40 °C	
UA 16-30-10 RA	8	16	20	Unlimited
UA 26-30-10 RA	11	22	27	
UA 30-30-10 RA	14	28	35	
UA 50-30-00 RA	25	50	62	
UA 63-30-00 RA	27.5	55	70	
UA 75-30-00 RA	32	64	80	
UA 95-30-00 RA (1)	40	80	100	
UA 110-30-00 RA (1)	45	95	120	



CONDUCTORES ELÉCTRICOS LIMA S.A.

CABLE TW – 70

TENSIÓN NOMINAL

$U_0/U = 450/750V$

TEMPERATURA DE OPERACIÓN

70°C

NORMAS DE FABRICACIÓN

IEC 60227

NTP 370.252

APLICACIONES

Para instalaciones interiores en locales con ambientes seco o húmedo. Generalmente se instala dentro de tuberías.

CONSTRUCCIÓN

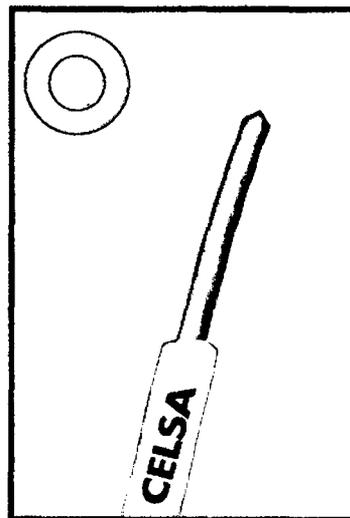
1. Conductor de cobre suave, sólido o cableado.
2. Aislamiento con Cloruro de Polivinilo (PVC).

COLORES

Del 18 al 10 AWG y del 1,5 al 6mm²: negro, blanco, rojo, azul, amarillo y verde.

Calibres y secciones mayores: negro y amarillo para puestas a tierra.

A pedido se fabrica en otros colores.



DATOS PARA LOS PEDIDOS

TW-70, sólido o cableado, calibre o sección y color.

DATOS CONSTRUCTIVOS CONDUCTOR SÓLIDO

Calibre del Conductor AWG	Sección Transversal mm ²	Número de Alambres N°	Diámetro Conductor mm	Espesor Aislamiento mm	Diámetro Exterior mm	Masa Nominal Kg / km
18	0,821	1	1,02	0,7	2,6	15
16	1,31	1	1,29	0,7	2,9	20
14	2,08	1	1,63	0,8	3,4	30
12	3,31	1	2,05	0,8	3,8	40
10	5,26	1	2,59	0,8	4,4	60
8	8,37	1	3,26	1,0	5,5	100

Sección Nominal mm ²	Número de Alambres N°	Diámetro Conductor mm	Espesor Aislamiento mm	Diámetro Exterior mm	Masa Nominal Kg / km
1,5	1	1,37	0,7	2,9	20
2,5	1	1,75	0,8	3,5	30
4	1	2,22	0,8	4,0	45
6	1	2,71	0,8	4,5	65
10	1	3,51	1,0	5,7	115

Los datos de las tablas están sujetos a las tolerancias normales de manufactura.

CABLE TW – 70
DATOS CONSTRUCTIVOS
CONDUCTOR CABLEADO

Uso General

Calibre del Conductor AWG-MCM	Sección Transversal mm ²	Número de Alambres N°	Diámetro Conductor mm	Espesor Aislamiento mm	Diámetro Exterior mm	Masa Nominal Kg / km
14	2,08	7	1,84	0,8	3,6	30
12	3,31	7	2,32	0,8	4,1	40
10	5,26	7	2,93	0,8	4,7	60
8	8,37	7	3,69	1,0	6,0	100
6	13,3	7	4,65	1,0	7,0	160
4	21,2	7	5,87	1,2	8,5	240
2	33,6	7	7,39	1,2	10,0	370
1	42,4	19	8,43	1,4	11,5	480
1/0	53,5	19	9,49	1,4	13,0	590
2/0	67,4	19	10,7	1,4	14,0	730
3/0	85,0	19	12,0	1,6	15,5	900
4/0	107,2	19	13,5	1,6	17,0	1 120
250	126,7	37	14,7	1,6	18,5	1 340
300	152,0	37	16,0	1,8	20,0	1 570
400	202,7	37	18,6	2,2	23,5	2 060
500	253,4	37	20,7	2,2	25,5	2 550
600	304,0	61	22,7	2,4	28,0	3 070
750	380,0	61	25,4	2,6	31,0	3 800

Sección Nominal mm ²	Número de Alambres N°	Diámetro Conductor mm	Espesor Aislamiento mm	Diámetro Exterior mm	Masa Nominal Kg / km
2,5	7	1,97	0,8	3,7	35
4	7	2,50	0,8	4,3	50
6	7	3,09	0,8	5,0	70
10	7	4,01	1,0	6,5	120
16	7	5,07	1,0	7,5	195
25	7	6,37	1,2	9,0	290
35	7	7,50	1,2	10,5	390
50	19	8,85	1,4	12,0	520
70	19	10,7	1,4	14,0	730
95	19	12,6	1,6	16,0	980
120	37	14,0	1,6	17,5	1 250
150	37	15,8	1,8	20,0	1 530
185	37	17,6	2,0	22,0	1 890
240	61	20,2	2,2	25,0	2 430
300	61	22,6	2,4	28,0	3 070
400	61	25,6	2,6	32,0	3 900

Los datos de las tablas están sujetos a las tolerancias normales de manufactura.

9. Optimización de la Calidad & Consumo de Energía

Condensadores de Potencia	9/2
Reguladores de Potencia Reactiva	9/6
Contactores para Accionamiento de Condensadores	9/8
Banco de Condensadores Automático	9/11
Sistemas para la Gestión de la Energía Eléctrica	9/13



Lea el Código para entrar al Catálogo Online

Condensadores de Potencia

SIEMENS

Los condensadores siemens para corregir el factor de potencia están especialmente diseñados para aplicaciones industriales de altas potencias con demandas extremas de vida útil, uso constante y soporta altas corrientes de llamada (200xIn). Tales aplicaciones requieren pasos típicos de 25 o 50 kVAR conmutado por un controlador de factor de potencia vía el contactor de cada condensador. Con los condensadores de la serie PHASECAP se pueden formar conjuntos más compactos, reducir el costo de los componentes y el tiempo de instalación y conexión con una respuesta térmica mejorada.



Beneficios Eléctricos

- Hasta 60 kVAR
- Pérdidas extremadamente bajas
- Soportan altos pulsos de corriente
- Libres del efecto corona

Mecánicos y mantenimiento

- Reducidos costos de montaje
- Libres de mantenimiento

Seguridad

- Diseño tipo seco
- Autocicatrizantes
- Desconector por sobrepresión
- No inflamable
- Terminales a prueba de contactos
- Diseño y tecnología ampliamente comprobada

Características

Diseño compacto - baja altura peso y volumen

El condensador está compuesto de tres elementos monofásicos. Los electrodos están conectados por metales a las terminales de los arrollamientos. Los elementos del condensador están conectados en delta.

Tecnología de conexión SIGUT

innovadora y rentable

Los terminales SIGUT aseguran una conexión rentable y robusta, con los siguientes beneficios:

- Simplifica la conexión de condensadores en paralelo
- Protección contra choques eléctricos (IP20 / IP54, según VDE 0106 parte 100)
- Conexión adicional de las resistencias de descarga
- Conexión que previene la pérdida de tornillos
- Sección de cable hasta 35 mm²

Los condensadores usados para la corrección del factor de potencia están sometidos a innumerables maniobras. Así que las altas corrientes de entrada que esto implica no deben disminuir la vida de servicio. La fortaleza de esta tecnología viene especialmente de la gran y sensitiva área de contacto.

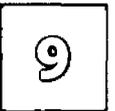
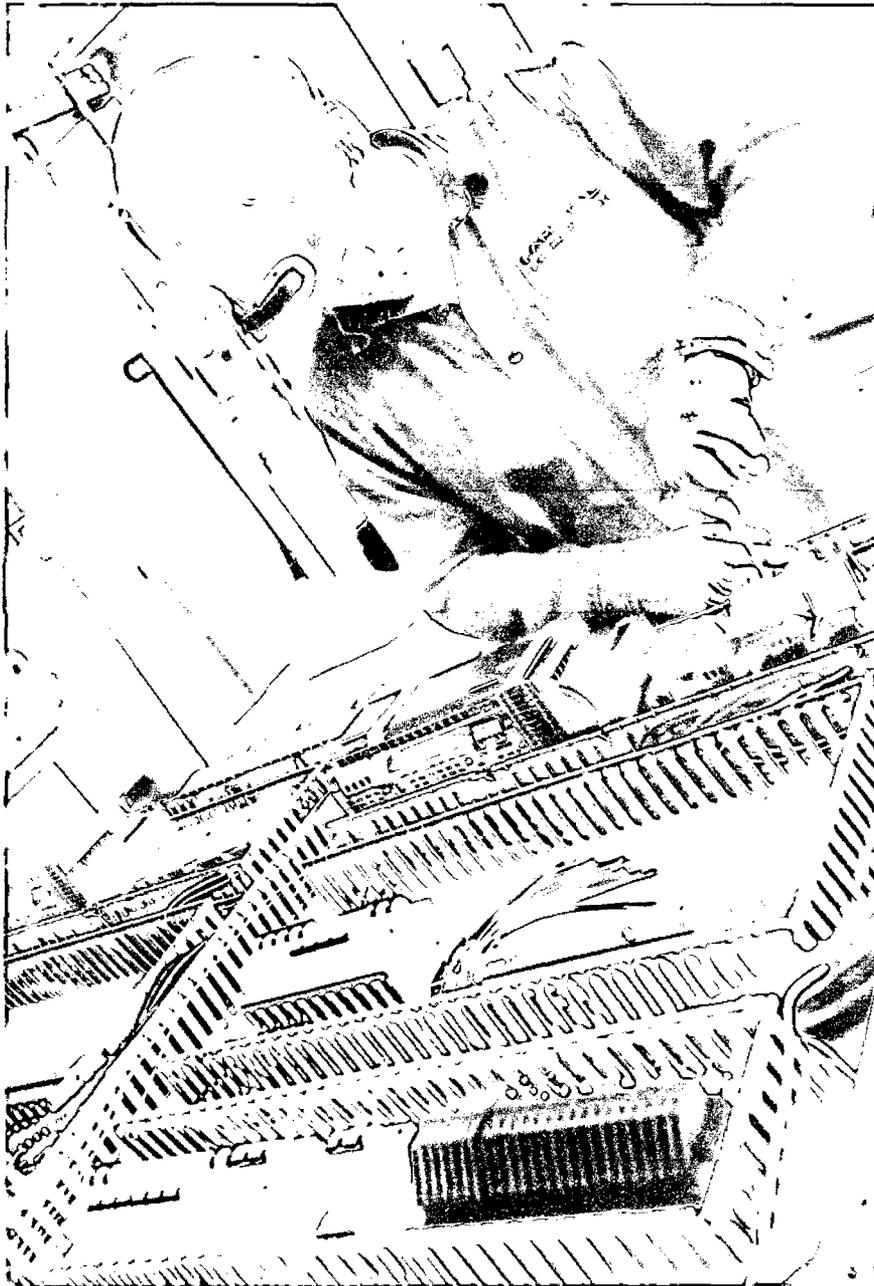
Condensadores de Potencia

SIEMENS

La interrupción de estos picos de corriente se debe a una patente de SIEMENS. Los condensadores PHASECAP pueden fácilmente manejar corrientes de entrada de 200 veces la corriente nominal.

Tiempo de servicio extendido a 115,000 horas de operación

El proceso de producción ayuda a evitar la oxidación y descarga parcial (efecto corona) brindando una capacitancia estable en un largo período.



Condensadores de Potencia

SIEMENS

Condensadores Trifásicos PhiCap

Autoregenerativos

Con dispositivo de protección contra sobrepresion

Vida util: 100 000 horas

Sobrevoltajes maximos permitidos: UN + 10% (hasta 8 horas diarias)/ U+ 15% (hasta 30 mintos diarios)

Estandar IEC 831-1/2, CE-UL

Clase de temperatura: -25°C - 55°C



Código Fametal	Código del Fabricante	Potencia Kvar	Tensión de Alimentación VAC	Frecuencia Hz
P0029661	B32344-E4122-Z500	5	230	60
P0029646	B32344-E4252-Z000	10	230	60
P0033841	B32344-E4121-Z580	12.5	480	60
P0042003	B32344-E4202-Z080	25	480	60

Condensadores Trifásicos Phase Cap

Autoregenerativos

Con dispositivo de protección contra sobrepresion

Vida util: 115 000 horas

Sobrevoltajes maximos permitidos: UN + 10% (hasta 8 horas diarias)/ U+ 15% (hasta 30 mintos diarios)

Clase de temperatura: -40°C - 55°C

Estándar IEC 831-1/2

Mayor confiabilidad y seguridad - Certificacion UL



Código Fametal	Código del Fabricante	Potencia Kvar	Tensión de Alimentación VAC	Frecuencia Hz
P0029653	B25667-C2627-Z375	12.5	230	60
P0029662	B25667-C5147-Z375	12.5	480	60
P0033830	B25667-C5287-Z375	25	480	60

Condensadores de Potencia

ABB

Condensadores CLMD, 480 VAC, 60 Hz.

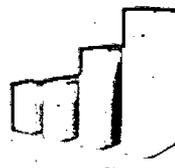
Características

Codensadores Trifásicos, dieléctrico seco (VERMICULITA)

Resistencia de descarga

Conexión en Delta

Uso Interior (IP42)



Código Fametal	Código del Fabricante	TIPO	KVAR		Dimensiones L X H X P (mm) (*)	Cant. por paquete
			480 V	440 V		
P0047492	2GCA281118A0030	CLMD 13-10	10.0	8.4	80 x 265 x 161	1
P0047493	2GCA281120A0030	CLMD 13-15	15.0	12.6	80 x 265 x 161	1
P0028228	2GCA280826A0030	CLMD 43-20	20.0	16.8	152 x 275 x 266	1
P0026464	2GCA280827A0030	CLMD 43-25	25.0	21.0	152 x 275 x 266	1
P0028229	2GCA280828A0030	CLMD 53-30	30.0	25.0	152 x 310 x 436	1
P0047494	2GCA280830A0030	CLMD 63-40	40.0	33.6	152 x 485 x 436	1
P0026465	2GCA281541A0030	CLMD 63-50	50.0	42.0	152 x 485 x 436	1
P0022245	2GCA280833A0030	CLMD 63-60	60.0	50.0	152 x 485 x 436	1

(*) L: largo, H: alta, P: fondo

9

Regulador de Factor de Potencia

Características

Ingreso: 5A

Salidas: 12 pasos

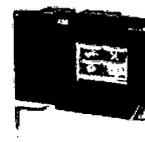
Alimentación: 100...440 Vac

La señal del Transformador de corriente puede provenir de las fases R, S ó T.

Reconocimiento de la fase en forma automática.



RVC



RVT

Código Fametal	Código del Fabricante	Tipo	Descripción	Cant. por paquete
P0021509	2GCA288094A0050	RVC-12	Regulador de factor de potencia, de 1 señal de corriente	1
P0047495	2GCA291722A0050	RVT-12-3P	Regulador de factor de potencia, de 1 ó 3 señal de corriente, lectura de Potencias y Energía. THDV y THDI	1
P0047496	2GCA291721A0050	RVT-12	Regulador de factor de potencia, de 1 señal de corriente, lectura de Potencias y Energía. THDV y THDI	1
P0047497	2GCA291880A0050	Kit Modbus adapter	Kit de adaptación, puerto de comunic ModBus, para RVT	1

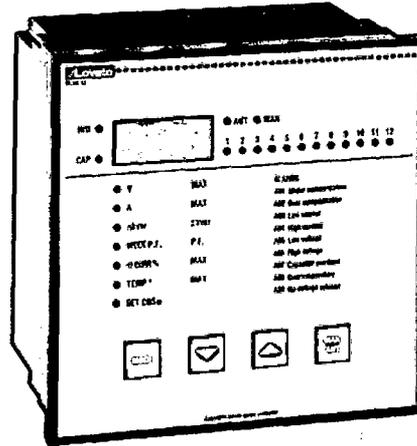
Regulador de Potencia Reactiva



Controlador del Factor de Potencia DCRK

Generalidades

- 12 pasos
- Voltaje de alimentación 230 VAC 60Hz
- Corriente de entrada 5 A
- Terminales tipo tornillo
- Pantalla con 3 LED digitales
- 11 LEDs indicadores de funciones
- 4 botones de control



Funciones de Control

- Reconocimiento automático de la conexión del CT
- Operación en 4 cuadrantes
- Relés de alarmas programables
- Sensor interno de temperatura
- Relé para control de ventilador programable
- Set-up mode Manual, Automático, Vía ordenador
- Menú rápido para la programación del CT
- Conjunto de configuración totalmente programable
- Función para bloqueo del teclado
- Interface de comunicación TTL / RS-232

Mediciones

- Cosphi instantáneo
- Factor de potencia instantáneo
- Factor de potencia media de la semana
- Voltaje y corriente
- Potencia reactiva para llegar a punto de ajuste (delta kVar)
- Potencia reactiva total
- Sobrecarga de condensadores
- Temperatura del tablero
- Valores máximos de voltaje
- Valores máximos de corriente
- Valor máxima de sobrecarga de condensadores

Protecciones

- Sobre voltaje
- Caída de tensión
- Sobre corriente
- Caída de la corriente
- Sobre compensación
- Baja compensación
- Sobrecarga de condensadores
- Perdida de la tensión principal

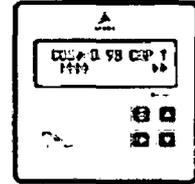
Código Fametal	Referencia para pedido	Descripción
0049012	DCRK12240	Regulador de factor de potencia de 12 pasos

Regulador de Potencia Reactiva

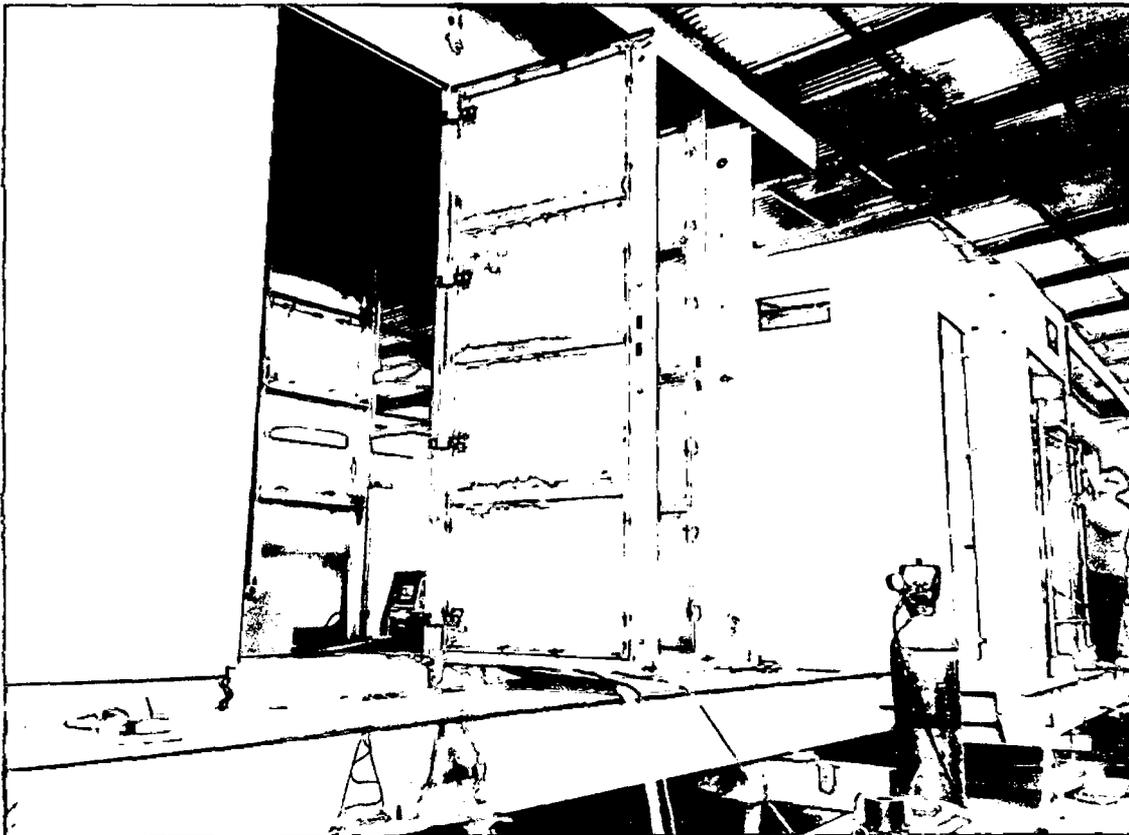
SIEMENS

Controlador del Factor de Potencia BR6000

- Posibilidad de cualquier relación de pasos
- Con display multifuncional de 2 filas x 16 caracteres cada una
- Con display tipo Back Light para visibilidad en lugares sin iluminación
- Permite registro de: Máxima tensión, máxima potencia reactiva, máxima potencia aparente, máximo numero de maniobras, máxima temperatura (opcional)
- Con contador de maniobras de contactores
- Con disponibilidad de 5 alarmas diferentes



Código Fametal	Código del Fabricante	No. de Pasos	Tensión de Alimentación VAC
P0047498	B44066-R6006-S230	6	230 ± 15%
P0033739	B44066-R6012-S230	12	230 ± 15%



Contadores para Accionamiento de Condensadores

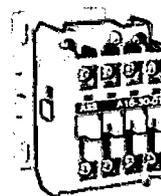
ABB

Los **contactores UA** tienen las siguientes características:

Categoría de utilización: AC6-b.

Altitud de trabajo sin derrateo: hasta 3000 msnm.

Corriente Inrush (linrush) hasta 100 veces la corriente nominal.



UA 50

Bobina: 100-120 VAC

Código Fametal	Código del Fabricante	Modelo	Cont. Aux.		KVAR-60Hz			Cant. por paquete
			NA	NC	230/240V	400V	440V	
P0043109	1SBL181022R8410	UA16-30-10	1	0	7.5	12.5	13.7	1
P0045523	1SBL241022R8410	UA26-30-10	1	0	12	20	22	1
P0043110	1SBL281022R8410	UA30-30-10	1	0	16	27.5	30	1
P0042734	1SBL351022R8400	UA50-30-00	0	0	20	33	36	1
P0043111	1SBL371022R8400	UA63-30-00	0	0	25	45	50	1
P0045524	1SBL411022R8400	UA75-30-00	0	0	30	50	55	1
P0045525	1SFL431022R8400	UA95-30-00	0	0	35	60	65	1
P0045526	1SFL451022R8400	UA110-30-00	0	0	40	75	75	1

Bobina: 200-220 Vac

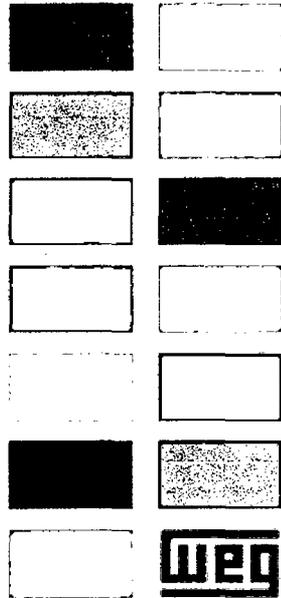
Código Fametal	Código del Fabricante	Modelo	Cont. Aux.		KVAR-60Hz			Cant. por paquete
			NA	NC	230/240V	400V	440V	
P0043020	1SBL181022R7510	UA16-30-10	1	0	7.5	12.5	13.7	1
P0045527	1SBL241022R7510	UA26-30-10	1	0	12	20	22	1
P0043021	1SBL281022R7510	UA30-30-10	1	0	16	27.5	30	1
P0045014	1SBL351022R7500	UA50-30-00	0	0	20	33	36	1
P0043022	1SBL371022R7500	UA63-30-00	0	0	25	45	50	1
P0045528	1SBL411022R7500	UA75-30-00	0	0	30	50	55	1

Bobina: 230-240 Vac

Código Fametal	Código del Fabricante	Modelo	Cont. Aux.		KVAR-60Hz			Cant. por paquete
			NA	NC	230/240V	400V	440V	
P0045529	1SFL431022R8000	UA95-30-00	0	0	35	60	65	1
P0045015	1SFL451022R8000	UA110-30-00	0	0	40	75	75	1

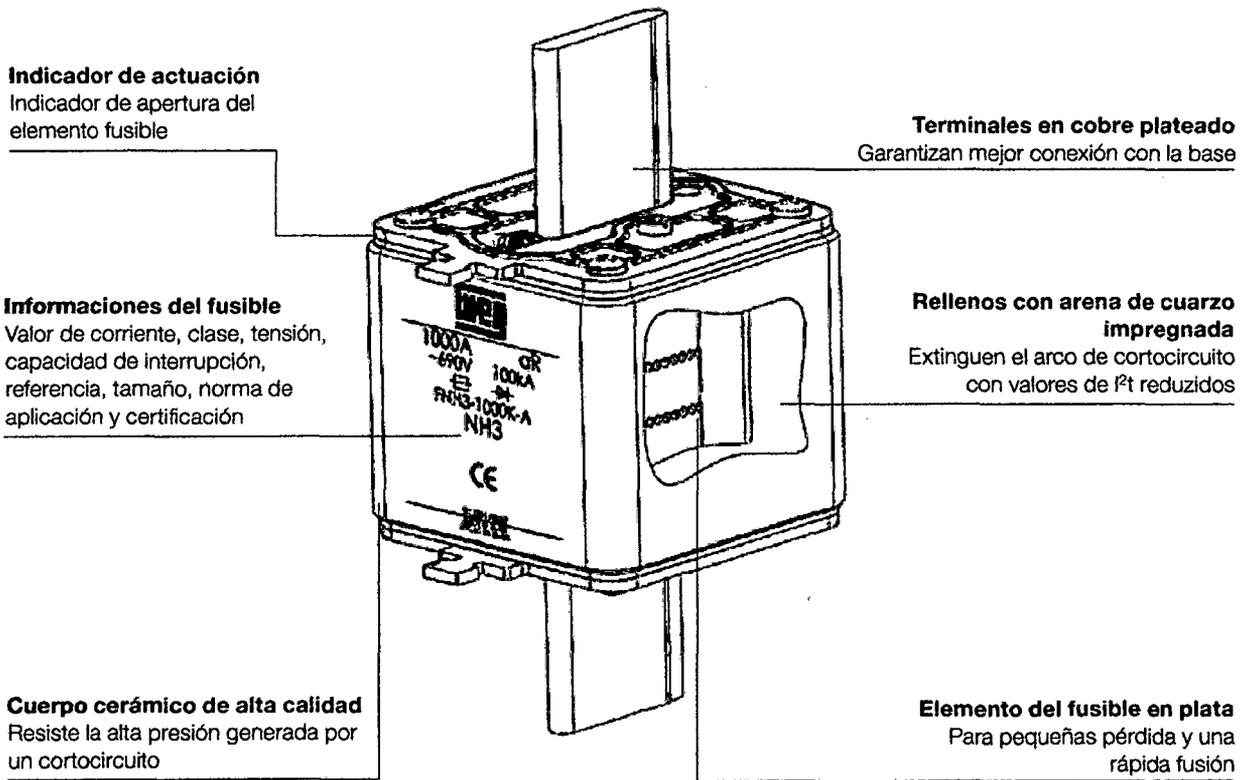
Para 220V y 380V multiplicar por 0.9 a los KVAR indicados en 230V y 400V respectivamente.

Fusibles ultra rápidos Tipo NH aR



Fusibles tipo NH ultra rápidos - aR

Los fusibles ultra rápidos tipo NH - aR son ensamblados en cuerpo cerámico de alta calidad, rellenos con arena de cuarzo impregnada, con elemento de fusible en plata y terminales en cobre plateado. Esta estructura proporciona el óptimo aislamiento eléctrico, robustez mecánica y capacidad de resistencia contra choques térmicos durante la desconexión del fusible en valores de I^2t reducidos.



Fusibles tipo NH ultra rápidos - aR

100kA / 690Vca

	Características técnicas					
	REFERENCIA	Tam.	Corriente [A]	Pt - It	Pt total - Ip	Potencia Disipada [W] 0,5h
				690Vca [A²s]		
	FNH00-20K-A	00	20	16	240	3.2
	FNH00-25K-A		25	19	255	3.5
	FNH00-35K-A		35	23	430	5
	FNH00-40K-A		40	36	580	7
	FNH00-50K-A		50	130	1430	9
	FNH00-63K-A		63	180	2170	10.5
	FNH00-80K-A		80	270	2710	13.5
	FNH00-100K-A		100	400	4530	14
	FNH00-125K-A		125	810	6350	16.5
	FNH00-160K-A		160	2100	16270	22.5
	FNH00-200K-A		200	2900	25870	26.5
FNH00-250K-A	250	6200	43980	30.5		
	FNH1-63K-A	1	63	63	770	15
	FNH1-80K-A		80	175	1610	19
	FNH1-100K-A		100	320	3050	21
	FNH1-125K-A		125	695	6380	25
	FNH1-160K-A		160	1460	13090	29.5
	FNH1-200K-A		200	2420	16380	34.5
	FNH1-250K-A		250	4920	29810	40.5
	FNH1-315K-A		315	7310	39590	48
	FNH1-350K-A		350	11430	64870	52
	FNH2-400K-A	2	400	16950	98860	59
	FNH2-250K-A		250	3390	24370	45.5
	FNH2-315K-A		315	4760	32780	57.5
	FNH2-350K-A		350	7990	60150	66.5
	FNH2-400K-A		400	14850	92060	77
	FNH2-450K-A		450	18420	132990	91
	FNH2-500K-A		500	23040	146250	103
	FNH2-630K-A		630	49130	298820	127
	FNH3-710K-A	3	710	57910	378450	137.5
	FNH3-400K-A		400	6520	66830	70
	FNH3-450K-A		450	15090	105220	74.5
	FNH3-500K-A		500	18770	107200	79.5
	FNH3-630K-A		630	32500	222640	94
	FNH3-710K-A		710	56620	308900	105
	FNH3-800K-A		800	87390	612850	117
	FNH3-900K-A		900	129380	636150	130
FNH3-1000K-A	1000	197890	893350	150		

Obs.: - Para instalación del fusible en base fusible - BNH.

- Para dimensionamiento Pt en otras tensiones utilizar la tabla "variación Pt total x tensión de trabajo" en la pág. 09.

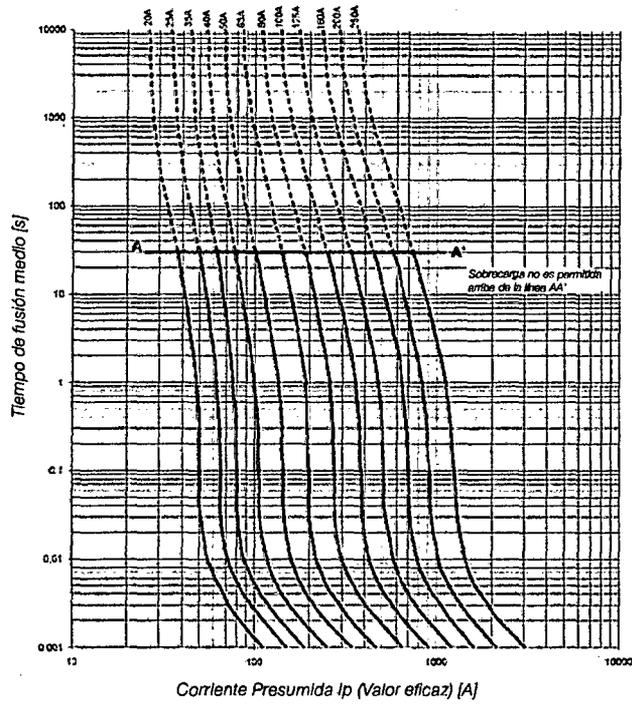
Tensión Vca	Factor aplicado
127	0.43
220	0.43
254	0.45
266	0.46
277	0.48
300	0.50
345	0.53
400	0.58
440	0.62
480	0.64
480	0.68

Obs.: - Para otros valores de tensión utilizar la curva de la pág. 09

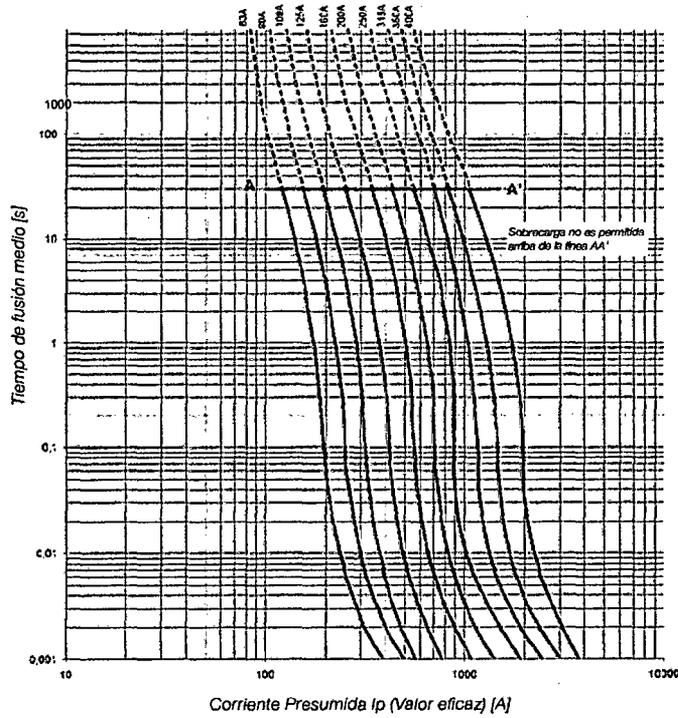
Fusibles tipo NH Ultra rápidos - aR

Curvas Tiempo x Corriente

Fusibles FNH00 aR

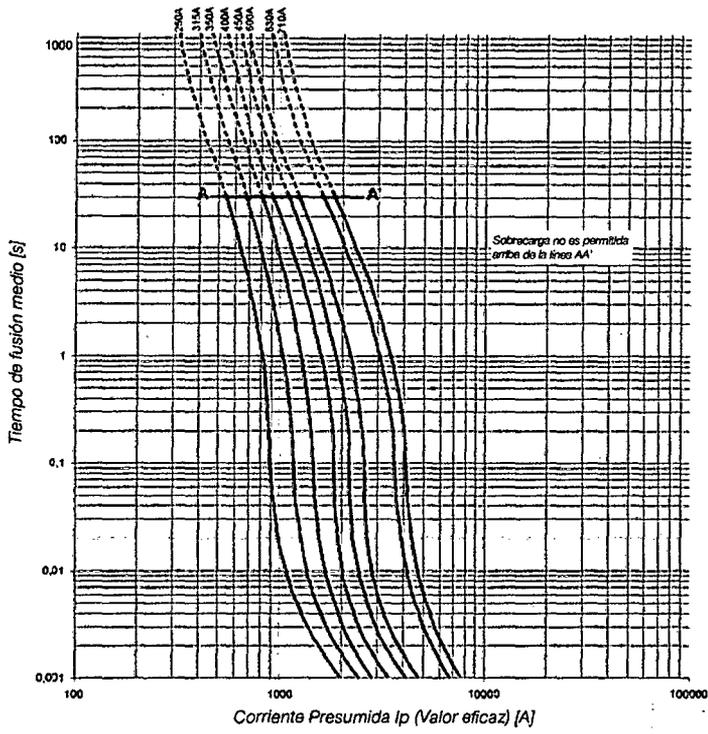


Fusibles FNH1 aR

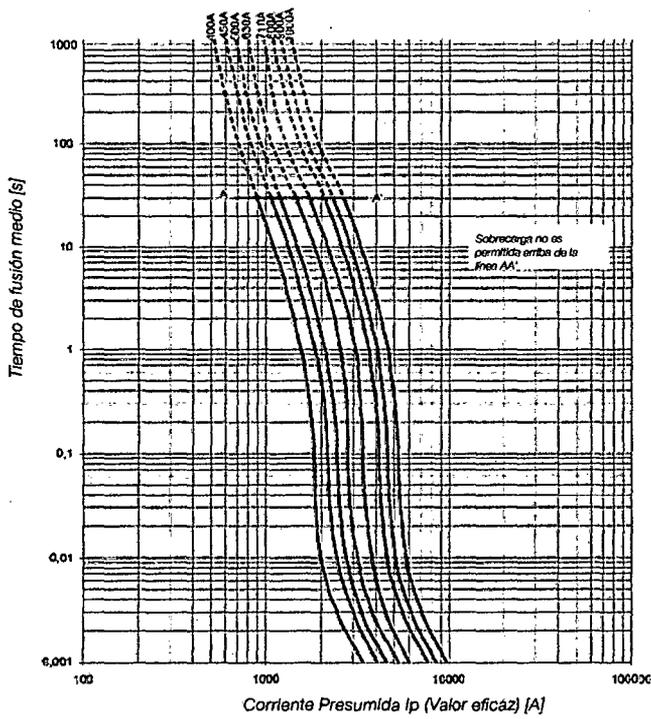




Fusibles FNH2 aR



Fusibles FNH3 aR

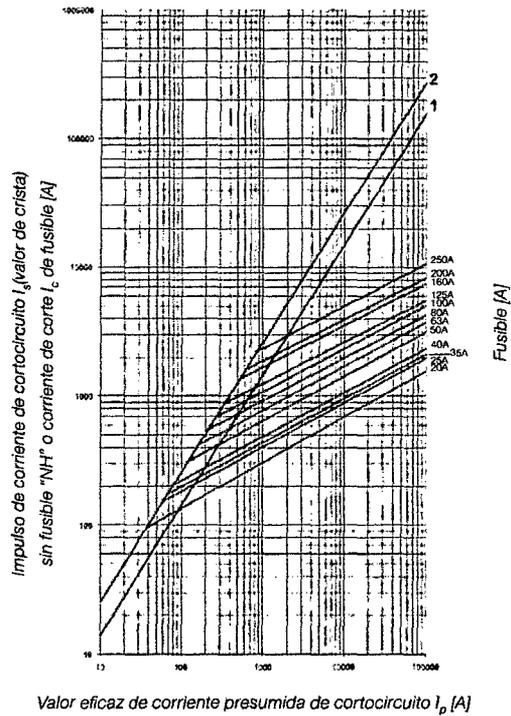


Fusibles Tipo NH ultra rápidos- aR

Curvas de Limitación de Corriente

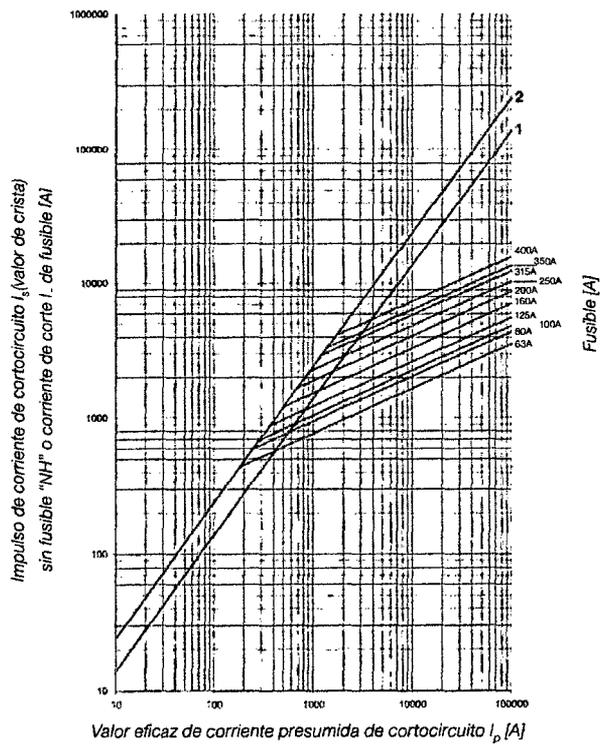
Fusibles NH00 aR

- 1 - Corriente de cortocircuito simétrica
- 2 - Corriente de cortocircuito asimétricas



Fusible NH1 aR

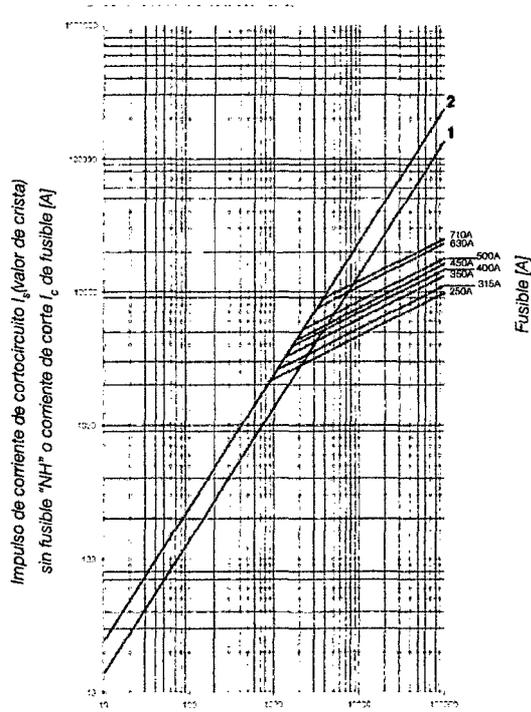
- 1 - Corriente de cortocircuito simétrica
- 2 - Corriente de cortocircuito asimétricas





Fusible NH2 aR

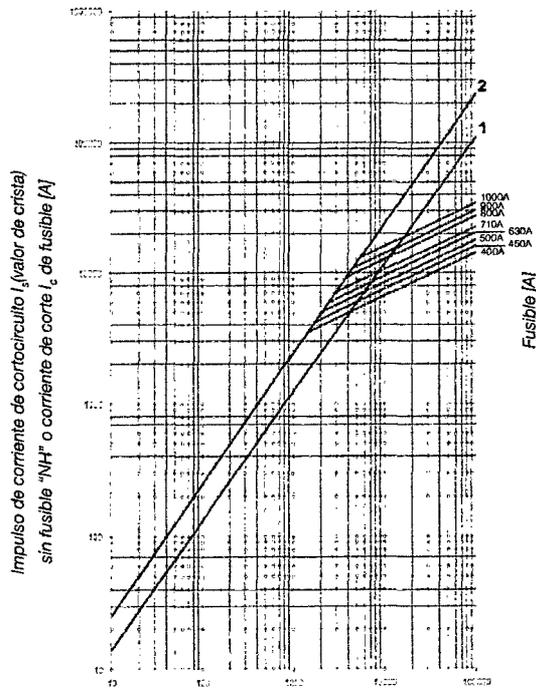
- 1 - Corriente de cortocircuito simétrica
- 2 - Corriente de cortocircuito asimétricas



Valor eficaz de corriente presumida de cortocircuito I_p [A]

Fusible NH3 aR

- 1 - Corriente de cortocircuito simétrica
- 2 - Corriente de cortocircuito asimétricas

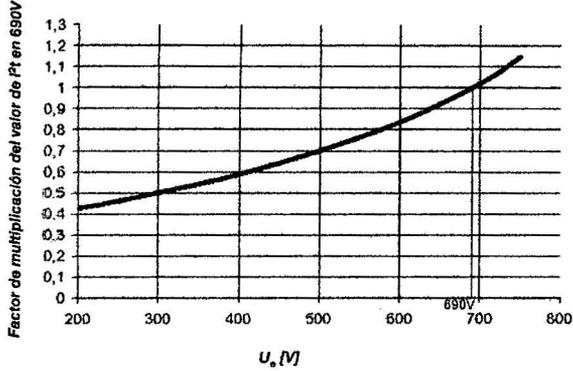


Valor eficaz de corriente presumida de cortocircuito I_p [A]

Fusibles tipo NH ultra rápidos - aR

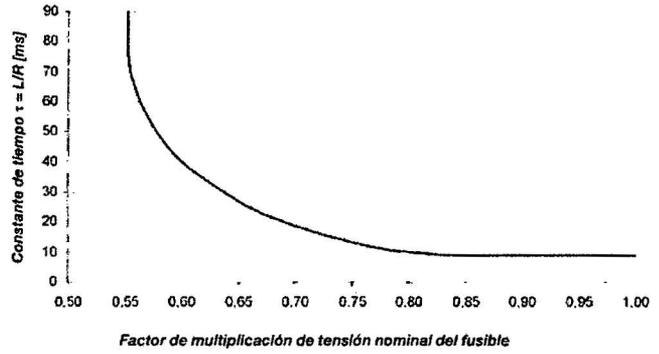
Variación de I²t total x tensión de trabajo

Los valores de I²t presentados son referenciados para tensión 690Vca. Para otras tensiones el I²t varia conforme tabla abajo.



Nuevo I²t total en función de la tensión aplicada = factor de multiplicación x I²t total del fusible

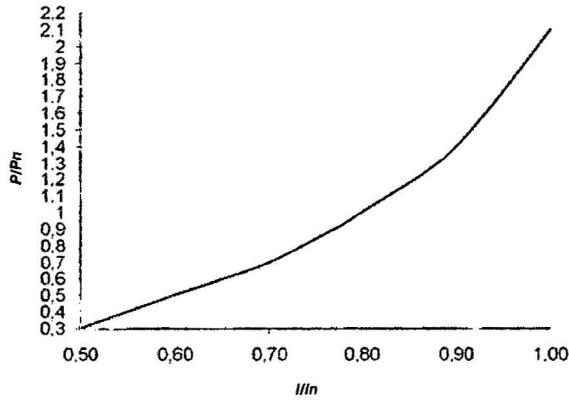
Aplicación en corriente continua - definición de tensión de trabajo del fusible



V_{cc} = "Factor de multiplicación" x 690 Vca

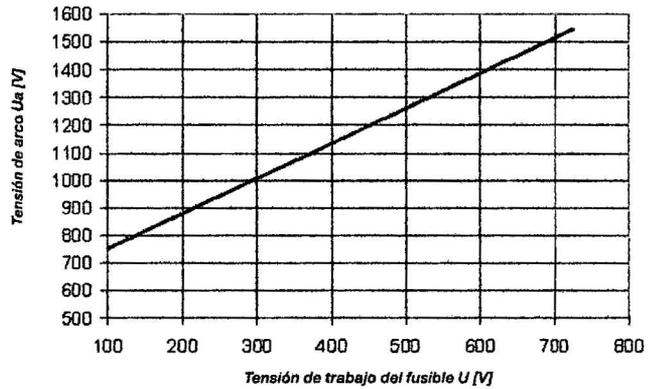
Coefficiente multiplicador para calcular potencia de perdida para valores de corriente menores que la corriente nominal del fusible

Calcular el valor



Curva de tensión de arco

Durante la interrupción de la corriente de falta, en cada restricción del elemento surgirá un arco eléctrico, generando consecuentemente una tensión de arco. El valor de arco de los fusibles varia con la tensión de trabajo del fusible.



Fusibles tipo NH ultra rápidos - aR

Factores de reducción de corriente para instalación de los fusibles aR en base individual - BNH

Factor de reducción de corriente para uso de Fusible aR en base fusible - BNH y seccionadora - SFW			
Tamaño del Fusible	Corriente Nominal del fusible	Factor de corriente que tiene que ser aplicado en la corriente nominal (In) del fusible instalado en base fusible	
		Base fusible BNH	
		Factor	Referencia base fusible
00	20	1	BNH00-160
	25	1	BNH00-160
	35	1	BNH00-160
	40	1	BNH00-160
	50	1	BNH00-160
	63	1	BNH00-160
	80	1	BNH00-160
	100	1	BNH00-160
	125	1	BNH00-160
	160	0,9	BNH00-160
	200	0,85	BNH00-160
	250	0,8	BNH00-160
1	63	1	BNH1-250
	80	0,95	BNH1-250
	100	0,95	BNH1-250
	125	0,9	BNH1-250
	160	0,85	BNH1-250
	200	0,8	BNH1-250
	250	0,75	BNH1-250
	315	0,75	BNH1-250
	350	0,7	BNH1-250
	400	0,7	BNH1-250
2	250	0,9	BNH2-400
	315	0,9	BNH2-400
	350	0,85	BNH2-400
	400	0,8	BNH2-400
	450	0,8	BNH2-400
	500	0,75	BNH2-400
	630	0,7	BNH2-400
	710	0,7	BNH2-400
3	400	0,8	BNH3-630
	450	0,8	BNH3-630
	500	0,75	BNH3-630
	630	0,75	BNH3-630
	710	0,75	BNH3-630
	800	0,75	BNH3-630
	900	0,7	BNH3-630
1000	0,7	BNH3-630	

ANEXO F: Presupuesto desagregado del Banco de Condensadores.

PRESUPUESTO COMPENSACION REACTIVA-PLANTA FRIGORIFICA

ITEM	DETALLES	COSTO TOTAL(US\$)
1.1	BANCO DE CONDENSADORES AUTOMATICO DE 12 PASOS DE 220KVAR	5900.00
1.2	BANCO DE CONDENSADORES AUTOMATICO DE 12 PASOS DE 210 KVAR	5700.00
1.3	06 CONDENSADORES FIJOS DE 25 KVAR	2700.00
1.4	02 CONDENSADORES FIJOS DE 13 KVAR	500.00
1.5	06 CONDENSADORES FIJOS DE 5 KVAR	845.00
1	SUBTOTAL EQUIPAMIENTO	15645.00
2	SUBTOTAL MANO DE OBRA	1200.00
3	SUBTOTAL OBRA CIVIL	800.00
4	SUBTOTAL SUPERVISION	1000.00
	SUBTOTAL	18645.00
	IGV (18%)	3356.10
	TOTAL INVERSION(US\$)	22000.00

Fuente : Elaboración propia

ANEXO G: Detalles de Motores de Planta Frigorífica

MOTORES ELECTRICOS CAMARA FRIGORIFICA

CAMARA FRIGORIFICA			
UNIDAD 1		UNIDAD 1	
POTENCIA (HP)	EQUIPOS	POTENCIA (HP)	EQUIPOS
180	COMPRESOR VILTER 1 (134 KW))	180	COMPRESOR 1 (134 KW))
180	COMPRESOR VILTER 2(134 KW)	180	COMPRESOR 2(134 KW)
180	COMPRESOR VILTER 3(134 KW)	180	COMPRESOR 3(134 KW)
150	COMPRESOR VILTER 4(111 KW)	150	COMPRESOR 4(111 KW)
45	COND.EVAPORATIVO (34 KW)	45	COND.EVAPORATIVO (34 KW)
	06 VENTILADORES		06 VENTILADORES
	02BOMBAS DE AGUA		02BOMBAS DE AGUA
14	VENTILADORES(10.7 KW)	14	VENTILADORES(10.7 KW)
7	AUXILIARES(5.4 KW)	7	AUXILIARES(5.4 KW)
756	DEMANDA	756	DEMANDA

Fuente : Elaboración propia