



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA

Rediseño del sistema eléctrico trifásico de potencia de 300 kva en base a auditoría para  
aumentar la eficiencia energética y reducir costos en templo mormón de Trujillo

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Espinoza Vargas Freddy Richard (ORCID: 0000-0002-6711-6521)

ASESOR:

Mg. Valderrama Campos Edwin Ronald (ORCID: 0000-0003-1254-8340)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación Transmisión y Distribución de Energía

TRUJILLO - PERÚ

2020

## DEDICATORIA

A mi esposa milagros, porque tú fuiste la parte importante de que yo llegara hasta este momento de mi vida, ser profesional.

A mis hijos Logan y Valentina por ser la fuente de mi esfuerzo y sacrificio.

A mis padres Nilo y Eufemia, por haberme forjado en la persona que soy en la actualidad; mucho de los logros se los debo a ustedes, en los que incluyo este. Me formaron con reglas y ciertas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron con constancia para alcanzar mis sueños. Gracias padre y madre.

Mis hermanos porque su ejemplo me motiva a seguir más logros en mi formación profesional.

Freddy Richard Espinoza Vargas

## AGRADECIMIENTO

A mi Padre Celestial por guiarme y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome su amor, paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mi esposa, porque su amor y paciencia ha sido fundamental en mi formación académica demostrándome que has estado conmigo incluso en los momentos más turbulentos. Este proyecto no fue fácil, pero estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían, te lo agradezco muchísimo amor.

De igual manera a mis maravillosos hijos. Logan y Valentina que posiblemente en este momento no entiendan mis palabras, pero para cuando sean capaces, quiero que se den cuenta de lo que significan para mí, han sido la razón de que me levante cada día a esforzarme por el presente y el mañana, son mi principal motivación. Como en todos mis logros, en este han sido presentes, muchas gracias hijos.

A mis padres Nilo y Eufemia por su aliento y amor que me tienen y porque siempre han sido la fuente de inspiración y superación en mi vida.

También agradezco mucho la ayuda de mis maestros, mis compañeros, y a la universidad en general por los conocimientos aprendidos en esta prestigiosa institución.

Freddy Richard Espinoza Vargas

## **PÁGINA DEL JURADO**

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Espinoza Vargas, Freddy Richard; con DNI 80171539, declaro en tal sentido que el tema de mi tesis es auténtico y es un resultado de mi trabajo personal, y que no he plagiado y que las formulaciones, ideas y citas han sido sacadas de acuerdo con los dispositivos legales y con las referencias de acuerdo a norma a fin de cumplir con los dispositivos legales para la obtención del grado en la facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, de la Universidad Cesar Vallejo, para tal efecto juro que toda la documentación es auténtica y veraz.

En este sentido declaro también bajo juramento que todos los datos e información recopilados que se presenta en la presente tesis son reales y verídicos.

En tal sentido, afirmo que soy responsables del contenido y asumo como autor las consecuencias de los resultados ante cualquier falta, falsedad u omisión en los documentos de información aportada, Por ello, en caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a lo dispuesto en las normas académicas que dictamine la Universidad Cesar Vallejo.

Trujillo, 03 de febrero de 2020



-----  
Espinoza Vargas Freddy Richard

DNI: 80171539

# ÍNDICE

CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
PÁGINA DEL JURADO .....	vi
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.....	v
ÍNDICE .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Realidad Problemática .....	1
1.2 Trabajos previos .....	8
1.3 Teorías relacionadas al tema, (Carretero Peña Antonio, 2015) .....	11
1.3.1 Tipos de cargas eléctricas .....	13
1.3.2 Potencia eléctrica trifásica.....	16
1.3.3 Triángulo de potencias de un circuito eléctrico.....	18
1.3.4 Factor de potencia (Cos $\theta$ ) .....	18
1.3.5 Aplicación de banco de capacitores en sistemas eléctricos .....	23
1.3.6 Ventajas de compensar la energía reactiva: (Schneider electric.2010). .....	26
1.3.7 Compensación fija en motores asíncronos .....	27
1.3.8 Diseño de la potencia a compensar en una instalación. ....	31
1.3.9 Cálculo a partir de mediciones .....	31
1.3.10 Cálculo de la potencia a compensar en una instalación .....	32
1.3.11 Dispositivos de protección y maniobra en baja tensión .....	33
1.3.12 Cálculo de la batería con presencia de armónicos.....	34
1.3.13 Análisis de Costos .....	34
1.3.14 Análisis financieros .....	35
1.4 Formulación del problema .....	39
1.5 Justificación del estudio.....	39
1.6 Hipótesis.....	40
1.7 Objetivos.....	40
1.7.1 Objetivo general .....	40
1.7.2 Objetivo específico.....	40
<b>II. MÉTODO.....</b>	<b>41</b>
2.1 Diseño de investigación.....	41
2.2 Sistema de operación de variables.....	42

2.2.1 Variables independientes.....	42
2.2.2 Variables dependientes.....	42
2.2.3 Variables intervinientes.....	42
2.3 Población y muestra .....	42
2.3.1 Población .....	42
2.3.2 Muestra.....	43
2.4 Procedimientos y herramientas de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	44
2.5 Métodos de análisis de datos.....	44
2.6 Aspectos éticos .....	45
<b>III. RESULTADOS .....</b>	<b>46</b>
<b>3.1 Balance de energía eléctrica en SEP Mormón Trujillo .....</b>	<b>46</b>
3.1.1 Potencia de componentes del sistema eléctrico de potencia del Templo Mormón de Trujillo. .....	46
3.1.2 Potencias actuales, en el sistema eléctrico: activa, reactiva, aparente y el factor de potencia existente.....	51
3.1.3 Triángulo de energías de los sistemas eléctricos de potencia (SEP) Templo mormón Trujillo .....	52
3.2 Análisis de compensación reactiva a aplicar .....	54
3.3 Rediseño del SEP del templo mormón de Trujillo .....	55
3.3.1 En sub estación de transformación .....	55
3.3.2 En celda de compensación del factor de potencia .....	56
3.3.3 En sistema de respaldo de potencia de emergencia.....	56
3.3.4 En las cargas del sistema de aire acondicionado .....	56
3.3.5 Calculo del rendimiento en operación del nuevo transformador.....	59
3.4 Realizar un análisis económico determinando presupuestos y beneficios .....	64
3.4.1 Inversiones .....	64
3.4.2 Beneficios económicos.....	65
<b>IV. DISCUSIÓN .....</b>	<b>71</b>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>73</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>75</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>77</b>
<b>Anexo 1: Acta de Aprobación de Originalidad de Tesis .....</b>	<b>77</b>
<b>Anexo 2: Reporte Turnitin .....</b>	<b>78</b>
<b>Anexo 3: Autorización de Publicación de Tesis en Repositorio Institucional UCV.....</b>	<b>79</b>
<b>Anexo 4: Recibo de luz mes marzo 2018 Templo Mormón Trujillo .....</b>	<b>80</b>
<b>Anexo 5: Recibo de luz mes febrero 2018 Templo Mormón Trujillo.....</b>	<b>81</b>
<b>Anexo 6: Recibo de luz mes agosto 2018 Templo Mormón Trujillo .....</b>	<b>82</b>
<b>Anexo 7: Recibo de luz mes Setiembre 2018 Templo Mormón Trujillo .....</b>	<b>83</b>
<b>Anexo 8: Transformador monofásico.....</b>	<b>84</b>

<b>Anexo 9: Transformador trifásico aéreo .....</b>	<b>84</b>
<b>Anexo 10: Conexión de transformador trifásico.....</b>	<b>85</b>
<b>Anexo 11: Conexión de capacitores trifásicos en triángulo .....</b>	<b>86</b>
<b>Anexo 12: Compensación de factor de potencia trifásico grupal .....</b>	<b>86</b>
<b>Anexo 13: Instalación de analizador de redes .....</b>	<b>87</b>
<b>Anexo 14: Instalación de analizador de calidad de energía .....</b>	<b>88</b>
<b>Anexo 15: Curvas de motor asíncrono.....</b>	<b>88</b>
<b>Anexo 16: Diagrama de conexión de condensador trifásico en compensación individual .....</b>	<b>89</b>
<b>Anexo 17: Tarifas eléctricas peruanas.....</b>	<b>90</b>
<b>Anexo 18: Conductores eléctricos trifásicos.....</b>	<b>91</b>
<b>Anexo 19: Tablas con capacidades y potencias de transformadores trifásicos .....</b>	<b>92</b>
<b>Anexo 20: Características de transformadores trifásicos .....</b>	<b>93</b>
<b>Anexo 21: Tipos de luminarias .....</b>	<b>93</b>
<b>Anexo 22: Instrumentos de evaluación.....</b>	<b>94</b>
<b>Anexo 23: Matriz de consistencia.....</b>	<b>95</b>
<b>Anexo 24: Autorización de la versión final del trabajo de investigación .....</b>	<b>96</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores de los parámetros eléctricos del sistema eléctrico del templo mormón de Trujillo. Elaboración propia. Fuente: datos del templo mormón.....	4
Tabla 2: Cuadro de valores del factor de potencia ( $\cos \varphi$ ) para especificar las cargas comunes en componentes. Elaboración propia. Fuente: Schneider Electric .....	15
Tabla 3: Valores de energía, potencia y económicos de facturación eléctrica en Templo Mormón Trujillo. Elaboración propia .....	51
Tabla 4: Costo de energía activa contratada (HIDRANDINA, 2019)* .....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de bloques actual del sistema eléctrico Templo mormón de Trujillo. Elaboración propia. Fuente: datos del templo mormón .....	3
Figura 2: Valores de la tensión trifásica en bornes del transformador del sistema eléctrico del templo mormón de Trujillo. Elaboración propia. Fuente: datos del templo mormón .....	5
Figura 3: Factor de potencia del sistema eléctrico en el templo mormón de Trujillo. Elaboración propia. Fuente: datos del templo mormón .....	6
Figura 4: Potencia activa en KW, del sistema eléctrico del templo mormón de Trujillo. Elaboración propia. Fuente: datos del templo mormón .....	7
Figura 5: Se muestra la onda de voltaje y de corriente dentro de una carga resistiva.....	14
Figura 6: Onda de voltaje y corriente en carga una carga Inductiva.....	14
Figura 7: Onda de voltaje y corriente en carga, una carga capacitiva. ....	15
Figura 8: Motor de inducción sin compensación, del factor de potencia .....	17
Figura 9: Motor de inducción con compensación, del factor de potencia .....	17
Figura 10: Triángulo de potencias eléctricas .....	17
Figura 11: Triángulo de potencia con factor de Potencia atrasado y adelantado .....	18
Figura 12: Factor de potencia igual al ángulo de desfase entre la tensión y corriente .....	19
Figura 13: Factor de potencia igual a la relación entre la resistencia e impedancia. ....	19
Figura 14: Factor de potencia igual a la relación entre potencia activa y aparente.....	19
Figura 15: Indicador del factor de potencia. Fuente: Electricidad industrial GT.....	20
Figura 16: Carga inductiva original (a) y carga inductiva con factor de potencia mejorado (b)..	21
Figura 17: Triángulo de potencia que ilustra la Corrección del factor de potencia .....	22
Figura 18: Compensación individual. Fuente. Catálogo Legrand .....	23
Figura 19: Compensación por grupos. Fuente. (Schneider electric. 2010).....	24
Figura 20: Compensación central o automática. Fuente: Schneider electric. 2010 .....	25
Figura 21: Cuadro especificando el decrecimiento de pérdidas por efecto Joule. Fuente. Schneider electric.	27
Figura 22: Dactos de la placa de transformadores del Templo Mormón de Trujillo .....	47
Figura 23: Se observa la cantidad de luminaria (elaboración propia).....	48
Figura 24: Diagrama unifilar actual del sistema eléctrico de potencia en Templo Mormón Trujillo. Elaboración propia. ....	50
Figura 25: Triángulo de energías en Sistema eléctrico del Templo Mormón Trujillo, periodo enero – septiembre 2018. Elaboración propia. ....	53
Figura 26: Cálculos del triángulo de potencias en el Sistema eléctrico del Templo Mormón Trujillo, periodo enero – septiembre 2018. Elaboración propia. ....	54
Figura 27: En este triángulo se demuestra las potencias resultantes con compensación. ....	55
Figura 28: Diagrama unifilar del SEP del templo mormón de Trujillo, rediseñado. Elaboración propia.....	57

Figura 29: (PROMELSA, 2019). Es donde se selección del Transformador trifásico $S_n = 500$ KVA que se considera como el ideal para la instalación. ....	58
Figura 30: Dimensiones de transformador trifásico .....	59
Figura 31: Diagrama unifilar instalación banco de condensadores automático (ACOME) .....	60
Figura 32: Número de Condensador trifásico 20 KVAR, 60 Hz, 380 V (GESCEL, 2019).....	60
Figura 33: del Controlador automático del factor de potencia (ENERGÍA, 2019) .....	61
Figura 34: Contactor electromagnético para condensador trifásico.....	63
Figura 35: Número: Luminaria LED 18 w, 220 V .....	63

## RESUMEN

Se presenta el estudio sobre el rediseño del sistema de potencia, en el Templo Mormón, de Trujillo, que tiene por propósito reducir los costos de facturación eléctrica.

Luego de realizar el trabajo de campo, identificando procesos y parámetros eléctricos, se estableció que el sistema eléctrico de potencia (SEP) del templo mormón está sobre dimensionado, operan dos transformadores en paralelo, de 750 KVA cada uno, siendo necesario solamente uno de 300 KVA.

A continuación, se efectuó el balance de energía en los sistemas eléctricos y se consiguió como resultado los valores: Potencia activa: 265.492 KW, Potencia reactiva: 80.685 KVAR, Potencia aparente: 277.481 KVAR, Factor de potencia: 0.96. La energía activa alcanza el valor promedio de 596,545 KW-h/mes, la energía reactiva alcanza los 181,681 KVAR-h/mes.

Se determinó que el  $\cos \phi$  alcanza el valor de 0.96, es decir se hizo un dimensionamiento ajustado, al aumentar paulatinamente la carga, ya se empieza a pagar energía reactiva, por eso se dimensionó un nuevo banco de capacitores trifásicos, con una potencia total de 50 KVAR, dos bancos, automáticos, para poder obtener un factor de potencia de 0.99 y no pagar energía reactiva capacitiva.

Luego de realizar la auditoría eléctrica se elaboró el rediseño del SEP del templo mormón de Trujillo, se propone el cambio de transformadores de 750 KVA por uno solo de 500 KVA, de 10/0.38 KV, trifásico, D/Y, también se propone instalar un grupo electrógeno Diesel, de 500 KVA, con transferencia automática, para el respaldo de energía., en cargas principales: cambiar dos motores trifásicos, de 220 V, estándar, con  $\eta$  nominal de 90% por motores de 380 V, Premium, con  $\eta$  nominal de 94.5%, para tener más eficiencia se debe cambiar los fluorescentes actuales, de vapor de mercurio; 350 piezas, 1200 lumen; 220 V, 36 w c/u por 400 fluorescentes LED, 1320 lumen, de 16 w c/u y celda con analizador de redes

Finalmente se realizó un análisis económico determinando presupuestos y beneficios, inversión de 128,844 soles, beneficio económico proyectado por rediseño del templo mormón de Trujillo es de 123,862 soles por año, se estima un retorno de la inversión en 1.02 años, bastante aceptable, pues la vida útil del sistema es mayor a los 15 años. Se concluye que es rentable el rediseño del SEP

**Palabras clave:** factor de potencia, energía reactiva, capacitor

## ABSTRACT

This study presents a redesign of the power system at the Mormon Temple in Trujillo with the goal of reducing electrical costs.

At the conclusion of the field work and identifying processes and defining electrical parameters, it was established that the SEP of the Mormon temple is oversized. Two parallel 750 KVA transformers are in use, whereas only one 300 KVA is necessary.

Next, the electrical system's power usage was balanced and calculated. Reactive power 80,685KVAR; Apparent power 277,481 KVAR; Power factor 0.96.

The active energy has the approximate value of 596,545 KW-h / month, the reactive energy has a value of 181,681 KVAR-hr / month

It was determined that the  $\cos \phi$  has a value of 0.96, the measurement was made by gradually increasing the power load. The reactive power is already purchased. A new group of three-phase capacitors was designed with total power of 50 KVAR in two automatic banks able to reach a power factor of 0.99, hence eliminating duplicate reactive energy costs.

At the conclusion of the electrical audit, a redesign of the SEP of the Mormon temple of Trujillo was developed. It is proposed that the transformers be changed from two 750 KVA to a single 500 KVA, 10/0.38 kV, three-phase, D/Y. It is also proposed that a 500 KVA diesel generator be installed with automatic transfer for backup power.

It is also proposed that for optimal efficiency the main loads be changed as follows:

Change motors to three-phase, standard 220 V motors, 90% nominal, or premium 380 V motors, 94.5% nominal; change the 350 1200 lumen, 36 W, 220 V mercury vapor fluorescent lamps to 400 1320 lumen, 16 W, fluorescent LED lamps with photo cell and network analyzer.

Finally an analysis using budgets and benefits determined that an investment of 128,844 soles produced an economic benefit for Mormon temple of Trujillo of 123,862 soles per year. The investment is returned within the acceptable timeline of 1.02 years as the life expectancy of the system is greater than 15 years.

In conclusion the redesign of the SEP is profitable.

**Keywords:** power factor, reactive energy, capacitor.

# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Realidad Problemática

Un indicador importante de una adecuada gestión de la energía eléctrica en un sistema eléctrico de potencia es la eficiencia, la cual indica el porcentaje de energía útil aprovechable del total de la energía absorbida, sobre la cual se realiza el costo y pago de la electricidad, incidiendo directamente en el costo del servicio o producto producido, y de la competitividad de la empresa.

A su vez la energía útil depende de la tensión, intensidad de línea y el factor de potencia de la carga, de la caída de tensión en conductores y del estado de los equipos que convierten la energía absorbida.

Cuando una planta tiene un adecuado plan de gestión de la energía, se determina, en base a: análisis, auditorías parciales o totales internos, la eficiencia de cada equipo y de toda la planta, determinando los puntos en los cuales se pueden adoptar las medidas operativas, tecnológicas para aumentarlas y reducir los costos de electricidad, pudiendo establecer un plan de gestión de la energía, sostenible en el tiempo.

Al realizar una adecuada gestión de mantenimiento eléctrico, se toman en cuenta la capacidad de conversión de la energía y la eficiencia con la que lo realiza el equipo respectivo, de esta manera se asegura confiabilidad en el tiempo, menor costo y adecuada protección eléctrica de las personas y de los equipos eléctricos.

En el caso del sistema eléctrico de potencia de ASPERSUD (Asociación peruana de la iglesia de Jesucristo de los santos de los últimos días) de Trujillo, ubicada en Av. Mansiche km 3.5 carretera Huanchaco, se tiene un sistema eléctrico robusto, que recibe en 10 Kv y entrega en 220 V, en triángulo, de 600 KVA de potencia aparente instalada

Al sistema eléctrico se le aplica un adecuado mantenimiento preventivo, sin embargo, no se le analiza para determinar la eficiencia de operación, a pesar que la Iglesia paga un aproximado de más de 52,000 soles por mes, por consumo de energía activa y reactiva, no se cuenta con bancos de condensadores, tampoco se conoce las caídas de tensión en conductores ni la calidad de energía, es decir no hay plan de gestión de la electricidad.

El sistema eléctrico de potencia del templo mormón no cuenta con un tablero con instrumentos de medida, como analizador de energía ni de calidad de energía, que permita

monitorear en tiempo real la capacidad, rendimiento y costos de operación y tomar las medidas correctivas necesarias

Los valores de los principales parámetros, medidos en el lapso de un día de operación normal, se encuentran en la tabla nro.1, como también en los gráficos nro.1.2 y 3.

Se ha elaborado el diagrama unifilar actual, el cual debe ser actualizado con las dimensiones de los cables y su tipo, que permitan hacer un análisis con la mayor precisión posible.

Por lo expuesto se plantea realizar una auditoría eléctrica al sistema eléctrico del templo mormón, de acuerdo a normas y establecer las capacidades y rendimientos reales de los componentes principales, que ayuden a definir en qué sectores se debe rediseñar, para aumentar su niveles de operación, costos y de seguridad.

DIAGRAMA DE BLOQUES ACTUAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA EN TEMPLO MORMÓN DE TRUJILLO

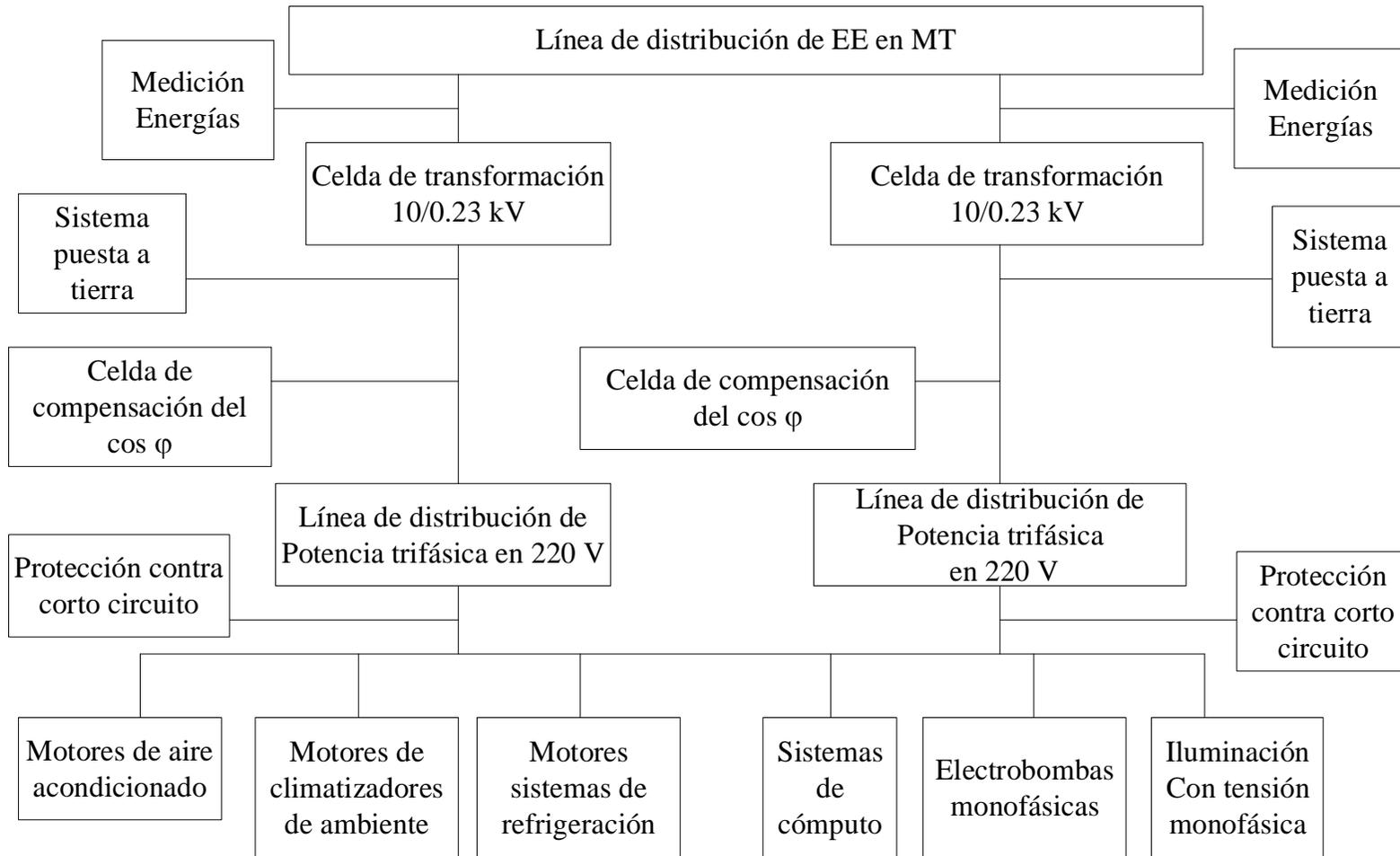


Figura 1: Diagrama de bloques actual del sistema eléctrico Templo mormón de Trujillo. Elaboración propia. Fuente: datos del templo mormón

Parámetros actuales, diciembre 2018 de operación Sistema eléctrico Templo Mormón Trujillo							
Ítem	Tensión trifásica	Intensidad de línea	Factor de potencia	Potencia activa	Ángulo de desfase U e I	Potencia reactiva	Potencia aparente
	U(V)	IL(A)	cos $\phi$	P(KW)	$\phi$ (°)	Q (KVAR)	S(KVA)
1	230	722.5	0.84	241.76	32.86	156.16	287.82
2	231.5	718.5	0.832	239.69	33.70	159.82	288.09
3	230.2	733	0.852	249.00	31.57	153.01	292.25
4	230.8	820	0.862	282.56	30.46	166.16	327.79
5	230.8	788	0.845	266.17	32.33	168.45	315.00
6	230.75	793	0.862	273.19	30.46	160.65	316.93
7	231.65	778	0.86	268.45	30.68	159.29	312.15
8	230	791	0.855	269.41	31.24	163.42	315.10
9	228.5	802	0.847	268.84	32.11	168.73	317.40
10	229.85	805	0.85	272.40	31.79	168.82	320.47
11	229.62	812	0.8475	273.69	32.06	171.41	322.93
12	230.85	812	0.862	279.86	30.46	164.57	324.66
13	230.74	799	0.875	279.40	28.95	154.59	319.31
14	228.85	803	0.886	282.00	27.63	147.58	318.28
15	230.8	821	0.85	278.96	31.79	172.89	328.19
16	230.15	818	0.842	274.55	32.65	175.91	326.07
17	231.62	806	0.862	278.72	30.46	163.90	323.34
18	231.55	788	0.855	270.20	31.24	163.90	316.02
19	231.42	814	0.847	276.35	32.11	173.44	326.27
20	232.52	821	0.846	279.72	32.22	176.29	330.64
21	232.5	817	0.85	279.65	31.79	173.31	329.00
22	233.4	819	0.864	286.05	30.23	166.70	331.08
23	230.5	802	0.8575	274.55	30.96	164.73	320.18
24	230.9	801	0.86	275.49	30.68	163.47	320.33

Tabla 1: Valores de los parámetros eléctricos del sistema eléctrico del templo mormón de Trujillo. Elaboración propia. Fuente: datos del templo mormón

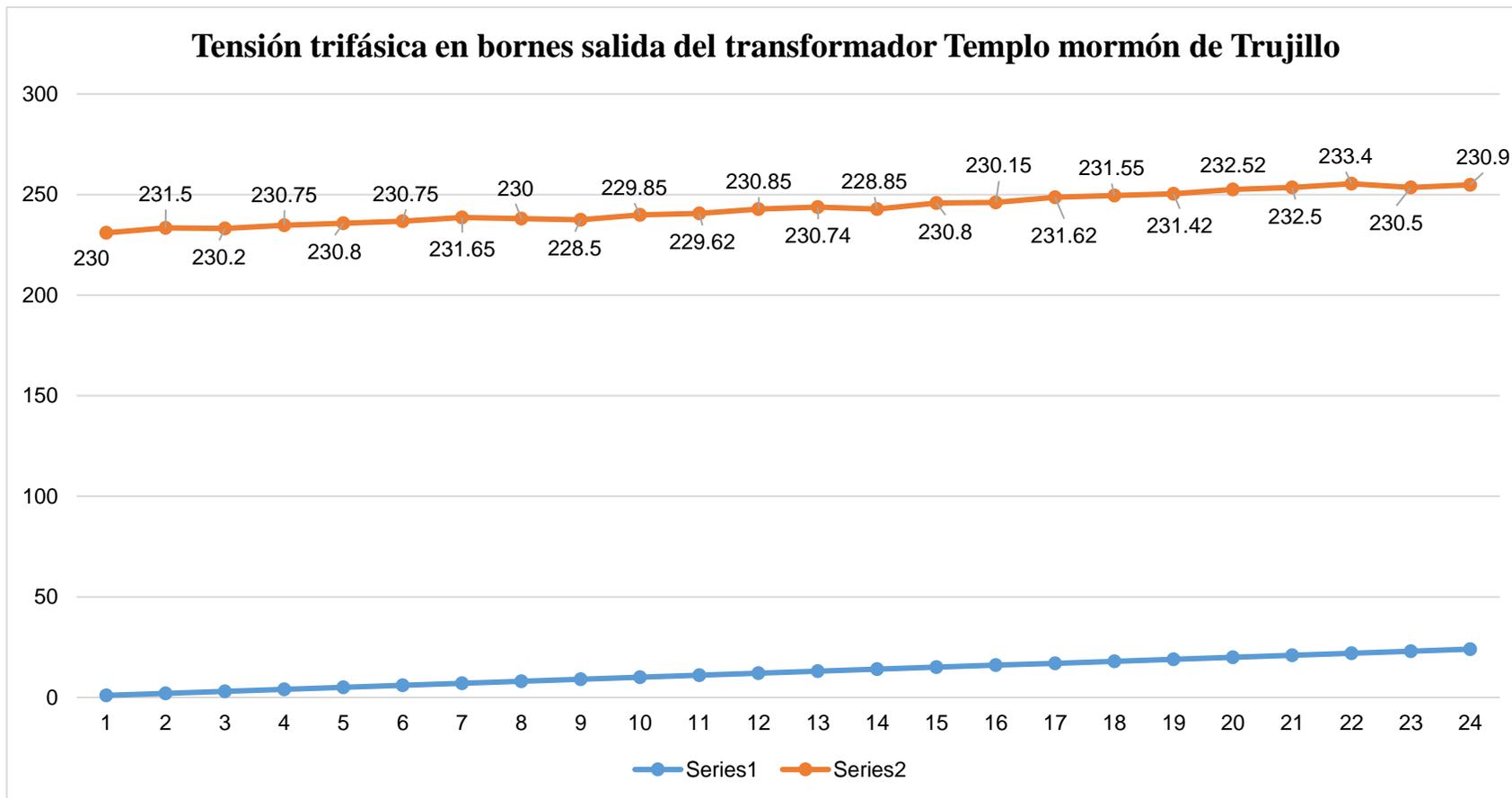


Figura 2: Valores de la tensión trifásica en bornes del transformador del sistema eléctrico del templo mormón de Trujillo. Elaboración propia. Fuente: datos del templo mormón

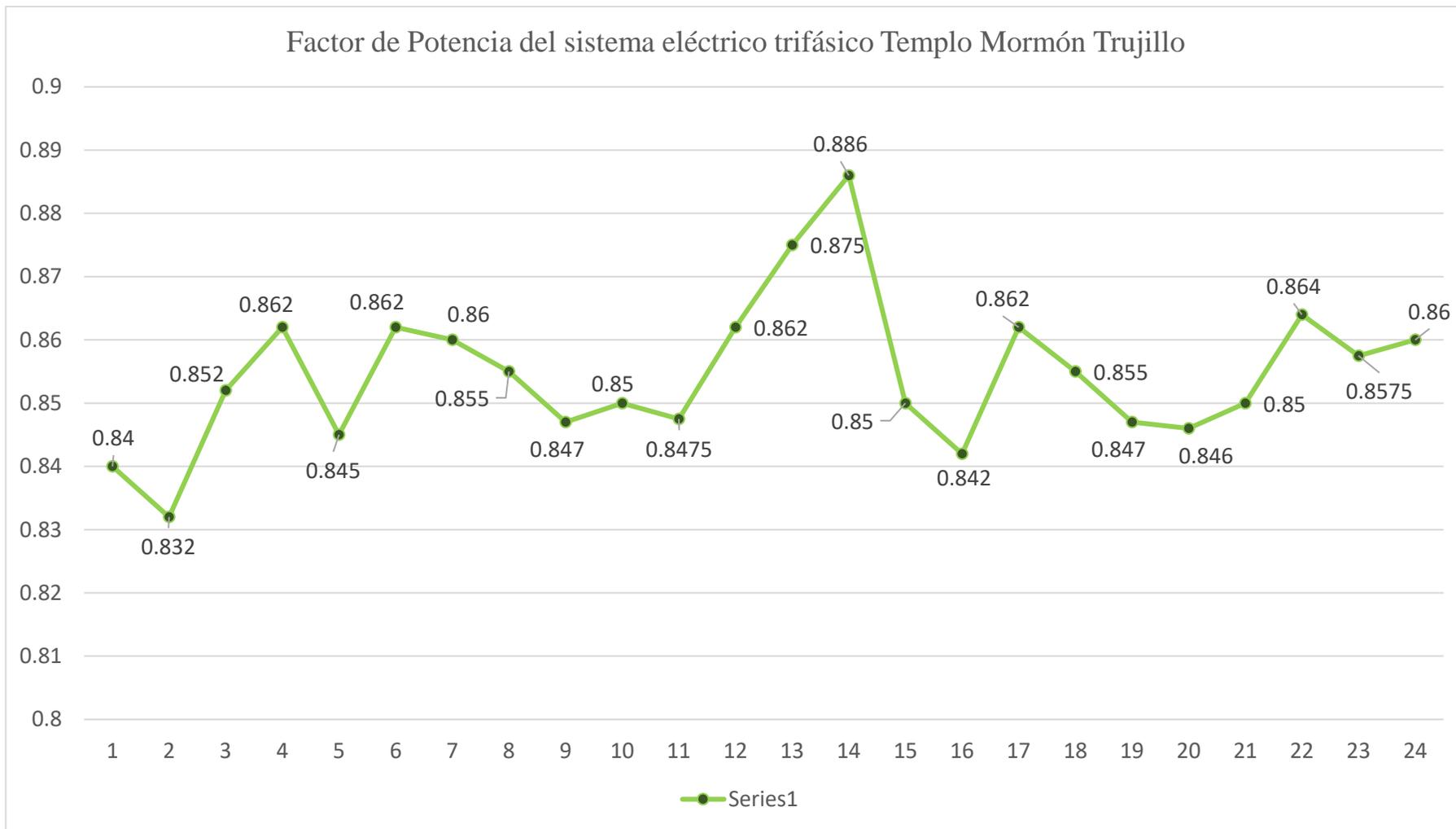


Figura 3: Factor de potencia del sistema eléctrico en el templo mormón de Trujillo. Elaboración propia. Fuente: datos del templo mormón

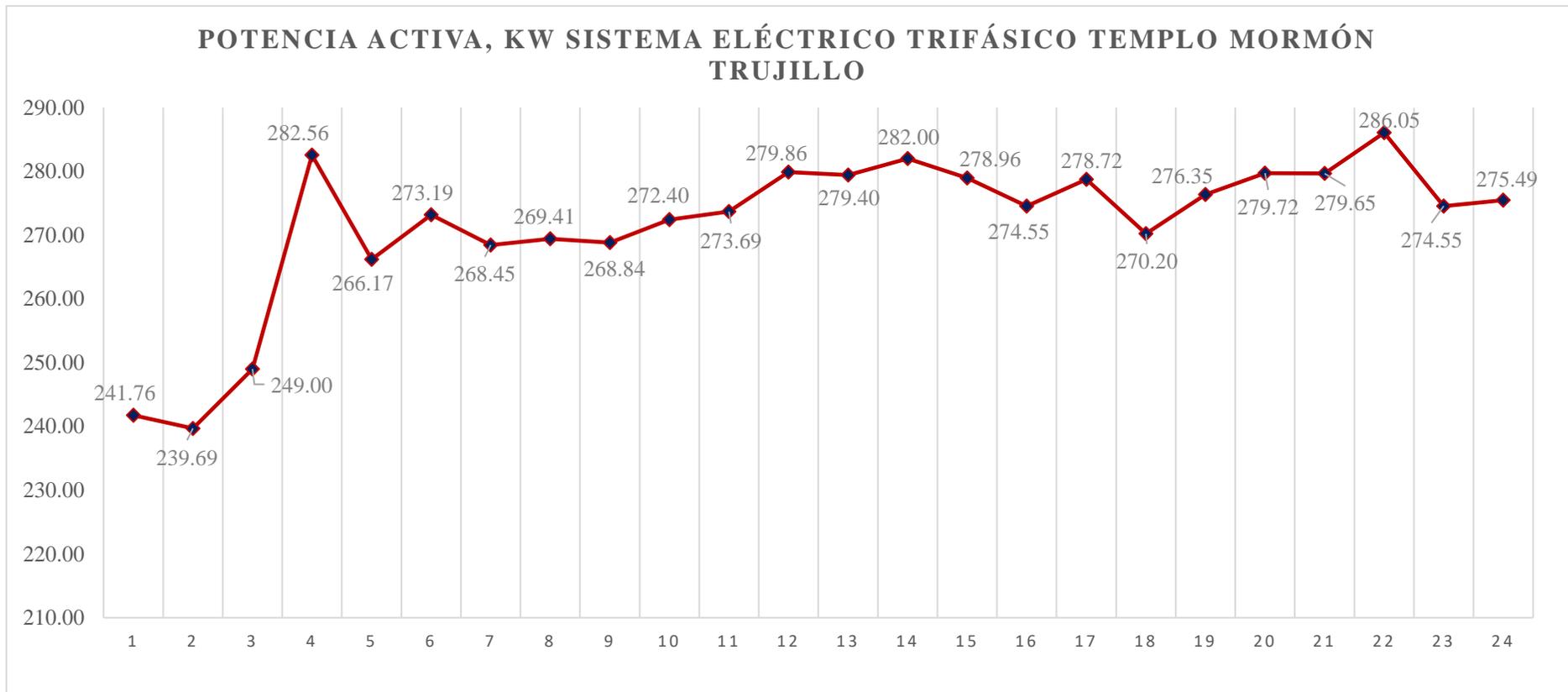


Figura 4: Potencia activa en KW, del sistema eléctrico del templo mormón de Trujillo. Elaboración propia. Fuente: datos del templo mormón

## **1.2 Trabajos previos**

Con respecto a cuales serían los beneficios que traerían las auditorías energéticas a las empresas se encontró una tesis en la que el autor estudia los cambios que se pueden efectuar en los “Diseños de los Sistemas eléctricos de Emergencia del Hospital Dr. Carlos Luis Valverde Vega”, (ALVARADO, 2014), al recopilar información histórico sobre los consumos de energía en los sistema eléctricos de la instalación y realizar un estudio energético pudo recopilar información sobre aquellos factores que afectan dicho consumo como por ejemplo: detecto que existían varias oportunidades para minimizar el consumo de energía en los disyuntores termo magnéticos mal dimensionados, tomacorrientes y luminarias que requerían cambio en tecnología, líneas de que habían sido diseñadas para un tipo específico, se les habían incorporado cualquier dispositivo , sin tomar en cuenta las características que los difiriere en cuanto a consumo eléctrico.

Además, se encontró por medio de esta auditoria el mal dimensionamiento de los cables principales que estaban mal dimensionados en relación al tamaño de carga permisible.

Podemos concluir que en este trabajo de auditoría energética las propuestas de mejoras en los sistemas de potencia se diseñan en base a una auditoria energética con el objetivo de aumentar capacidad, rendimiento y reducción de costos. Además, se tiene que considerar las propuestas de mejoras en base a un plan de mejora continua en que después del diagnóstico, se diseña que medidas técnicas o tecnológicas y operacionales se necesitaría para reducir costos en base a: (evaluar si se paga energía activa o reactiva), y si hay un consumo de energía reactiva se instala banco de condensadores, analizador de redes, o cualquier otro sistema que pueda reducir costo beneficio.

Dentro de la industria se tiene a un al sector de las grandes, medianas y pequeñas, empresas cuyo principal problema es el alto costo que se paga por el consumo de energía eléctrica la cual es utilizada para cargas como: Climatización, calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación, etcétera. Cuando estos consumos son muy elevados, generan menos oportunidades de competitividad con mercados externos e internos, debido a un sobre costo en los precios de sus productos. ( TRIVIÑO CELY, y otros, 2015)

A fin de demostrar la eficiencia en las auditoria energéticas (ESPINOZA SURCO, y otros, 2016), al efectuar las pruebas preliminares realizadas en su investigación se puede observar que hay un aumento en la caída de tensión, al trazar los consumo de energía en las barras de sus sistema eléctrico de potencia, y que se podría corregir usando banco de condensadores para disminuir los niveles de tensión permisibles. Además, mediante una

simulación proyectado al 2023 en sus sistemas eléctricos se prevé una caída de tensión de acuerdo a los resultados obtenidos de hasta un 6.6%, y 8.9% en sus sistemas eléctricos.

De este caso podemos determinar la información de los índices de uso de energía, y como estos nos van a permitir posicionarnos o como nos encontramos con respecto a los niveles recomendados.

Algunos de los beneficios que traería a las empresas el hacer una auditoria energética es primeramente detectar esas áreas de oportunidad donde se mejorará el consumo de energía y con esto sabremos si tenemos un mejoramiento financiero en la reducción de facturación por este concepto, pero lo más importante al reducir el consumo de energía tenemos una disminución en las emisiones de gases en efecto invernadero lo cual es una gran ventaja.

También se tiene que resaltar que en la empresa Agribands Purina contaba con problemas energéticos que traían problemas a la producción, esto se debía a que su eficiencia había disminuido y los pagos por servicios eléctricos se encontraban elevados, la solución a este problema era detectar cuáles son esas áreas de oportunidad donde poder realizar esas mejoras, es así que una auditoria energética hizo posible que se optimice la eficiencia y se disminuya el consumo de energía

Una vez Obteniendo los parámetros se comenzó a evaluar una auditoria energética con el propósito de realizar una implementación y mejoras del sistema con nuevas tecnologías que nos acerque no solo a una reducción de costos sino a una mejor eficiencia. (RODRÍGUEZ PAREDES, y otros, 2016)

Al igual que en los casos anteriores observamos en (HEREDIA NORIEGA, 2012), vemos que el primer paso en su línea de investigación consiste en recopilar información histórica sobre los consumos de energía del proceso o sistema de instalación pero además es importante que se pueda recopilar información sobre todos aquellos factores que están afectando dicho consumo como por ejemplo los niveles de ocupación del edificio, los niveles de distribución de la energía, la temperatura ambiente, etcétera, se tiene que recopilar toda la información que pueda afectar el consumo de energía dentro de la instalación como alega que existe un incremento en las cargas de la Planta INPLASTIC S.A, de aproximadamente 436.36 KW trifásica a 120/220V, que sirve para el accionamiento en los motores eléctricos cuando se adquiere maquinaria y equipos de servicios generales. Una vez obtenida la información se analizan los índices de uso de

energía y sabremos la manera de posicionarnos en función a cómo nos encontramos con respecto a los niveles recomendados y saber si necesitamos una ampliación como la que se tomó en los sistema de eléctricos de INPLASTIC S.A, cuando se dio un razonable incremento en el consumo, mejorando así su sistema energizado con un voltaje de 230V y con un factor de potencia de 0.9 que esta por el mínimo permisible para evitar sanciones por parte de la empresa eléctrica del sector. Finalmente sería que con esta información determinamos los índices de uso de energía y estos nos van a permitir posicionarnos como nos encontramos con respecto a los niveles recomendados con una demanda existente de 320 KW, incluido el consumo por incremento 436.6 KW, y considerando un factor de coincidencia de 0.9, es de 681.30 KW, en donde se mantendrá un factor de potencia de 0.97.

De la fuente (CAMARGO OCHOA, 2013), se puede analizar que los resultados de su investigación muestran a la subestación de potencia Marcona alimentará a desigual en sus cargas dentro de la sociedad minera Shougang, el que posteriormente abastecerá a su planta concentradora, lo cual aceptará con ello que su proveedor de energía eléctrica a la subestación El Hierro de 2x80/120MVA en 220/22,9 Kv que esta vendrá a ser la planta centralizadora y que esté respaldado que ofreciera de manera continua, y califique de acuerdo con los niveles recomendados de cálida. También se podría sugerir la instalación de sistemas de medición y de nueva cuenta, que se va a medir principalmente, energía, principalmente todas aquellas variables que afectan dicho consumo en los diferentes sistemas y se tiene que hacer bajo estudio tras analizar esta información de los medidores de energía ahora si ya vamos a poder identificar claramente todas las áreas de oportunidad que permitan regular de alguna manera el consumo de energía y posterior mente se prepara un reporte para evaluar la parte económica y técnica para todas estas áreas de oportunidad detectadas con el propósito de avalar la inspección de los potenciales deficientes en salida y en fugas de diferentes tipos de corrientes de falla que pueden ocurrir en la subestación, así como se ha planeado la instalación de electrodos de Puesta a Tierra en la respectiva malla de la instalación, logrando que la fugas en corrientes de falla a tierra sea más rápida, logrando que la corriente regrese con normalidad.

Los ahorros se pueden lograrán como resultado de la implantación de los programas de administración de energía pero como mencionamos en un principio las auditorías energéticas son el primer paso para la implementación de estos programas y podemos decir que los ahorros que se logren son del orden del 5% al 20%, dependiendo de varios

factores como por ejemplo el estado actual de los equipos en operación y la forma como estos se operan pero en general es entre un 5% y un 20%, son ahorros alcanzables dentro de los programas de administración de energía. El autor en su tesis (TORRES GUTIERREZ, 2017), logró aumentar la Eficiencia Energética en el Sistema Eléctrico Chungar – Volcán con una disminución del perfil en la demanda de hasta 0.6 MW, con el procedimiento sugerido por parte de la ubicación óptima de los condensadores es incrementando un análisis combinado en la compensación de las cargas en baja y media tensión en la parte de distribución disminuyendo de esta forma el factor de potencia. Además, con estas mejoras se obtuvieron un factor de potencia de 91.9% en sus barras de 50kV y 93.4 en barras de 22.9kV. Dentro de sus logros tenemos:

- Diminución por pérdidas de potencia de 842 a 650 KW.
- El financiamiento de la obra tuvo un costo de US\$ 517,500.00, logrando obtener un ahorro anual de US\$/.158,571.1, con un retorno del capital de inversión de cuatro años

Además, se mejoró también las tensiones en las barras del sistema, evitando compeler el voltaje en todas las barras. Mejorando de esta manera entre 96 y 103 % Vn en todas las barras, considerando las exigencias del CNE, NTCSE, y estándares internacionales como el IEC, que solicitan 95 – 105 % Vn.

### **1.3 Teorías relacionadas al tema, (Carretero Peña Antonio, 2015)**

Las auditorías eléctricas son una práctica que realizan las empresas tal cual como un auditor en materia financiera o contable el principal objetivo de una auditoría técnica es la de desmembrar el sistema eléctrico en todas sus áreas primarias para posteriormente identificar todas las debilidades para luego plantear las acciones de corrección para así de esta manera aumentar la confiabilidad, mantenibilidad eficiencia y seguridad de su sistema eléctrico adicionalmente es importante acotar que es habitual que algunas empresas son comprometidas en los aspectos de seguridad del personal y de sus sistemas eléctricos.

Las normas de seguridad eléctrica fueron creadas para preservar la vida humana, equipos, y las propiedades, algunas de las causas que se pueden encontrar dentro de una instalación eléctrica son aquellas que originan un peligro dentro de las mismas, y esto puede ser por un mal dimensionamiento de los conductores o las fallas comunes que se puedan originar en el sistema como, por ejemplo: las sobrecargas y corto circuito. La verificación que se lleva por medio de las auditorias determina cual estado de cómo nos encontramos y cuál es la capacidad del personal y de los equipos.

La importancia que tienen las auditorías eléctricas es que al realizarlas y se apliquen las normas establecidas se puede implementar una protección segura, las buenas prácticas eléctricas están condicionados a la aplicación y al respeto de las normas técnicas.

En su tesis de investigación según normativa NFPA 70B (Carretero Peña Antonio, 2015), señala que las buenas prácticas en seguridad eléctrica y un buen plan de gestión de auditoría energética dentro de los centro de trabajo y teniendo, como referencia las áreas que se conciderán en el manual de auditorías tenemos a algunas muy relacionadas según la norma peruana que se basa en la realización de un análisis energético en la edificación para estimar el potencial de ahorro energético y evaluar las mejoras para posteriormente constituir un proyecto de operación donde se pueda realizar mejoras continuas.

La aceptación de principios en la realización de auditorías energéticas en entidades del sector público según resolución ministerial número (186-2016-MEM/DM). Señala cuales son las etapas para una auditoria:

Una de las primeras etapas sería la selección de la información preliminar, es en esta etapa donde se tiene que tomar los resultados de la recopilación de información y las características de las dimensiones o espacio físico a auditar que podrían ser según norma peruana las siguientes: (MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, Lima, 16 de mayo de 2016):

- Dimensión del área construida y tiempo de vida del edificio.
- Número de trabajadores y usuarios (incluido visitantes).
- Número de actividades que se realizan.
- Cantidad de área, oficinas o departamentos.
- Horario de trabajo y horario de atención al público.
- Cantidad de personal involucrado en el tema energético
- Plano unifilar de distribución eléctrica.
- Plano térmico de las instalaciones
- Manuales de operación y planes de mantenimiento
- Otra información relevante, como renovaciones, ampliaciones futuras entre otros.

En sus objetivos de las auditorías eléctricas (Carretero Peña Antonio, 2015), plantea que son la empresas quien deben asumir el reto de programar sus auditorías energéticas como parte un programa de seguridad eléctrica donde tengan que intervenir la verificación

objetiva de la documentación cumpliendo con las normas y compromisos que cada empresa debe tener como parte de una cultura de prevención de riesgos.

Parte fundamental es la revisión de Facturación donde se determina si existe consumo de energía reactiva o activa para determinar posteriormente si existen cargas estáticas o presencia de armónicos donde nos determinarán la calidad de energía con la que se cuenta dentro de una instalación eléctrica. Además se tiene que considerar la facturación de todos los consumos energéticos utilizados como: electricidad, glp, combustibles etcétera, se recomienda tener esta información de facturación del suministro eléctrico de por lo menos de un año, precio y el tipo de combustible utilizado.

El propósito es saber cuánto es el consumo total de los energéticos en las empresas, así como su máxima demanda de potencia ( KW), y su máxima demanda en consumo de energía por hora (KW/h); así como también los niveles de consumo por tipo de combustible y demás energéticos (solar, aeólica, biológicas, etcétera).

Luego de haber seleccionado cuales serán las áreas, y los equipos que consumen energía se procederán a medir partiendo de acuerdo a las prioridades que se hayan tomado en cuenta como por ejemplo: transformadores de tensión, grupos electrógenos, calentadores de agua, sistema contra incendios, motores, banco de baterías, iluminación, entre otros. Luego se procede a instalar los equipos de medición y después reunir toda la información del consumo de energía que hay dentro de casa sistema o modulo y realizar un diagrama de cargas comparativo con la facturación de energía eléctrica, teniendo en cuenta el factor de potencia, la máxima demanda (KW), y el consumo de energía activa o reactiva (KW/h y KVAR/h), además de los consumos de combustible y energéticos que puedan haber para ser evaluados.

### **1.3.1 Tipos de cargas eléctricas:**

Según el tipo de cargas conectadas dentro de los sistemas eléctricos está el factor de potencia que puede estar en retraso, en adelanto o igual a 1, así las cargas se clasifican en:

**1. Cargas resistivas:** El desfase entre intensidad de corriente y la tensión es cero (ángulo de fase  $\varphi = 0$ ,  $\cos \varphi = 1$ ). Sus partes inductivas y capacitivas son cero.

La resistencia óhmica R de una carga de corriente alterna, no inyecta desfase entre la tensión aplicada y corriente. (Oliva, 2009)

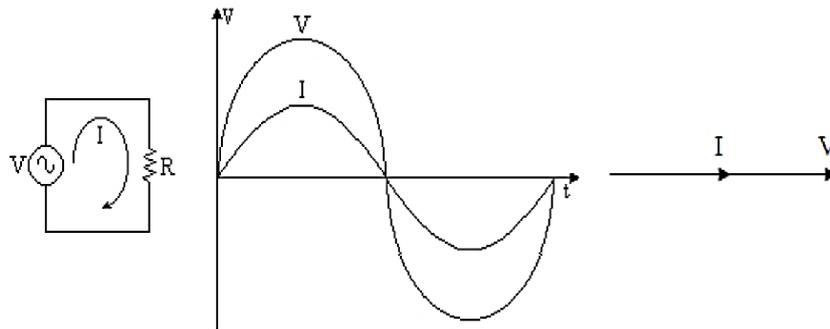


Figura 5: Se muestra la onda de voltaje y de corriente dentro de una carga resistiva.

**2. Cargas inductivas:** Si el circuito conectado entre bornes es inductivo puro, la tensión y la corriente están desfasadas  $90^\circ$ , la corriente esta retardada  $90^\circ$  en relación a la tensión. Se tiene un factor de potencia  $\cos\phi$  retrasado. La potencia de los circuitos inductivos es la reactiva ( $Q$ ). (Transformadores, motores de inducción, lámparas fluorescentes, máquinas soldadoras). (Nilson, 2005)

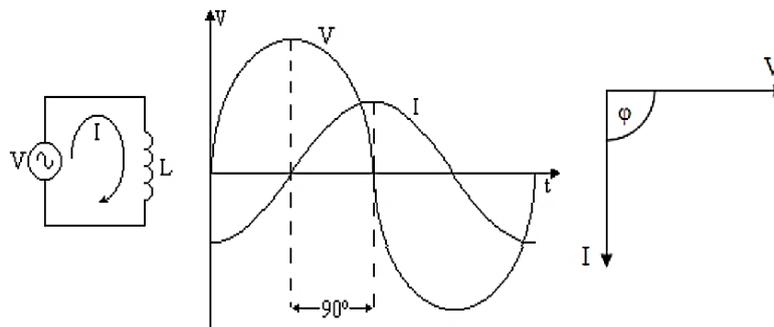


Figura 6: Onda de voltaje y corriente en carga una carga Inductiva.

### 3. Cargas capacitivas:

Si el circuito conectado a los bornes es capacitivo puro, la tensión y la corriente están desfasadas  $90^\circ$ , la corriente está adelantada en relación a la tensión. Se tiene un factor de potencia  $\cos\phi$  en adelante. (Banco de capacitores, motores síncronos). (Nilson, 2005). Las cargas capacitivas ocasionan energía reactiva en dirección inversa a la consumida en la construcción, en voltiamperio reactivo (Var).

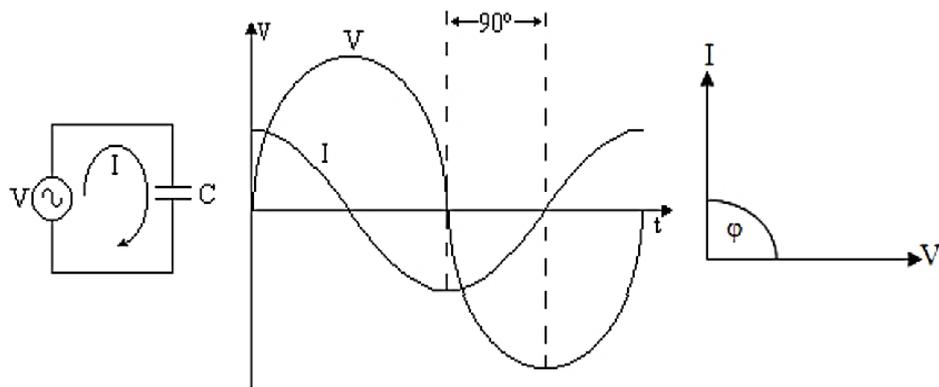


Figura 7: Onda de voltaje y corriente en carga, una carga capacitiva.

Tipo de carga	Cos $\phi$
<b>Motor de inducción cargado al:</b>	
0%	0.17
25%	0.55
50%	0.73
75%	0.8
100%	0.85
Foco incandescente	1
Foco fluorescente (no compensada)	0.5
Foco fluorescente (compensada)	0.93
Horno con resistencia	1
Horno por inducción (compensado)	0.85
Horno de tipo eléctrico	0.85
Máquina de soldar de tipo resistencia	0.8 a 0.9
Máquina de soldar por arco eléctrico	0.5
Horno de arco	0.8

Tabla 2: Cuadro de valores del factor de potencia ( $\cos \phi$ ) para especificar las cargas comunes en componentes. Elaboración propia. Fuente: Schneider Electric

### 1.3.2. Potencia eléctrica trifásica:

Relaciona los tres tipos de consumo de potencia, activa, reactiva y la aparente:

#### 1. Potencia activa (P):

Viene hacer la potencia útil que se utiliza cuando un equipo eléctrico ejecuta su trabajo. Dicho de otra manera es la energía que entra a la red pasiva y que se queda en ella, fluye hacia los componentes disipadoras de la red eléctrica (Stevenson. 1996).

Esta potencia es la contratada con la empresa suministradora de energía eléctrica. La energía total consumida por los equipos eléctricos, se registran en medidores de energía instalados por la empresa suministradora de electricidad.

Para sistemas eléctricos trifásicos, se aplica la siguiente ecuación: (Mayer, 1985)

$$P = \sqrt{3}. U. I. \cos \phi \dots \dots \dots (1.1)$$

Dónde:

- I: Corriente de línea (A)
- U: Voltaje de línea (V)
- P: Potencia activa (W)
- $\cos\phi$ : Factor de potencia

#### 2. Potencia reactiva (Q):

Los dispositivos eléctricos al tener bobinas, requieren energía reactiva para crear campos magnéticos indispensables para su operación. Originando un desfase que empieza en la onda de tensión y la corriente. Si se realiza este tipo de energía la tensión y la corriente resultarían en fase y el  $\cos\phi$  estaría igual a 1. (Stevenson. 1996).

En los sistemas trifásicos, se usa la siguiente ecuación: (Mayer, 1985)

$$Q = \sqrt{3}. U. I. \text{Sen } \phi \dots \dots \dots (1.2)$$

Dónde:

- U = Voltaje de línea (V)
- I = Corriente de línea (A)
- Q = Potencia reactiva (Var)
- $\text{Sen}\phi$  = Factor reactivo

La energía reactiva excedente en las líneas transformadoras y generadoras que no están produciendo un trabajo provechoso, su consumo se penaliza, por la suministradora de energía eléctrica, es necesario compensarla. (Universidad del Atlántico. Colombia).

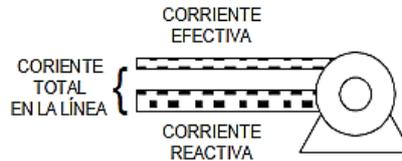


Figura 8: Motor de inducción sin compensación, del factor de potencia

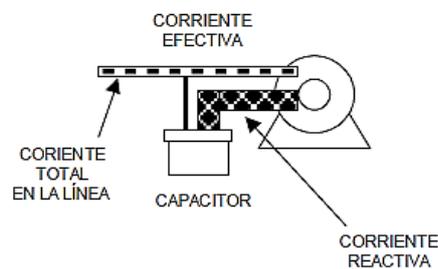


Figura 9: Motor de inducción con compensación del factor de potencia

### 3. Potencia aparente (S):

La potencia aparente solo tiene significado en los circuitos de corriente alterna, ya que los sistema de generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica son fundamentalmente en corriente alterna, el conocimiento de potencia aparente es esencial para analizar el consumo de potencia y por lo tanto la energía en la gran mayoría de las cargas eléctricas residenciales, comerciales e industriales, podemos visualizar la potencia aparente como la potencia total que se está entregando al circuito de la red de distribución eléctrica, y su unidad de medida es el voltiamperio. (Alexander, 2006).

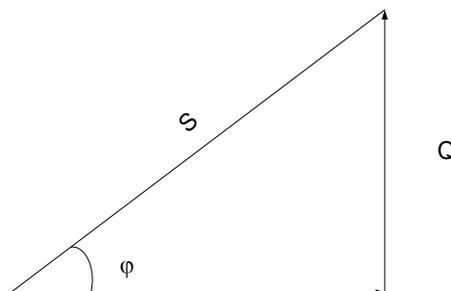


Figura 10: Triángulo de potencias eléctricas.

El ángulo entre las potencias activa y aparente se representa por la letra  $\phi$ .

$$P = S \cos \theta \dots\dots\dots (1.3)$$

El valor del  $\cos \theta$  es llamado factor de potencia.

El factor de potencia es una función de las potencias activa y reactiva.

$$S^2 = P^2 + Q^2 \dots\dots\dots (1.4)$$

Además del  $\cos \phi$ , la tangente del ángulo  $\phi$  es también usada: (Harper, 2006).

$$\tan \theta = \frac{Q}{P} \dots\dots\dots (1.5)$$

**1.3.3 Triángulo de potencias de un circuito eléctrico:**

Es normal representar S, P y Q en un triángulo de potencias, que comprende cuatro elementos: la potencia aparente, la potencia activa, la potencia reactiva y el ángulo de factor de potencia. Según la figura No 6, si S se ubica en el primer cuadrante, se tiene carga inductiva y un  $\cos \phi$  atrasado; si S se sitúa en el cuarto cuadrante, la carga es capacitiva y el  $\cos \phi$  está adelantado. (Alexander, 2006).

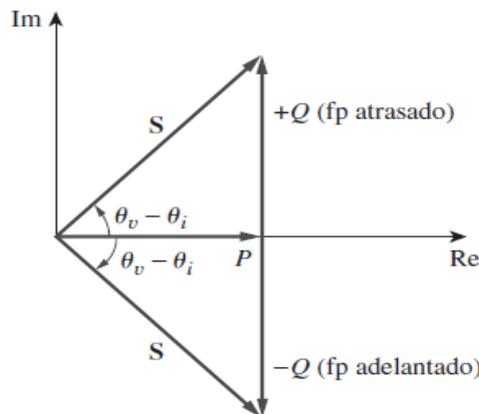


Figura 11: Triángulo de potencia con factor de Potencia atrasado y adelantado.

**1.3.4. Factor de potencia (Cos  $\theta$ ):**

Al multiplicar una cifra por otra es lo que va a determinar la potencia verdadera que un circuito está consumiendo, el factor de potencia es un número entre cero y uno. El Factor de potencia viene hacer el coseno del ángulo en desfase que forma la corriente con la tensión y se produce en corriente alterna. (Oliva, 2009).

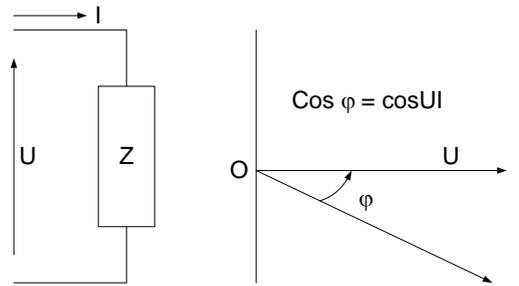


Figura 12: Factor de potencia igual al ángulo de desfase entre la tensión y corriente.

Es la relación entre la resistencia y la impedancia de una inductancia o devanado de corriente alterna. (Oliva, 2009).

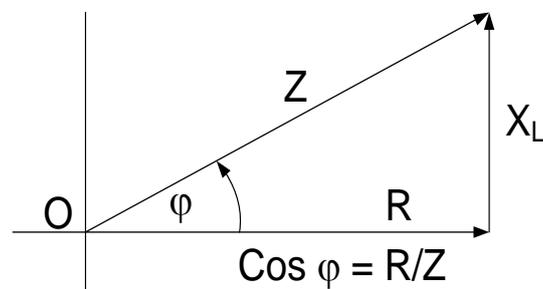


Figura 13: Factor de potencia igual a la relación entre la resistencia e impedancia.

Es el vínculo que hay entre la potencia activa medida por un vatímetro y la potencia aparente medida mediante el producto de la lectura por un voltímetro y un amperímetro de corriente alterna. En la figura 11 se aprecia esta definición:

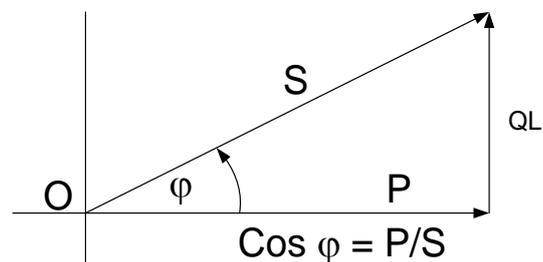


Figura 14: Factor de potencia igual a la relación entre potencia activa y aparente.

El factor de potencia es la proporción entre la potencia real disipada en la carga y la potencia aparente de la carga. (Alexander, 2006).

$$f_p = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (1.6)$$

El  $\cos\phi$  es un señalador del perfecto aprovechamiento de la energía eléctrica y un  $\cos\phi$  cercano a la unidad significa que la energía reactiva es pequeña relacionada con la energía activa, uno de  $\cos\phi$  bajo indica la condición opuesta. (Schneider electric. 2010).



Figura 15: Indicador del factor de potencia. **Fuente:** Electricidad industrial GT.

#### 1.3.4.1 Problemas que ocasiona la energía reactiva:

Aumentan las pérdidas por efecto Joule:

- En los conductores eléctricos entre el medidor y el usuario.
- En bobinados de los transformadores de distribución.
- En mecanismos de operación y protección.

Aumenta el descenso del voltaje, reduciendo el abastecimiento de potencia a cargas; las que sufren reducción de su potencia en su salida. Este descenso del voltaje afecta a:

- Los embobinados de los transformadores de distribución.
- Los conductores de alimentación.
- Al servicio de protección y control.

Los establecimientos no pueden usar a toda su capacidad que se les entrega porque el resultando sería un alto costo de depreciación. Esto es muy importante en el caso de transformadores de distribución ya que podría pagarse penalidades. Estas desventajas no solo afectan al productor, también a la empresa distribuidora de energía eléctrica, debiendo penalizar al usuario, haciendo que el mismo pague más en su consumo de electricidad. (Harper, 2006).

#### 1.3.4.2 Compensación de la energía reactiva:

Dentro de los equipos y las instalaciones eléctricas se transforma energía eléctrica en otros tipos de energía. Una parte aprovechable de la energía transformada, se obtiene a partir de la potencia activa; dando lugar a una reactancia inductiva peligrosa, haciendo que por los cables circule una corriente más intensa. La mayor parte de las cargas en

motores, transformadores, alternadores, etcétera., son inductivas y actúa con un factor de potencia muy pequeño y atrasado.

El proceso de aumentar el factor de potencia sin cambiar la tensión y la corriente en la carga original se conoce como modificación del factor de potencia.

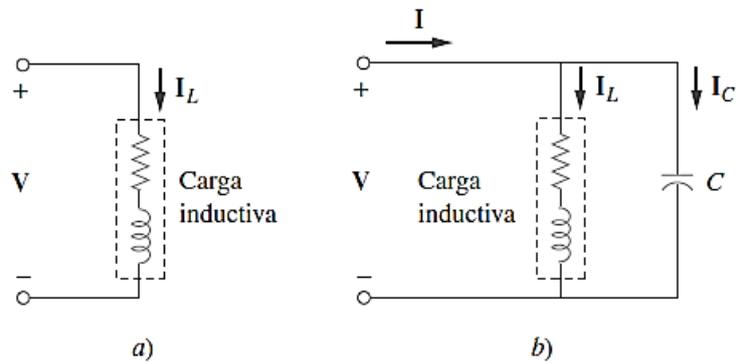


Figura 16: Carga inductiva original (a) y carga inductiva con factor de potencia mejorado (b).

El proceso de incluir componentes reactivos para llevar el factor de potencia lo más cercano a la unidad se denomina modificación del factor de potencia. Como la gran parte son cargas inductivas, el proceso incluye introducir elementos con características capacitivas, para mejorar el  $\cos \varphi$ . (Boylestad, 2004).

La corrección del  $\cos \varphi$  se examina considerando el triángulo de potencia de la figura 13. Si la carga inductiva original tiene la potencia aparente  $S_1$ , entonces:

$$P = S_1 \cos \theta_1 \dots \dots \dots (1.7)$$

$$Q_1 = S_1 \sin \theta_1 = P \tan \theta_1 \dots \dots \dots (1.8)$$

P: Potencia activa (w), Q1: Potencia reactiva inicial

S1: Potencia aparente inicial,  $\cos \theta_1$ : Factor de potencia inicial

$\sin \theta_1$ : Factor reactivo inicial,  $\theta_1$ : Angulo de desfase antes de la compensación.

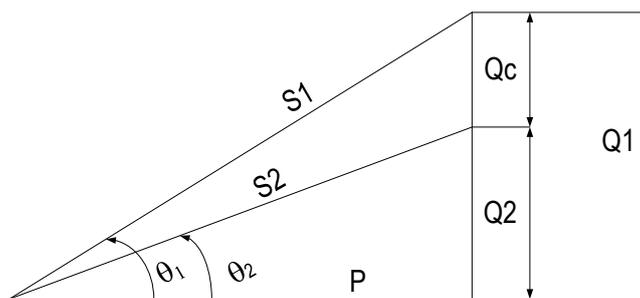


Figura 17: Triángulo de potencia que ilustra la Corrección del factor de potencia.

Si el propósito es incrementar el factor de potencia de  $\cos \theta_1$  a  $\cos \theta_2$ , sin cambiar la potencia real (es decir  $P = S_2 \cos \theta_2$ ), la nueva potencia reactiva es:

$$Q_2 = P \tan \theta_2 \dots\dots\dots (1.9)$$

La reducción de la potencia reactiva es causada por el capacitor conectado en paralelo con la carga:  $Q_c = Q_1 - Q_2 = P(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \dots (1.10)$

- $Q_c$ : Potencia reactiva a compensar (Var),
- $Q_1$ : Potencia reactiva 1 (Var)
- $Q_2$ : Potencia reactiva 2 (Var),  $P$ : Potencia activa (W).
- $\theta_2$ : Angulo de desfase después de la compensación.

La capacitancia en paralelo requerida se determina como: (Alexander, 2006).

$$C = \frac{Q_c}{\omega V^2} = \frac{P(\tan \theta_1 - \tan \theta_2)}{\omega V^2} \dots\dots\dots (1.11)$$

- $C$ : Capacitancia (uf)
- $Q_c$ : Potencia reactiva a compensar (Var)
- $V$ : Tensión de línea (V)
- $\omega$ :  $2\pi f$
- $P$ : Potencia activa (W).

### 1.3.4.3 Tipos de Compensación de energía reactiva

Los bancos de capacitores suministran la potencia reactiva de tipo capacitivo necesaria, se instalan bancos fijos o bancos formados por módulos fijos o desconectable. (Harper.2006).

### 1.3.5. Aplicación de banco de capacitores en sistemas eléctricos:

Existen diversas realizaciones técnicas de los dispositivos de compensación, entre ellas distinguimos: (Müller, 1984).

#### 1.3.5.1 Compensación individual:

La compensación individual se aplica en aquellas cargas inductivas sueltas que deben compensarse directamente en conexión serie o paralelo. (Müller.1984).

Los condensadores se conectan directamente en los bornes de cada receptor y se procede a utilizar la compensación individual cuando la potencia del motor es significativa esto se da cuando todos los componentes del sistema logran la potencia final o total en la instalación. Se debe utilizar compensación fija para compensar el transformador de potencia, en vacío y a plena carga (Schneider electric.2010). Sus características son:

- Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.
- Optimiza toda la instalación eléctrica; pero es la solución más cara.
- Técnicamente, es la solución ideal, ya que la energía reactiva se produce en el mismo lugar en que se consume.
- Las pérdidas por efecto Joule se disminuye en todos los conductores eléctricos. (Schneider electric. 2010).

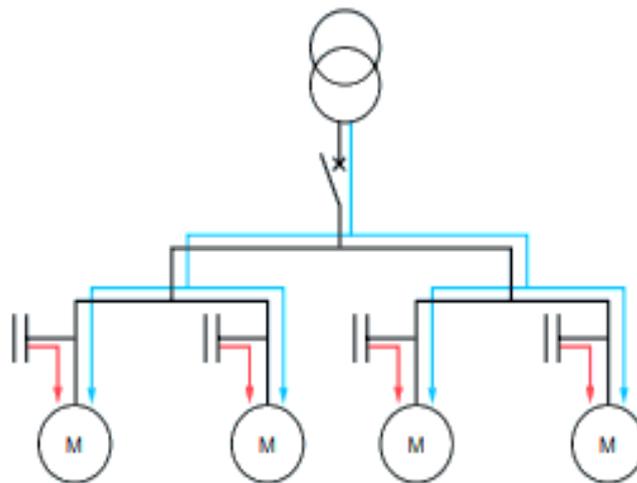


Figura 18: Compensación individual. **Fuente.** Catálogo Legrand.

### 1.3.5.2 Compensación grupal del $\cos\phi$ :

Se emplea cuando los grupos de cargas asociados se nivela o difiere, logrando así una conexión simultánea y se requiere una cantidad de reactiva constante.

#### Características:

- Elimina las penalizaciones por los consumos excesivos de energía reactiva.
- Mejora los resultados posibles en una gran parte de la instalación, la corriente reactiva no se traslada entre los niveles 1 y 2 (figura nro. 16)
- La corriente reactiva ( $I_r$ ) está presente en la instalación desde el nivel 2 hasta los receptores.
- Las pérdidas por efecto Joule en los cables se reducen.

Se compensa grupal cuando la instalación es mayor y los patrones de carga con respecto al tiempo difieren entre una parte de la instalación y otra. (Schneider electric. 2010).

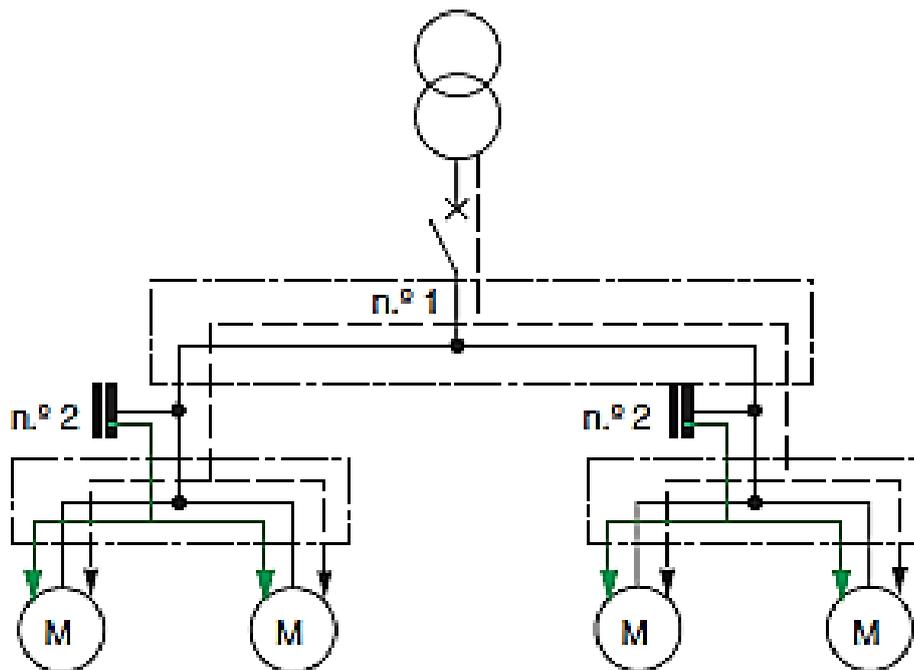


Figura 19: Compensación por grupos. Fuente. (Schneider electric. 2010).

### 1.3.5.3 Compensación central:

Dentro de la compensación central en la energía reactiva en las grandes instalaciones eléctricas se usan equipos reguladores de potencia reactiva. Los condensadores se añaden o desconectan con reguladores electrónicos de Q. (Müller, 1984).

Las baterías de condensadores que son con accionamiento automático tienen una aceptación más fácil para realizar la compensación esto se hace para que coincida con el nivel de carga. (Schneider electric. 2010). La potencia total de la batería de condensadores se conecta en la acometida de la instalación y que estén cerca de los tableros de distribución.

La potencia total de la batería se comparte en forma bien distribuida en celdas conectadas con un regulador automático que realiza los cambios de conectar o desconectar en cada momento, según el consumo de energía reactiva instantáneo. (RTR Energía.2012).

### Características:

- Se puede utilizar la máxima carga de los capacitores.
- Regulación del voltaje en el sistema eléctrico con mayor precisión.
- acondicionamiento de la potencia en las baterías de condensadores según los requerimientos.
- Los problemas que se dan por pérdidas por efecto Joule en las baterías no quedan disminuidos. (RTR Energía.2012).

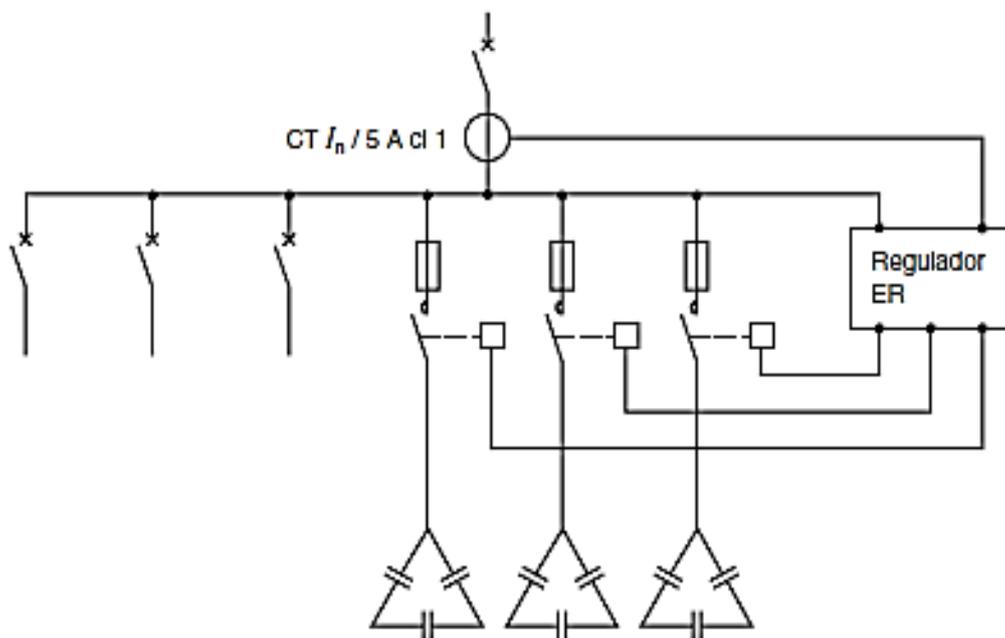


Figura 20: Compensación central o automática. **Fuente:** Schneider electric. 2010

### **1.3.6 Ventajas de compensar la energía reactiva: (Schneider electric.2010).**

#### **1.3.6.1 Reducción en el recibo de electricidad:**

Las empresas eléctricas regularizan y sancionan el uso de energía reactiva con el objetivo de motivar su cambio.

#### **1.3.6.1 Aumento de la potencia disponible:**

Un factor de potencia alto mejora el rendimiento de los componentes en una instalación eléctrica. Las instalaciones que usen condensadores en los sistemas eléctricos minimiza el consumo de energía reactiva entre la fuente y los receptores.

#### **1.3.6.2 Cálculo para disminuir la sección de los conductores:**

Al montar y equipar los componentes que se usaran en la corrección del factor de potencia en una instalación eléctrica nos ayudará también a reducir la sección de los conductores y tenemos como resultado que la intensidad de la potencia activa es menor.

#### **1.3.6.3 Reducción de las pérdidas:**

##### **1) Disminución de pérdidas por efecto Joule**

El montaje de condensadores capacitores reduce las pérdidas por efecto Joule, esto se debe a que reduce el acaloramiento en las líneas eléctricas y los transformadores.

Estas pérdidas se dan como energía consumida (KW-h) en el contador. Dichas pérdidas son relacionadas a la intensidad elevada al cuadrado.

Se puede determinar con la siguiente fórmula la disminución de pérdidas en función del  $\cos \varphi$  de la instalación, las pérdidas se dan en vatios (W).

$$\frac{\text{Perdidas finales}}{\text{Pérdidas iniciales}} = \left( \frac{\cos \varphi \text{ inicial}}{\cos \varphi \text{ final}} \right)^2 \dots\dots\dots(1)$$

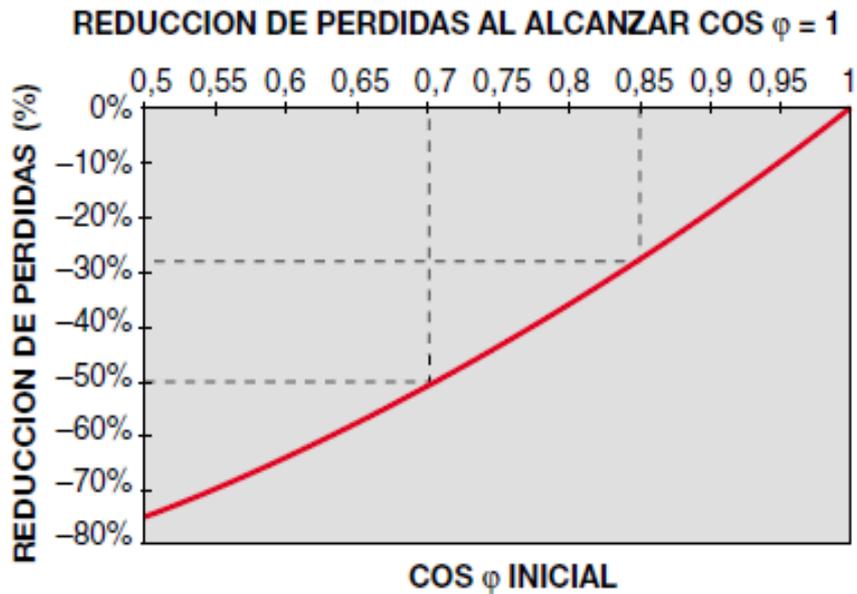


Figura 21: Cuadro especificando el decrecimiento de pérdidas por efecto Joule. **Fuente.** Schneider electric

## 2) Reducción de las caídas de tensión:

El montaje de banco de condensadores origina una disminución en las caídas de tensión como se mencionó anteriormente y su conexión está ligado al equipo de compensación.

### 1.3.7 Compensación fija en motores asíncronos:

Un motor asíncrono funciona por el principio de operación de un campo magnético giratorio al tener un campo rotatorio el rotor es empujado y atraído por los polos cambiantes del estator es decir es rotor induce una fuerza electromagnética al rotor para producir una torsión que mueve al rotor. Estos motores pueden llegar a absorber un valor aproximado de 90% de energía reactiva (KVAR). Dentro de este tipo de motores se tiene que tener las siguientes precauciones como evitar la autoexcitación, regulación constante de las protecciones y no compensar motores con arrancador. (Schneider electric.2010).

#### 1.3.7.1 Regulación de las protecciones:

Cundo se acciona un motor para analizar la compensación fija se tiene como resultado que la intensidad eficaz absorbida por el conjunto que lo componen el motor y el

condensador es menor que antes logrando de esta manera reforzar las protecciones del motor y se obtiene considerando la siguiente formula:

Factor de reducción (FR)

$$FR = \frac{\text{Cos } \varphi \text{ inicial}}{\text{Cos } \varphi \text{ final}}$$

### **Compensación de motores con arrancador:**

Al accionar un motor con la ayuda de algún dispositivo como resistencias, inductancias, estrella triángulo o auto transformadores, es aconsejable que los condensadores se conecten después del Arranque. Se debe obviar una compensación fija a cambio se debe utilizar condensadores accionados por contactores.

### **Autoexcitación en motores asíncronos:**

Al accionar los motores que partan desde su punto de inercia estos giran de tal forma que su acción interrumpe la alimentación por la inercia de la carga. Al compensar directamente en los bornes del motor, se genera un flujo de corrientes capacitivas por el estator y un campo magnético rotatorio en el rotor que actúa a lo largo del eje y en igual dirección que el campo magnético decreciente. (Schneider electric.2010).

El trabajo que realiza el motor hace que aumente en gran manera la corriente en el estator y sus terminales, originando que el motor se comporte como un motor asíncrono, esto es porque se origina un fenómeno llamado autoexcitación (Limitación de la potencia de compensación). (Schneider electric.2010). Si se desea impedir la autoexcitación lo que nos ayudará será la compensación fija accionada por un contactor electromagnético. Para hallar la potencia reactiva que se desea integrar se calcula de la siguiente manera: (Schneider electric.2010).

$$Q_M \leq 0.9 * I_o * U_o * \frac{\sqrt{3}}{Q_M} \leq 2P_o(1 - \text{Cos } \varphi_i) \dots (1.14)$$

$Q_M$  = Potencia fija máxima a instalar (VAr)

$I_o$  = Intensidad en vacío del motor

$U_0 =$  Tensión nominal (V)

$P_0 =$  Potencia nominal del motor (KW)

$\text{Cos } \phi_i =$  Coseno  $\phi$  inicial.

### **Compensación fija accionada por Contactor:**

Ayuda para precaver peligros de aumento de la energía en los motores, logrando así una compensación de la potencia reactiva necesaria. Estas compensaciones se tienen que montar antes que el dispositivo que acciona al motor.

El interruptor automático del condensador se tiene que instalar junto con su sistema de protección de cada motor de tal forma que al desactivarlos origine la apertura o enclavado del dispositivo de protección, logrando que el condensador quede inactivo.

### **Cálculo de la potencia a instalar:**

Sabiendo que necesitamos de un cálculo del consumo de energía eléctrica y para hacer una mejora del rendimiento para saber cuánto de potencia se va a necesitar se considera la siguiente formula:

$$Q = P (\text{tg } \phi_{\text{inicial}} - \text{tg } \phi_{\text{objetivo}})$$

Dónde:

Q: Potencia reactiva (KVAR)

P: Potencia activa del motor (KW).

### **1.3.7.2 Elección del contactor adecuado:**

Se necesitan dos elementos, primero que tipos de cargas vamos a ocupar o qué tipo de aplicación vamos a utilizar y la segunda que tipo de potencia vamos a utilizar un contactor podemos utilizarlo para controlar motores eléctricos, resistencias, lámparas, mandar voltaje a un variador de velocidad. Hay una norma internacional que regula la clasificación de contactores IEC – 60947-4-1, también se puede seleccionar por su potencia.

### **Compensación del $\cos\phi$ automática en baja tensión:**

Un conjunto de compensación que se ha automatizado se tiene que adecuar a las variaciones de potencia reactiva de la instalación para mantener el  $\cos\phi$ . Y se tiene que considerar los tres pasos siguientes:

#### **El regulador:**

Sirve para medir el  $\cos\phi$  de la instalación y ordena al interruptor automático para acercarse lo más posible al  $\cos\phi$ , conectando los reguladores de potencia reactiva.

#### **El interruptor automático:**

Es un dispositivo electromecánico que sirve para conectar o interrumpir el paso de una corriente ya sea en el circuito de potencia o en circuito de mando en cuanto de una tensión a la bobina, ya sea en el circuito de potencia o de mando, y pueden ser accionado a distancia por un Contactor.

#### **Los Condensadores:**

También llamados capacitores son elementos pasivos que se utilizan para almacenar energía reactiva y se miden en faradios que es su unidad de capacidad.

Su estructura interna está conectada en triángulo.

#### **Consideraciones:**

##### **a) La lectura de intensidad:**

Se debe instalar un transformador elevador que permita leer el consumo total del sistema o instalación.

**b) La lectura de tensión:** La instalación se realiza dentro de la batería de tal forma que cuando se realice la conexión de su potencia se pueda obtener el valor de su lectura.

### **1.3.8 Diseño de la potencia a compensar en una instalación.**

#### **1.3.8.1 Método general**

Los fabricantes otorgan una gama de receptores que permiten a los usuarios seleccionar de acuerdo a su potencia activa cual es el ideal dependiendo mucho del índice de carga y su coseno  $\phi$

Obtenido el factor de compatibilidad en el sistema se consigue los parámetros que están en la potencia activa y reactiva de la instalación. (RUELAS GÓMEZ, 2019)

#### **Método simplificado**

Obteniendo la información se pueden dimensionar de modo simplificado las demandas de compensación del  $\cos\phi$  de una instalación:  $\cos\phi$  medio inicial,  $\cos\phi$  objetivo, Potencia activa media de la instalación.

Estos datos se pueden obtener:

- Por procedimientos citados en el método general.
- A través de una evaluación de acuerdo a las potencias instaladas.
- Y la obtención por cálculos con tablas.

#### **Cálculo por tabla:**

Para obtener estos resultados tomamos los datos de la potencia en KW y del  $\cos\phi$  en la instalación, se toma los valores en función del  $\cos\phi$  de la instalación, antes y después de la compensación, un coeficiente a multiplicar por la potencia activa para encontrar la potencia de la batería de condensadores a instalar.

### **1.3.9 Cálculo a partir de mediciones:**

Como se mencionó anterior mente se tiene que efectuar varias mediciones al interruptor diferencial principal de protección cuando el sistema se encuentra con carga. De los resultados obtenidos nos ayudará a medir los valores como: potencia activa, potencia inductiva,  $\cos\phi$ .

### **1.3.10 Cálculo de la potencia a compensar en una instalación:**

#### **1.3.10.1 A partir del recibo de la empresa distribuidora de energía eléctrica.**

El cálculo de la potencia a través del recibo es una forma muy práctica para dimensionar los equipos de compensación de energía reactiva.

#### **1.3.10.2 Parámetros que se consideran en los recibos:**

- Se evalúa cuanto es el consumo total de Energía Activa (KW-h) consumida en el mes o en determinado periodo de tiempo:

$$EA = \text{Energía activa fuera de hora punta} + \text{Energía activa en hora punta}$$

- Se evalúa cuanto de Energía Activa es consumida en (KW-h), en el mes o en un tiempo determinado:

$$\text{Cos } \phi = \text{KW-h} / (\text{KWh}^2 + \text{KVARh}^2) \dots (1.16)$$

#### **1.3.10.3 Información suministrada por la propiedad:**

Para obtener estos datos se debe considerar la cantidad de horas trabajadas a toda carga dentro de la instalación, para calcular las horas reales de operación durante el período del recibo.

#### **1.3.10.4 Cálculo de la potencia activa media**

Obteniendo los datos de la Energía Activa consumida (KW-h) en la facturación del recibo y el número de horas trabajadas del período se puede estimar cuanto podría ser la Potencia Activa media (KW) de la instalación:

$$P = \text{KW-h} / h$$

#### **1.3.10.5 Cálculo de la potencia de la batería**

Obteniendo el Cos  $\phi$  inicial y el cos  $\phi$  final se logrará dimensionar cuanto sería la potencia de las baterías que se necesita para instalar en un sistema, ya sea por desarrollo de cálculo o búsqueda por tabla:

$$Q = P (\text{tg } \phi \text{ inicial} - \text{tg } \phi \text{ objetivo})$$

### **1.3.11 Dispositivos de protección y maniobra en baja tensión:**

Los equipos de compensación se dimensionan ya sea por las corrientes absorbidas o por norma. Cuando se aplica una tensión a los condensadores estos tiene que estar en relación a la tensión aplicada y la capacidad en los componentes armónicos de la tensión.

#### **1.3.11.1 Disyuntores:**

Su dimensionamiento está en función a la seguridad que ofrece la carga térmica.

- $1,36 \times I_n$  (1) para los equipos estándar.
- $1,5 \times I_n$  para los equipos clase H.
- $1,36 \times I_n$  para los equipos clase SAH (sintonizados a 215 Hz).

#### **Los fusibles:**

Hay que utilizar fusibles de tipo Gg y la elección de calibres en función de:

- $1,6 \times I_n$  (para los equipos estándar).
- $1,6 \times I_n$  (para los equipos clase H).
- $1,5 \times I_n$  (para los equipos clase SAH - sintonizados).

#### **1.3.11.3 Las líneas de potencia:**

Para hallar este dato se debe empezar por sobredimensionar la corriente de  $1.5 \times I_n$  como mínimo. Con respecto a su sección tiene que ser semejantes a su temperatura que está alrededor de sus líneas de distribución, (en bandeja, subterráneo, trenzados...). (Schneider electric.2010).

### **1.3.12 Cálculo de la batería con presencia de armónicos**

#### **1.3.12.1 Problemas planteados por los armónicos**

Los equipos que utilizan electrónica de potencia (motores de velocidad variable, rectificadores estáticos, los balastos de tubos fluorescentes, etcétera) son los encargados de circular armónicos en la red. Dichos armónicos trastornan el orden y los estados de las máquinas o aparatos electrónicos.

Los condensadores son muy sensibles a estos pues su impedancia disminuye gradualmente al rango de armónicos presentes (frecuencia). Si la frecuencia propia del conjunto condensador-red está cercana al rango de un armónico, se originará una resonancia que amplificará el armónico correspondiente.

En este caso particular, la corriente resultante provocará el calentamiento y luego la perforación del condensador.

### **1.3.13 Análisis de Costos**

#### **1.3.13.1 Aplicaciones del cálculo de costos**

Mide la relación entre los costos y beneficios asociados a un proyecto de inversión con el fin de evaluar su rentabilidad, entendiéndose por proyecto de inversión no solo como la creación de un nuevo negocio, sino también, como inversiones que se pueden hacer en un negocio en marcha tales como el desarrollo de nuevos productos, maquinarias o la inversión en finca raíz entre otros.

Por lo tanto, la relación beneficio – costo, también conocida como índice neto de rentabilidad, es un cociente que se obtiene al dividir el valor actual de los ingresos totales netos o beneficios netos (VAC) de un proyecto. Formula que se debe utilizar:

$$B/C = \frac{FLUJOS\ NETOS}{INVERSIÓN}$$

Cuando un proyecto es rentable se utiliza:

Si  $B/C > 1$ : Se invierte en el proyecto.

Si  $B/C = 1$ : Es indiferente.

Si  $B/C < 1$ : No es rentable invertir en el proyecto.

### **1.3.13.2 Concepto de costo**

Es un conjunto de erogaciones de egresos que en los que uno incurre para adquirir una cantidad de activos como: materias primas, insumos, suministros que se espera convertir en un producto final. Adicionalmente al costo también se le asigna la mano de obra directa por que interviene en la fabricación , en la producción del producto final y/o generación del servicio

Algunos casos donde aplicar:

1. Costos variables, porque su valor aumenta o disminuye de acuerdo al servicio que ofrece la empresa.
2. Costos fijos, estos no dependen del servicio que ofrece la empresa, por ejemplo:
  - Sueldos y salarios fijos y sus respectivas prestaciones.
  - Alquiler del local de planta
  - Mantenimiento de máquinas y equipos de producción

### **1.3.14 Análisis financieros**

#### **1.3.14.1 Valor actual neto**

Valor actual neto es una herramienta que nos permite comparar los proyectos y si estos son convenientes en función de una tasa de corte o una tasa de interés exigida, dado que no se puede comparar distintos montos monetarios de diferentes momentos porque el dinero está sujeto a la depreciación propia de la inflación o al costo de una tasa de interés.

La fórmula que nos permite calcular el Valor Actual Neto es:

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

- $V_t$  = Representa los flujos de caja en cada periodo t.
- $I_0$  = Es el valor del desembolso inicial de la inversión.
- $n$  = Es el número de períodos considerado.
- $K$  = Es el tipo de interés

Si el proyecto no presenta peligro, se tomará como información el tipo de la renta fija, con el VAN se calculará si la inversión es mejor que invertir en algo seguro y sin algún riesgo específico. En otros casos, se utilizará el coste de oportunidad. Si el VAN es = 0, k pasa a llamarse TIR (tasa interna de retorno). La TIR es la rentabilidad que nos está proporcionando el proyecto.

- Si el VAN es mayor, la inversión producirá ganancias por encima de la rentabilidad exigida (r), se recomienda aceptar el proyecto
- Si el VAN es menor a cero, la inversión produciría pérdidas por debajo de la rentabilidad exigida (r), el proyecto debería rechazarse

#### **1.3.14.2 Tasa interna de retorno (TIR)**

Es una tasa porcentual que mide la rentabilidad promedio por periodo que genera el dinero que permanece invertido en el proyecto a lo largo de su vida útil.

El TIR es la máxima tasa que se puede considerar para aceptar un proyecto de inversión. Es la tasa que considera el VAN de un proyecto o alternativa de inversión igual a cero. Se usa para conocer la factibilidad de diferentes inversiones.

#### **1.3.14.2 Cálculo de la Tasa Interna de Retorno**

Para el cálculo manual de la TIR, es importante encontrar dos valores del VAN: uno positivo y otro negativo para luego interpolar. Estos valores calculados del VAN deben

ser lo más cercano a cero para que la interpolación refleje un resultado más cercano a la TIR real.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_{Ft}}{(1 + TIR)^t} - I_0 = 0 \dots (1.19)$$

$V_{Ft}$  es el Flujo de Caja en el periodo t.

$$r = \frac{-I + \sum_{i=1}^n Q_i}{\sum_{i=1}^n i * Q_i} \dots \dots \dots (1.20)$$

### 1.3.15 Plan de gestión y ahorro energético (NAVARRO ESBRI, y otros, 2015)

En esta etapa se diseña, elabora y ejecuta un Plan de ahorro energético

#### **Instrumento:**

El propósito es tener una visión de la eficiencia energética en plantas industriales y puedan contar con los instrumentos para su optimización. Dentro de sus principales objetivos es tener un conocimiento de cuanto es el consumo energético actual, si se cuenta con los responsables esperados y capacitados y que cuenten con los recursos necesarios y si cuentan con un cronograma de ejecución.

El Programa de Gestión y Ahorro de Energía consta de 3 Fases:

1. Propuestas de mejora
2. Definición del Plan de Acción
3. Ejecución del Plan de Acción

#### **Fase 1: Propuesta de mejora** (Navarro Esbrí Joaquín y Molés Ribera, Francisco, 2015)

**Objetivo:** Diseñar una lista de los cambios posibles que puedan dar mejoras a la empresa y evaluar su viabilidad de acuerdo a los resultados de auditoria energética realizada.

## **Instrumentos**

Se comparan los datos obtenidos y se relacionan entre sí con el objetivo de fijar los indicadores energéticos y ver cuánto es el consumo total de energía de la empresa con sus diferentes sistemas y equipos de la instalación. Esto se realiza para tener un conocimiento si la empresa está desperdiciando energía o si está empleando mal el uso de la energía.

**Fase 2: Definición del plan de acción** (Navarro Esbrí Joaquín y Molés Ribera, Francisco, 2015)

**Objetivo:** viene hacer una guía a través del cual se prioriza las acciones que hay que realizar para lograr un objetivo específico, el plan de acción se conforma por actividades específicas y su fecha de ejecución, además de detallar cuáles son los recursos que se requiere para ejecutar dicha actividad.

## **Instrumentos**

- Te marca los tiempos de avance para lograr los objetivos y medidas que deben ser alcanzables, medibles, conocidos y asumidos por los trabajadores.
- Se especifican las actividades a realizar y también los tiempos de ejecución de cada actividad, estos tiempos de ejecución nos va a marcar que avance vamos a tener en el lapso de tiempo para lograr el objetivo que estamos buscando.
- Sirve para establecer indicadores en relación al objetivo que estamos buscando, cada actividad que se especifica en el plan de acción nos sirve como un indicador para saber si estamos avanzando o no hacia nuestros objetivos
- El plan de acción facilita evaluar el proceso de avance hacia nuestros objetivos, estableciendo indicadores que nos permitan medir que tanto avance tenemos hacia los logros de nuestros objetivos.

**Fase 3: Ejecución del plan de acción** (Navarro Esbrí Joaquín y Molés Ribera, Francisco, 2015)

**Objetivo:** Establecer y poner en ejecución un conjunto de tareas y operaciones propias de la entidad concernientes al plan de acción.

**Instrumentos:** lista de asignaciones, inspecciones, fijación y determinación del precio implantado de los resultados obtenidos.

## **1.4 Formulación del problema**

¿En qué medida el rediseño del sistema eléctrico trifásico de potencia de 300 KVA en base a auditoría nos ayudará a aumentar la eficacia energética y reducir costos en Templo mormón de Trujillo?

## **1.5 Justificación del estudio**

### **Justificación económica:**

Este estudio es necesario, porque mediante un adecuado equilibrio en la energía reactiva, podemos alargar la vida útil de equipos, conductores y sistema eléctrico, así como mejorar los parámetros relacionados con la tensión y la potencia eléctricas, trayendo consigo un ahorro significativo en los precios por facturación de energía eléctrica y en costos relacionados con el proceso operativo del Templo Mormón

### **Justificación tecnológica:**

Se utilizará un equipo de medición de alta gama para el monitoreo de todos los parámetros eléctricos, para tener al detalle los pormenores en cuanto voltaje, corriente, potencias, distorsión armónica, factor de potencia, etc., además el sistema de control del tablero eléctrico de compensación será completamente automatizado con un panel digital programado para ir compensando progresivamente la energía reactiva cuando el sistema del Templo Mormón lo requiera.

### **Justificación social:**

Al disminuir la energía reactiva se incrementaría la potencia activa de la suministradora de energía, puesto que, al corregir el factor de potencia, se mejoraría la tensión, aumentaría la capacidad de las líneas de transporte de energía, y las unidades transformadoras tendrían más capacidad instalada, para abastecer a más pueblos, a través del sistema interconectado. Con la instalación de protecciones modernas aumentará la seguridad operacional y de las personas, mejorando el ambiente social entre los trabajadores de operación y de mantenimiento eléctrico.

## **1.6 Hipótesis**

El rediseño del sistema eléctrico trifásico de potencia de 300 KVA en base a auditoría energética nos ayudará a incrementar la eficiencia energética y disminuir los costos en Templo mormón de Trujillo

## **1.7 Objetivos.**

### **1.7.1 Objetivo general**

Realizar un análisis técnico económico en Templo mormón de Trujillo para definir la justificación de implementar la aplicación de eficiencia energética dentro del sistema eléctrico de la Iglesia Mormona de Trujillo, de 300 KVA, en base a la realización de auditoría, para reducir los costos de energía.

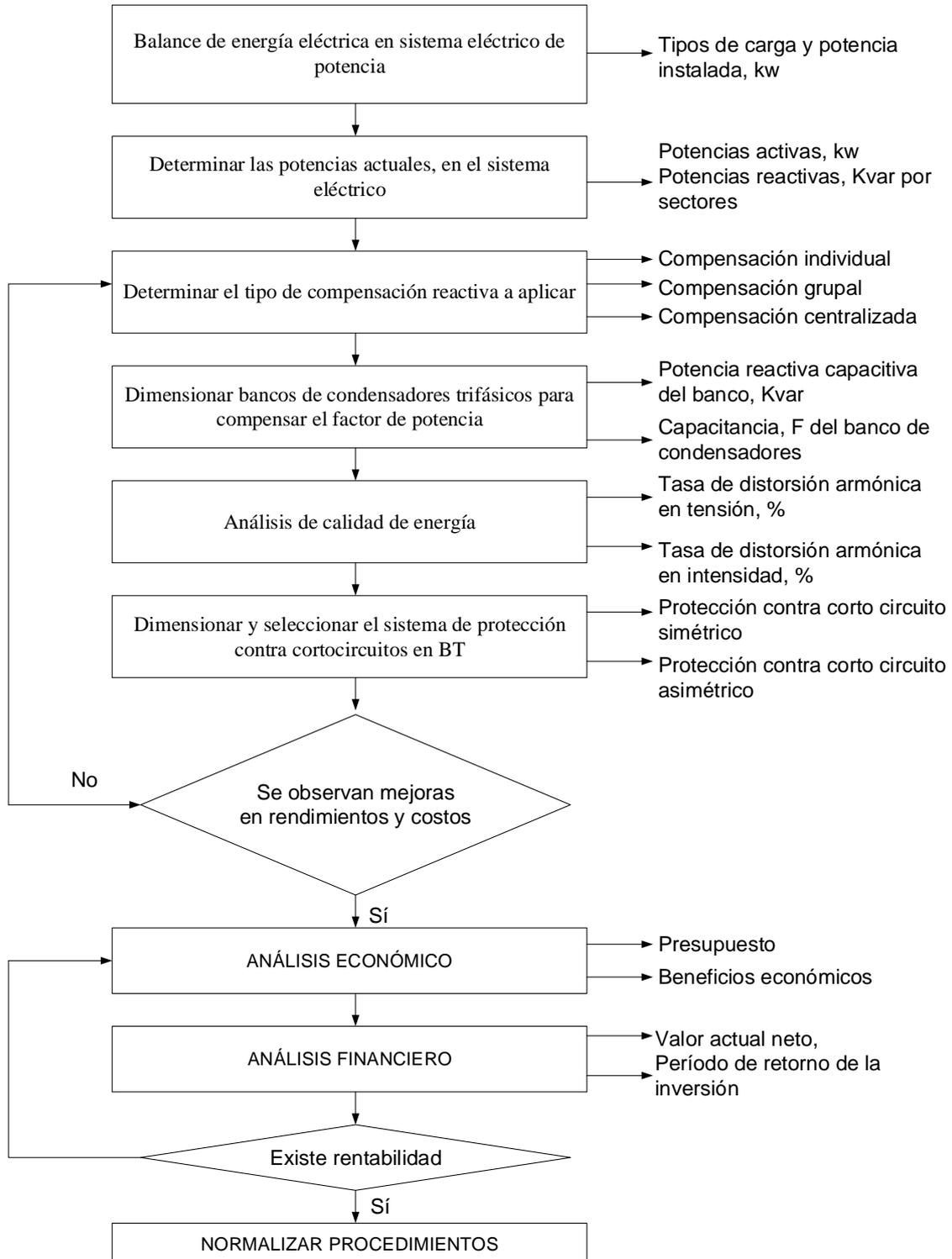
### **1.7.2. Objetivo específico**

- Realizar el cálculo de energía del sistema eléctrico de potencia
- Análisis de compensación reactiva a aplicar
- Rediseño del SEP del templo mormón de Trujillo
- Realizar un análisis económico determinando presupuestos y beneficios

## II. MÉTODO

### 2.1 Diseño de investigación

En el siguiente diagrama de actividades se procede a determinar los métodos que se debe seguir para la solución de problemas de investigación.



## 2.2 Sistema de operación de variables.

### 2.2.1 Variables independientes

Rediseño del sistema eléctrico de potencia:

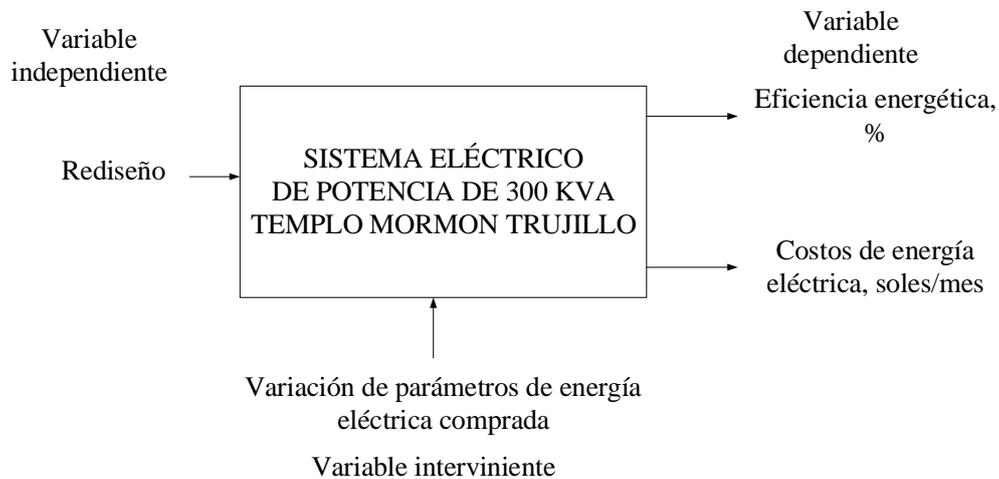
### 2.2.2 Variables dependientes

- Eficacia energética, %
- Costos de energía eléctrica, soles/mes

### 2.2.3 Variables intervinientes:

Variación de parámetros de energía eléctrica suministrada:

- Tensión nominal entrada a transformador, V
- Frecuencia de la Red eléctrica, Hz
- Factor de potencia, (-)



## 2.3 Población y muestra

Los datos y los resultados serán dentro de la misma instalación:

### 2.3.1 Población:

Se tomará dentro de los conjuntos eléctricos de potencia trifásicos de templos mormones del Perú.

### 2.3.2 Muestra:

Se tomará del sistema eléctrico de potencia del Templo mormón de Trujillo, 300 KVA de Trujillo

#### Medición de variables de estudio

Variable	Explicación	Realización	Indicadores	Escala de medición
Variable Independiente: rediseño de sistema eléctrico de potencia	Conjunto de medidas destinadas a cambiar la capacidad, rendimiento y costos de operación de un sistema eléctrico de potencia	Modificación de subsistemas eléctricos que involucran cambio de componentes para cambiar su operatividad y economía	Rediseño: Alto Medio bajo	Intervalo de valores 0...400 KVA
Variable dependiente: Eficiencia energética	Expresa el porcentaje de potencia aprovechada, en relación a la potencia total absorbida	Es la correlación de la potencia útil que entrega el dispositivo eléctrico y la potencia total absorbida	Rendimiento:  elevado  medio  bajo	Intervalo de valores 0...100 %
Variable Dependiente: Costo de energía eléctrica	Es el valor monetario del gasto de energía activa y reactiva en un período de tiempo	Es el producto de la energía en un periodo de tiempo por el costo unitario, para activa y reactiva	Costo de EE elevado  Costo de EE pequeño	Intervalo de valores 0...100000 Soles/mes
Variable interviniente : Variación de parámetros eléctricos suministrados por distribuidor	Es la desviación de los valores de parámetros fuera de rangos admisibles, suministrados por el distribuidor de EE	Diferencia entre los parámetros nominales y reales, de energía eléctrica	Desviación elevado  Desviación pequeño	Intervalo de valores 0...5% Un (V) 0...2% f (Hz)
Variable interviniente : Variación calidad de energía eléctrica	Aumento de la tasa de distorsión de armónicos en corriente y en tensión que afectan la operación de equipos eléctricos por aumento del amperaje y desviación de la onda eléctrica	Relación entre la Potencia de equipos que generan armónicos y la potencia del transformador	Tasa de distorsión armónicos elevada  Tasa de alteración de armónicos baja	Intervalos de valores: THD(v) < 0...10% THD(I) > 0...5 %

## 2.4 Procedimientos y herramientas de recolección de datos, validez y confiabilidad

<b>Procedimiento</b>	<b>Herramienta</b>	<b>Objeto</b>	<b>Objetivos</b>
<b>Observación</b>	Toma de datos en hoja de Excel	Sistema eléctrico de Templo mormón de Trujillo	Conocer el sistema eléctrico determinando los valores de sus principales parámetros e indicadores de cantidad y calidad de energía
<b>Entrevistas</b>	Hoja de formato de entrevistas	Personal de mantenimiento de equipos eléctricos y administrativos	Determinar los aspectos operacionales y hacer un análisis más detallado de las características de equipos eléctricos instalados
<b>Encuestas</b>	Hojas de encuestas	Personal técnico y ejecutivo del Templo mormón de Trujillo	Definir prioridades en cuanto a tecnologías, capacidad, calidad y rendimientos y operaciones
<b>Mediciones</b>	Multímetros eléctricos Amperímetros de tenaza Vatímetros Analizadores de redes trifásicos	Instalaciones de equipos eléctricos y accesorios	Determinar los valores reales actuales de los parámetros del sistema de transformación, distribución y consumo de EE, para establecer la capacidad real, rendimiento y costos
<b>Análisis de los registros de datos</b>	Hoja de Registro de datos e incidencias	Sub estación eléctrica trifásica de Templo mormón de Trujillo	Determinar valores promedio de parámetros eléctricos activos y pasivos

## 2.5 Métodos de análisis de datos

Se harán análisis descriptivos y analíticos de la subestación eléctrica del Templo mormón de Trujillo, definiendo y aplicando las ecuaciones de ingeniería eléctrica que gobiernan el comportamiento de variables y parámetros de la muestra de estudio.

Los parámetros serán procesados con datos estadísticos de consumo.

**Se determinará un análisis de ingeniería eléctrica en los siguientes sistemas:**

- Caídas de tensión, V

- Potencias activas, KW
- Potencias reactivas, KVAR
- Potencias aparentes, KVA
- Rendimientos, %
- Calidad de energía, THD(v), THD(i)
- Factor de potencias (-)

Que permitan establecer la situación actual en el sistema eléctrico del Templo mormón de Trujillo

### **Análisis económico financiero**

Se Determinarán presupuestos, beneficios, valor actual neto, período de retorno de la inversión, que permitan determinar la rentabilidad de inversión

Los resultados obtenidos serán puestos en gráficos, tablas, etcétera, para analizar tendencias

## **2.6 Aspectos éticos**

Toda la información y procedimientos de análisis es hecha por el autor del presente trabajo.

## III. RESULTADOS

### 3.1. Balance de energía eléctrica en SEP Mormón Trujillo

La energía eléctrica es fundamental para el desarrollo de un país, para ello es necesario suministrar dicha energía en forma oportuna y adecuada, por ello el sistema eléctrico de potencia en el templo mormón tiene como fin: transformar, transmitir, distribuir y consumir la energía eléctrica generada por sus transformadores, así como de la red comercial, al término de los resultados lo que se desea lograr es obtener una mejor calidad del uso de la energía a un menor costo.

#### 3.1.1. Potencia de componentes del sistema eléctrico de potencia del Templo Mormón de Trujillo.

Estos conjuntos de dispositivos eléctricos forman parte de los sistemas eléctricos de potencia y se encargan de la transformación de la energía. Dentro de estos conjuntos tenemos:

- a) Media tensión
- b) Celda de remonte manual
- c) Transformación
- d) Tableros principales
- e) Protección de cargas (ATS)
- f) Cargas (sub tableros)

##### 3.1.1.1. En sub estación de energía eléctrica.

- Dos transformadores trifásicos de 10/22.9 Kv,  $S_n = 750\text{KVA}$  cada uno total, potencia en transformadores trifásicos: 1500 KVA.
- Dos bancos de condensadores de energía reactiva trifásicos, en 220 V,  $Q_c = 150\text{KVAR}$  cada uno.

Total de potencia reactiva instalada en bancos de condensadores: 300 KVAR.

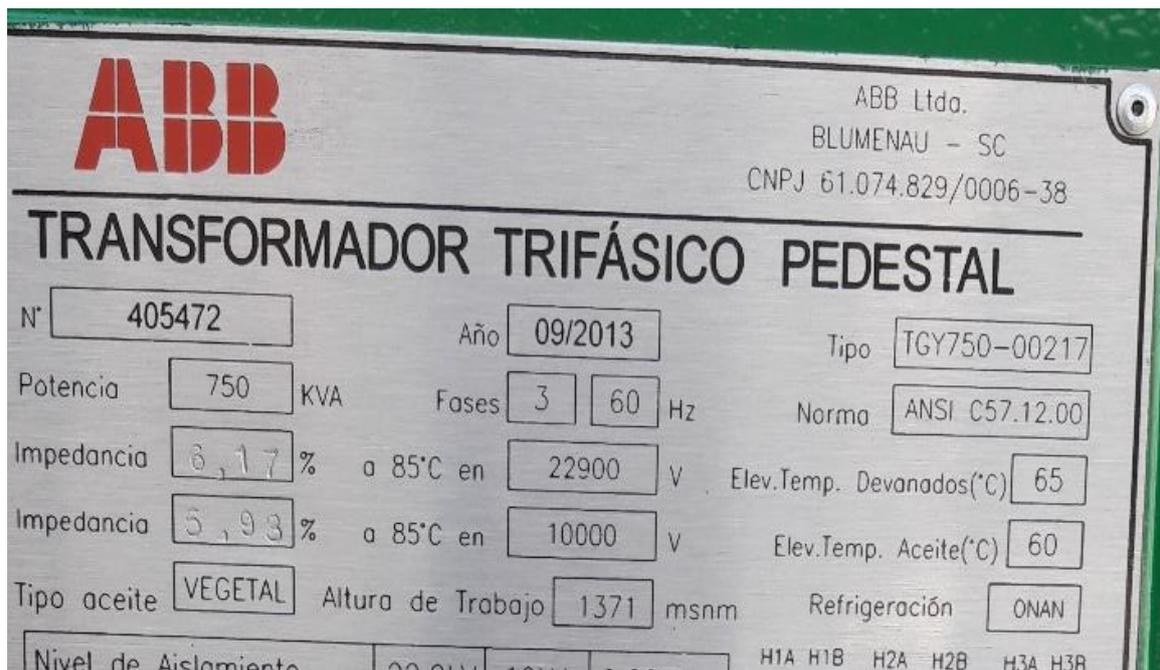


Figura 22: Datos de la placa de transformadores del Templo Mormón de Trujillo.

### 3.1.1.2 En cargas:

Dentro de las instalaciones eléctricas veremos la distribución de circuitos y de la instalación eléctrica que tenemos, así como también la especificación de cargas en los circuitos.

#### 3.1.1.2.1. Potencia instalada en cargas trifásicas:

- Motores de aire acondicionado: 150 KW
- Motores de climatizadores de aire: 70 KW
- Motores de sistemas de refrigeración: 30 KW

- Motores para compresoras de aire: 30 KW

Total, potencia instalada en cargas monofásicas: 280 KW

### 3.1.1.2.2. Potencia instalada en cargas monofásicas:

Dentro de las instalaciones se tiene una gran variedad de luminaria en modelo incandescente, computadoras, etcétera, como se muestra:



Figura 23: Se observa la cantidad de luminaria (elaboración propia)

Es por ello que se tiene la siguiente distribución en sus cargas:

- Sistemas de cómputo: 5 KW
- Electrobombas: 2 KW
- Iluminación eléctrica: 10 KW
- Total, potencia instalada en cargas: 17 KW
- Total, potencia instalada en cargas:  $280 + 17 \text{ KW} = 297 \text{ KW}$

Siendo el factor de potencia en la instalación igual a 0.96, y teniendo una potencia en las barras de 220 V, se obtiene una salida en los transformadores de:

$$S_{\text{Cargas}} = \frac{P_T}{\text{Cos}_\phi} = \frac{297}{0.96} = 309.375 \text{ KVA}$$

Resulta que 309.375 KVA, es muy inferior a la potencia total instalada de los dos transformadores, que es igual a 1500 KVA, los cuales se encuentran conectados en paralelo, son idénticos. Se observa claramente que es posible poner fuera de servicio un transformador, como se muestra en la Fig. 22 donde se ha desarrollado un diagrama unifilar del SEP Templo Mormón de Trujillo.

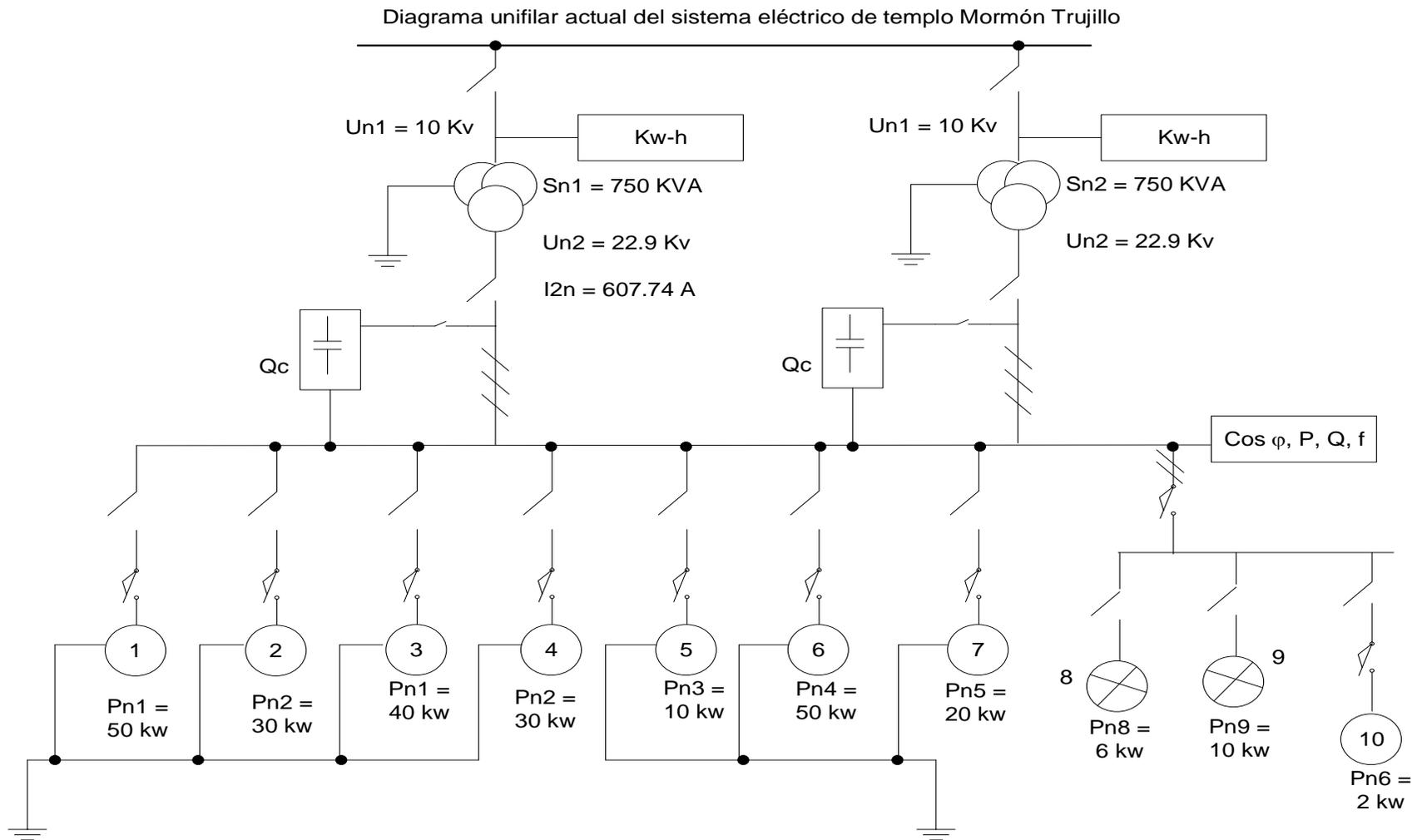


Figura 24: Diagrama unifilar actual del sistema eléctrico de potencia en Templo Mormón Trujillo. Elaboración propia.

### 3.1.2. Potencias actuales, en el sistema eléctrico: activa, reactiva, aparente y el factor de potencia existente.

En este caso, se determina las potencias del sistema: la activa, la reactiva y la aparente, absorbidas, así como el factor de potencia. Se utilizan los datos de las facturas eléctricas, suministradas por el Templo Mormón, para determinar los valores promedio, las facturas se presentan en los anexos nro. 1, 2, 3, 4 y 5

Tarifa MT3 con doble medición de energía activa y contratación o medición de una potencia 2E1P - Templo Mormón Trujillo																			
Cargos:	Feb-18			Mar-18			Jun-18			Ago-18			Set-18						
	U.M.	Consumo	C. unit	Valor															
Fijo	S./mes	1	6.56	6.56	1	6.59	6.59	1	6.64	6.64	1	6.71	6.71	1	6.71	6.71			
Energía Activa HP	S./kW.h	25384	0.2284	5798	23,613	0.2302	5436	20,799	0.2220	4617	21,974	0.2253	4951	18,423	0.2253	4151			
Energía Activa FP	S./kW.h	109582	0.1857	20349	104,486	0.1873	19570	93,109	0.1808	16834	97,789	0.1836	17954	81,386	0.1836	14942			
Potencia Activa Generación HP	S/kW.mes	274	56.60	15532	265.86	56.80	15101	233.40	50.60	11810	242.36	50.54	12249	226.77	50.52	11456			
Pot. Uso Redes Distribución HP:	S/kW.mes	266	13.30	3542	270.54	13.49	3650	270.54	13.68	3701	266.27	13.96	3717	254.11	13.90	3532			
EE reactiva	S./kVar.h	1449	0.0421	61.02	1,256	0.0422	53	390	0.0425	16.58	0	0.0425	0.00	0	0	0.00			
Sub total				45288				43,816				36,986				38,878			34,089

Tabla 3: Valores de energía, potencia y económicos de facturación eléctrica en Templo Mormón Trujillo. Elaboración propia

#### Potencia activa promedio de generación en Horas punta:

$$P_{G-HP} = \frac{274 + 265.86 + 233.40 + 242.36 + 226.77}{5} = 248.478 \text{ KW}$$

#### Potencia activa promedio de redes de distribución en Hora Punta:

$$P_{RD-HP} = \frac{266 + 270.54 + 270.54 + 266.27 + 254.11}{5} = 265.5 \text{ KW}$$

### **3.1.3 Triángulo de energías de los sistemas eléctricos de potencia (SEP) Templo mormón Trujillo**

Sirve para definir el factor de potencia en las instalaciones eléctricas del templo mormón, y así determinar la energía activa y reactiva consumida que se da en las hojas de facturación dentro del establecimiento.

#### **Energía eléctrica activa en horas punta, EEP-HP:**

Por medio de la siguiente fórmula podremos especificar el consumo de la energía activa que ha sido transformada en esfuerzo mecánico o calor, dentro de las horas punta esto es entre las 6pm y las 11pm.

$$EEP-HP = 25,384 + 23,613 + 20,799 + 21,974 + 18,423 = 110,193 \text{ KW-h}$$

#### **Energía eléctrica activa en horas fuera de punta, EEP-HFP:**

Este tipo de energía eléctrica ha sido consumida en las horas de 12am a 5pm.

$$EEP-HFP = 109,582 + 104,486 + 93,109 + 97,789 + 81,386 = 486,352 \text{ KW-h}$$

#### **Total, energía activa consumida en el período, EEP-T:**

$$EEP \text{ activa total, } EEP-T = 110,193 + 486,352 = 596,545 \text{ KW-h}$$

#### **Energía reactiva total consumida, EEQ:**

Este tipo de energía ha sido consumida por aparatos eléctricos que utilizan bobinas y transforman la energía en campos electromagnéticos, motores, transformadores etcétera.

$$41,422 + 42,460 + 34,563 + 33,770 + 29,466 = 181,681 \text{ KVAR-h}$$

#### **Energía aparente en el periodo, EES:**

Este tipo de energía viene a hacer la suma de las dos energías, la Activa más la reactiva.

$$EES = \sqrt{EEP^2 + EEQ^2} = \sqrt{596,545^2 + 181,681^2} = 623,598 \text{ KVA - h}$$

### Factor de potencia en el período:

De la potencia aparente vamos a determinar cuál es la potencial útil y con esto sabremos qué tan cerca estamos a uno y poder determinar las pérdidas que se pueden presentar.

$$\cos\varphi = \frac{EE_{P-T}}{EE_{S-T}} = \frac{596,545 \text{ KW} - \text{h}}{623,598 \text{ KVA} - \text{h}} = 0.9566$$

$$\text{Angulo de desfase } U - I: \varphi = \text{Arcos}\varphi = \text{Arcos } 0.9566 = 16.94^\circ$$

El factor de potencia promedio es igual a 0.9566, es un valor aceptable, pero está en el límite de su capacidad, se observa que ha sido dimensionado con poco factor de reserva, a medida que aumenta el consumo de energía aparece un pequeño pago por energía reactiva, por lo tanto, se debe redimensionar para asumir más carga.

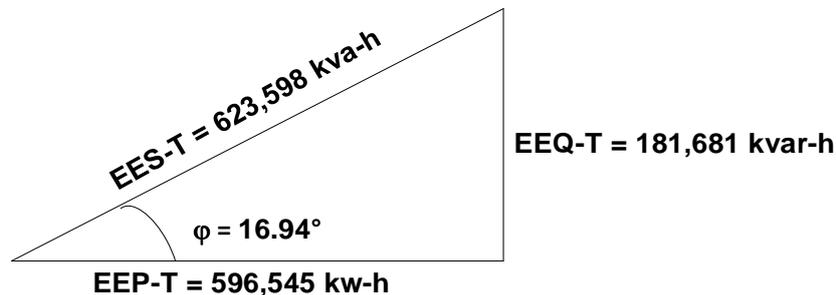


Figura 25: Triángulo de energías en Sistema eléctrico del Templo Mormón Trujillo, periodo enero – septiembre 2018. Elaboración propia.

### Triángulo de potencias del SEP del templo mormón de Trujillo

De las hojas de facturación mensual del establecimiento, (ver anexos):

#### Potencia activa promedio en redes de generación:

$$P_{\text{redes distrib}} = \frac{266 + 270.54 + 270.54 + 266.27 + 254.11}{5} = 265.492 \text{ KW}$$

Factor de potencia: 0.9566

Ángulo de desfase tensión – intensidad: 16.94°

**Potencia reactiva promedio:**  $Q(\text{KVAR}) = P(\text{KW}) * \tan\varphi$

Reemplazando:  $Q(\text{KVAR}) = 265.492 \text{ KW} * \tan 16.94 = 80.685$

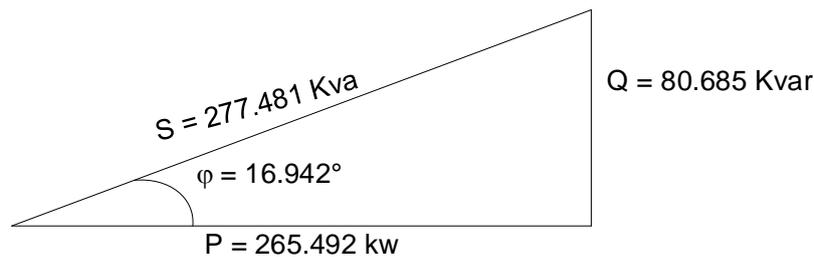


Figura 26: Cálculos del triángulo de potencias en el Sistema eléctrico del Templo Mormón Trujillo, periodo enero – septiembre 2018. Elaboración propia.

La potencia reactiva instalada en los bancos de condensadores de los equipos sirve para compensar un factor de potencia de 100 KVAR, 220 V, trifásico de 60 Hz, cinco bancos de condensadores automáticos conectados en paralelo, de 20 KVAR cada uno. Se debe agregar más bancos de condensadores para considerar un aumento de carga y evitar los costos por consumo de energía reactiva.

### 3.2. Análisis de compensación reactiva a aplicar

El objetivo es el de determinar cuánto es la potencia del banco de condensadores adicional que se necesita para compensar el factor de potencia y evitar el pago por el uso de energía reactiva

Factor de potencia actual:  $\cos \varphi_1 = 0.9566$

Factor de potencia estimado:  $\cos \varphi_2 = 0.99$  (máximo es 1)

Ángulo de desfase estimado:  $\varphi_2 = \arccos 0.99 = 8.11^\circ$

Potencia activa promedio: 265.492 KW

Potencia reactiva promedio actual: 80.685 KVAR

### Potencias reactivas para lograr un factor de potencia igual a 0.99

Potencia reactiva a ser absorbida por la red:

$$Q_2 = P * \tan\varphi_2$$

$$Q_2 = 265.492 \text{ KW} * \tan 8.11 = 37.83 \text{ KVAR}$$

Potencia del banco de condensadores para obtener  $\cos\varphi_2 = 0.99$

$$Q_c(\text{KVAR}) = Q_1 - Q_2$$

$$Q_c(\text{KVAR}) = 80.685 - 37.83 = 42.855$$

Se instalarán, entonces; dos bancos de condensadores de 25 KVAR cada uno.

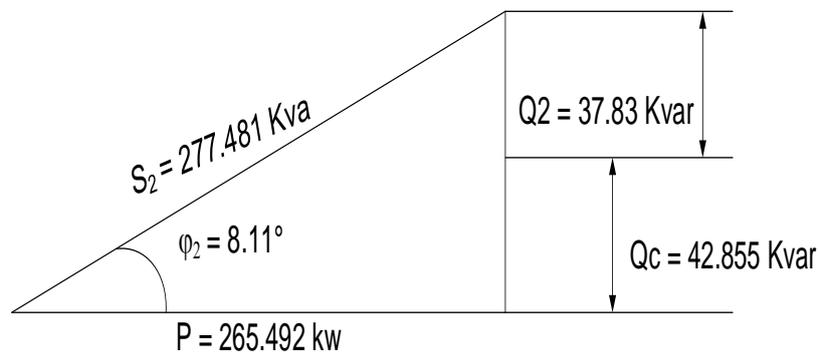


Figura 27: En este triángulo se demuestra las potencias resultantes con compensación.

### 3.3. Rediseño del SEP del templo mormón de Trujillo

En el rediseño del SEP del templo mormón se considera lo siguiente:

#### 3.3.1. En sub estación de transformación:

Cambio de transformadores de 750 KVA por uno solo de 500 KVA, de 10/0.38 kV, trifásico, D/Y

### **3.3.2. En celda de compensación del factor de potencia:**

Cambio del sistema actual, de compensación individual por compensación centralizada automática

### **3.3.3. En sistema de respaldo de potencia de emergencia:**

Instalación de un grupo electrógeno Diésel, de 500 KVA, con transferencia automática

### **3.3.4. En las cargas del sistema de aire acondicionado**

- Cambio de dos motores eléctricos trifásicos, de 220 V, estándar, con rendimiento nominal de 90% por motores trifásicos de 380 V, tipo Premium, con rendimiento nominal de 94.5%.
- Cambio de fluorescentes actuales, de vapor de mercurio; 350 piezas, 1200 lumen; 220 V, 36 w cada uno por 400 fluorescentes tipo LED, 1320 lumen, de 16 w cada uno.
- Instalación de celda de medición de parámetros eléctricos

DIAGRAMA UNIFILAR PROYECTADO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE TEMPLO MORMÓN TRUJILLO

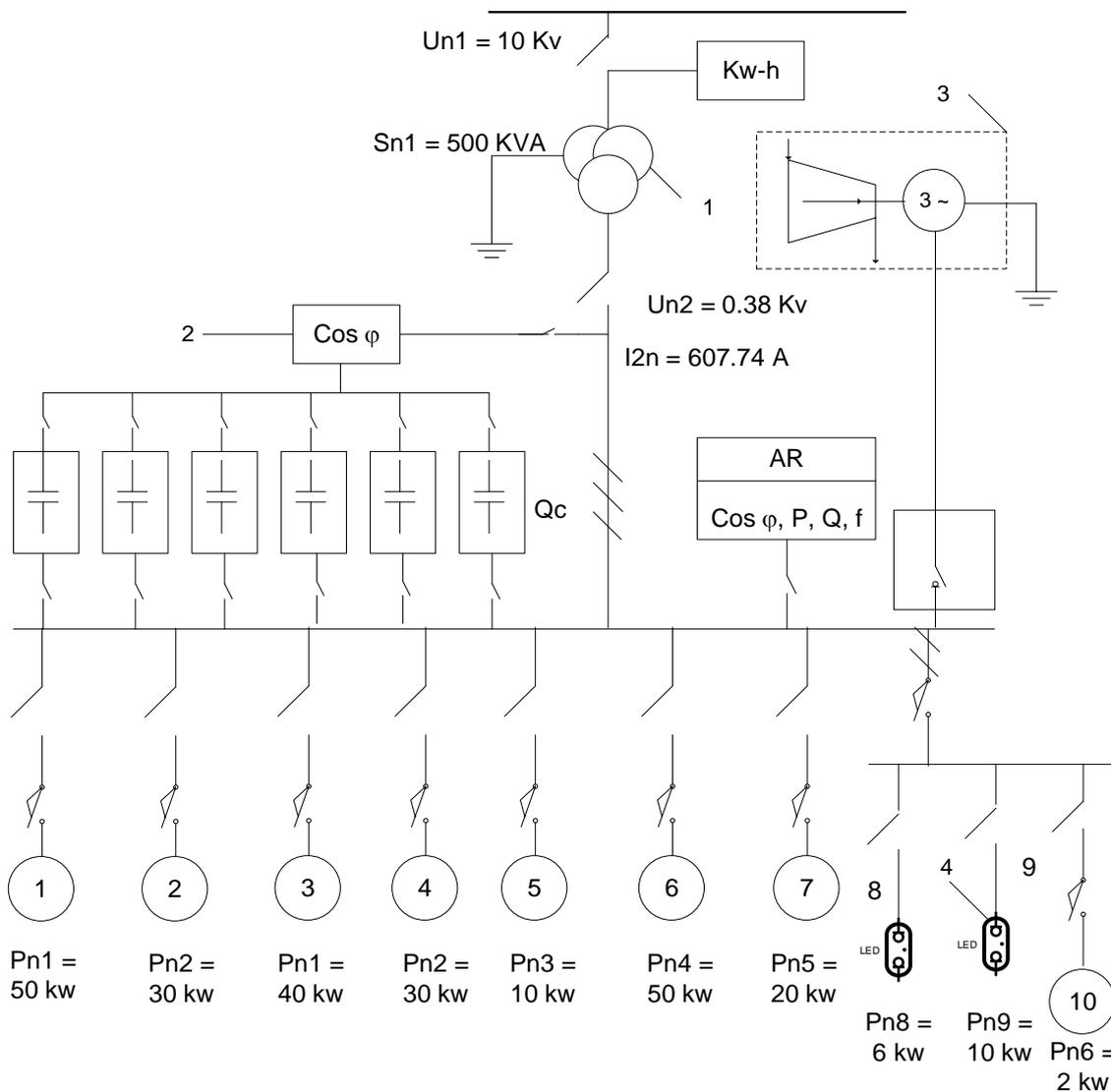


Figura 28: Diagrama unifilar del SEP del templo mormón de Trujillo, rediseñado. Elaboración propia

Leyenda:

- 1: Transformador trifásico, 10/0.38 kV,  $S_n = 500$  KVA
- 2: Sistema de compensación de energía reactiva, con condensadores trifásicos
- 3: Grupo electrógeno  $S_n = 300$  kV,  $U_n = 380$  V, conexión estrella
- 4: Sistema de iluminación con fluorescentes LED

Figura 29: (PROMELSA, 2019). Es donde se selección del Transformador trifásico  $S_n = 500$  KVA que se considera como el ideal para la instalación.



A continuación, se detalla las características del transformador trifásico:

- Potencia nominal: 500 KV
- Tensión entrada: 10 kV
- Tensión salida: 380 V
- PFe :2.20 KW
- PnCu:4.20 KW
- Conexión: Dy5
- Refrigeración: ANA
- Frecuencia: 60 Hz
- Modelo: TTS500 A0
- Marca: AMV
- Altura máxima de operación: 1000 m.s.n.

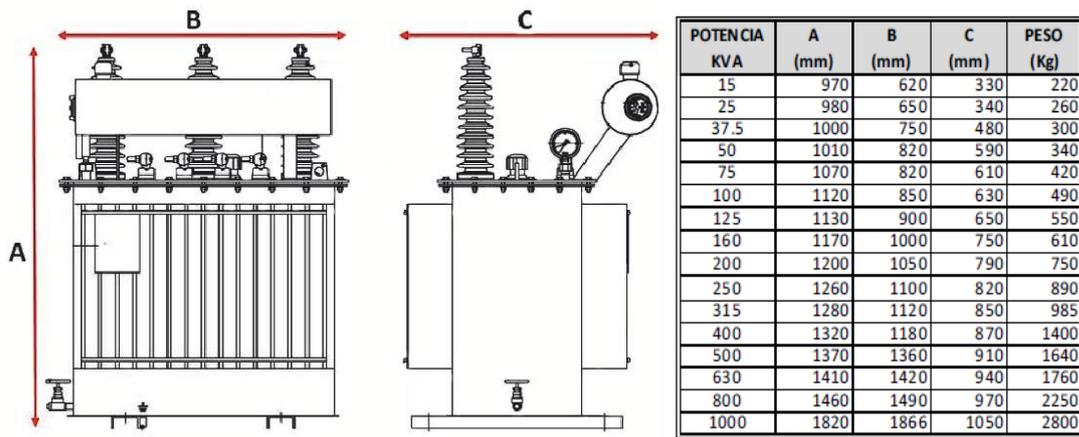


Figura 30: Dimensiones de transformador trifásico

### 3.3.5. Cálculo del rendimiento en operación del nuevo transformador:

Considerando que el nuevo factor de potencia es igual a 0.99 y que la potencia útil del transformador es de 265.40 KW, resulta que el nuevo índice de carga del transformador es de 500 KVA:

$$\alpha_{Tr-500} = \frac{S_{oper}(KVA)}{S_n(KVA)} = \frac{265.40/0.99}{500} = 0.536 = 53.60 \%$$

Entonces, el rendimiento en operación del nuevo transformador de 500 KVA, será:

$$\eta_{Tr} = \frac{S_n * \alpha_{Tr} * \cos\varphi}{S_n * \alpha_c * \cos\varphi + P_{Fe} + \alpha_{Tr}^2 * P_{n-Cu}}$$

En la cual:

$S_n$ : Potencia nominal aparente del transformador, 500 KVA

$\alpha_{Tr}$  = Índice de carga del transformador

$\cos\varphi$  = Factor de potencia = 0.99

$P_{Fe}$ : Pérdida en el Hierro del transformador: 2.2 KW

$P_{nCu}$ : Pérdida nominal en el cobre del transformador: 4.20 KW

**Reemplazando y procesando:**

$$\eta_{Tr} = \frac{500 * 0.536 * 0.99}{500 * 0.536 * 0.99 + 2.2 + 0.536^2 * 4.20} = 98.7 \%$$

En la siguiente se muestra la selección de condensadores trifásicos para compensar el factor de potencia. Fuente: (Ficha técnica de transformador trifásico, 2019)

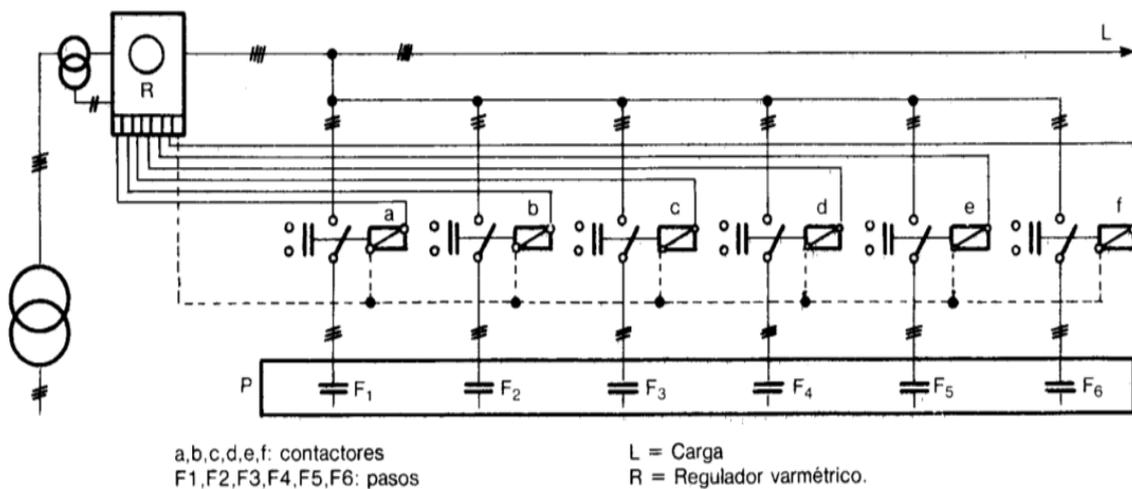


Figura 31: Diagrama unifilar instalación banco de condensadores automático (ACOME)



Figura 32: Número de Condensador trifásico 20 KVAR, 60 Hz, 380 V (GESCEL, 2019)

### Descripción:

Potencia: 20 KVA

Tensión de entrada: 220v - 380v - 440v

Tensión de salida: 440v – 380v – 220v

Frecuencia: 60Hz

Norma de fabricación: IEC 60076, ITINTEC 370.002

Refrigeración: ANAN (aire natural)

Factor: K-1

Altitud: 4000 msnm

### Norma de fabricación:

N.T.P. 370.002: Para diseño, fabricación y pruebas

IEC Publicación 60076: Para diseño de fabricación y pruebas

IEC Publicación 60076-7: Para capacidades de sobrecargas

Selección de controlador automático del  $\cos \varphi$

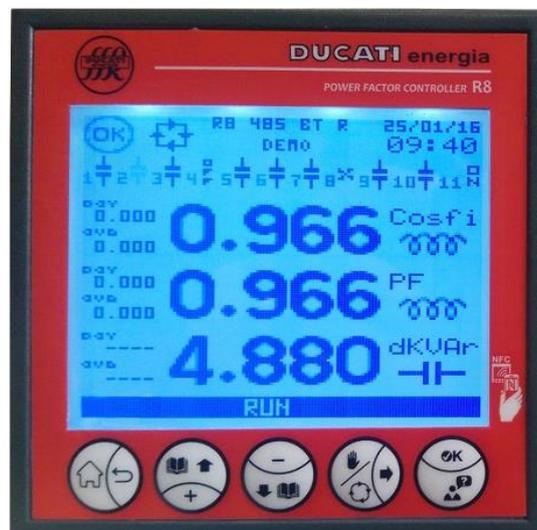


Figura 33: del Controlador automático del factor de potencia (ENERGÍA, 2019)

Modelo de reguladores automáticos de factor de potencia para redes de BT y MT monofásico y trifásico, fuente de alimentación wide-range aislada,

Hasta 11 escalones disponibles (con 1 contacto NA / NC y hasta 5 comunes aislados), grande pantalla gráfica LCD retroiluminada de 128x128 píxeles,

Formato 96x96 con profundidad reducida en el gabinete (incluso para modelos equipados con opciones adicionales).

Fuente: (DUCATI, 2019)

### **Contactador electromagnético trifásico**

#### **Contactores para condensadores modulares WEG, línea CWM, con inductor**

Intensidad nominal mínima:

$$I_n = \frac{S_c}{U_n} = \frac{20,000 \text{ VAR}}{\sqrt{3} * 380 \text{ V}} = 30.38 \text{ A}$$

Contactador para Maniobra de Condensadores CWMC

Categoría de utilización AC-6b: Para maniobra de condensadores de corrección del factor de potencia.

Reducción de corriente inrush mientras ocurre la conexión del condensador del sistema.

Disponible hasta 50KVAR @ 340/400V o 77A @ AC-6b

4 tamaños disponibles:

- CWMC25
- CWMC32
- CWMC50
- CWMC65



Figura 34: Contactor electromagnético para condensador trifásico

Fuente: (DISAI, 2019)

Fluorescentes LED



Figura 35: Número: Luminaria LED 18 w, 220 V

### Características

- Lúmenes 1850 lm
- Color de luz Fría
- Horas de duración 30000 h
- Voltaje 100-240 V

- Tipo Tubo
- Potencia 18 W
- Tipo de foco Led
- Tipo de rosca G13

Fuente: (PROMART, 2019)

### 3.4. Realizar un análisis económico determinando presupuestos y beneficios

#### 3.4.1. Inversiones

##### 3.4.1.1. En Activos industriales, soles:

Transformador trifásico Sn = 500 KVA:	40,500
Banco de condensadores Trifásicos, 5 x 20 KVAR 2,500	
Controlador automático:	3,500
Contactores electromagnéticos, 380 V, 50 A, 5 piezas:	2,200
Grupo electrógeno Sn = 500 KVA, 380 V, 60 Hz	33,700
Luminarias LED, 1850 lm, 220 V, 18 w, 400 piezas	6,000
Softstarter para motores eléctricos: 12 piezas	4,200
<b>Sub total 1:</b>	<b>92,600</b>

##### 3.4.1.2. En mano de obra, soles

• Instalación, pruebas y puesta en servicio de transformador:	3,500
• Instalación, pruebas, calibración y puesta en servicio de sistema de compensación del factor de potencia	2,500
• Instalación, pruebas y puesta en servicio de grupo electrógeno	3,000
<b>Subtotal 2:</b>	<b>9,000</b>

##### 3.4.1.3. Materiales e insumos

• Tablero de Transformación trifásico	4,500
• Tablero de compensación del factor de potencia	3,200

• Tablero de transferencia automático del grupo electrógeno	6,500
• Ferretería eléctrica:	3,500
<b>Sub total 3:</b>	<b>17,700</b>
<b>Total, sin Gastos generales:</b>	<b>119,300</b>
<b>Gastos generales: 8% Total:</b>	<b>9,544</b>

➤ **Total, monto de inversión: 119,300 + 9,544 = 128,844 soles**

### 3.4.2. Beneficios económicos

#### 3.4.2.1. Beneficio por reducción de pérdidas en transformadores

- Pérdidas actuales en transformadores
- Los dos transformadores están en servicio, debiendo estar solamente uno solo, de 750 KVA, siendo aún de mucha capacidad

#### **Pérdidas en operación de los transformadores de 750 KVA:**

Eficiencia en operación: 95.60 %

Carga individual, Pu-tr: 132.7 KW

Factor de potencia del SEP: 0.9566

#### **Pérdida de potencia en operación individual, Pp-unit:**

$$P_{p-unit} = (1 - \eta_{Tr}) * P_{u-Tr}$$

$$P_{p-unit} = (1 - 0.956) * 132.7 = 5.76 \text{ KW}$$

#### **Potencia de pérdida total en transformadores, PpT-Tr:**

$$P_{pT-Tr} = N_{roTr}(KW) * P_{unit-p-Tr}(KW)$$

$$2 \text{ transf} * 5.76 \text{ KW/transf} = 11.52 \text{ KW}$$

Tiempo de operación anual: 8,450 h/año

Costo unitario de energía eléctrica: 0.235 soles/KW.h

**Costo de pérdida de potencia en transformadores actuales, CEE-Tr:**

$$C_{PEE} = P_{p-T}(KW) * T_{po-oper} \left( \frac{h}{año} \right) * C_{unit-EE} \left( \frac{soles}{KW-h} \right)$$

$$C_{PEE-Tr} = 11.52(KW) * 8450 \left( \frac{h}{año} \right) * 0.235 \left( \frac{soles}{KW-h} \right) = 22,875.84 \frac{soles}{año}$$

**Pérdida en operación en transformador nuevo, de 500 KVA:**

Eficiencia en operación: 98.7 %

Carga individual, Pu-tr: 265.40 KW

Factor de potencia del SEP: 0.99

**Pérdida de potencia en operación individual:**

$$P_{p-Tr} = (1 - \eta_{Tr}) * P_{Tr}$$

$$P_{p-Tr} = (1 - 0.99) * 265.4 = 2.654 KW$$

Tiempo de operación anual: 8,450 h/año

Costo unitario de energía eléctrica: 0.235 soles/KW-h

**Costo proyectado de pérdida de potencia en transformador nuevo, CEE-Tr:**

$$C_{PEE-TrN} = P_{p-TN}(KW) * T_{po-oper} \left( \frac{h}{año} \right) * C_{unit-EE} \left( \frac{soles}{KW-h} \right)$$

$$C_{PEE-TrN} = 2.654KW * 8450 \frac{h}{año} * 0.235 \left( \frac{soles}{KW-h} \right) = 5,270.18 \frac{soles}{año}$$

**Beneficio económico por cambio de transformador, Bneto-Tr**

$$B_{neto-Tr} = C_{EE-Tr} - C_{EE-TN} = 22875.84 - 5270.18 = 17,605.66 \frac{soles}{año}$$

### 3.4.2.2. Beneficio económico por cambio de fluorescentes con vapor de mercurio por luminarias LED

**Potencia actual de fluorescentes actuales:**

$$400 \text{ piezas} * 36 \text{ w/pieza} = 1440 \text{ w} = 14.4 \text{ KW}$$

Potencia con luminarias LED:

$$400 \text{ piezas} * 18 \text{ w/pieza} = 7200 \text{ w} = 7.20 \text{ KW}$$

**Costo de energía en luminarias actuales, CEE-LF:**

$$C_{EE-LF} = 14.4(\text{KW}) * 8450 \left( \frac{\text{h}}{\text{año}} \right) * 0.235 \left( \frac{\text{soles}}{\text{KW} - \text{h}} \right) = 28,594.80 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

**Costo de energía eléctrica en luminarias LED actuales, CEE-LED:**

$$C_{EE-LED} = 7.20(\text{KW}) * 8450 \left( \frac{\text{h}}{\text{año}} \right) * 0.235 \left( \frac{\text{soles}}{\text{KW} - \text{h}} \right) = 14,297.40 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

**Beneficio económico por cambio de Lámparas fluorescentes por luminarias LED**

$$B_{\text{neto-LED}} = C_{EE-Tr} - C_{EE-TN} = 28,594.8 - 14,297.4 = 14,297.4 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

### 3.4.2.3. Beneficio económico por cambio de calificación tarifaria, de Cliente en Horas punta a cliente en horas Fuera de Punta

El uso de dispositivos de arranque suave y la utilización de los motores de las bombas de agua fuera del horario pico (entre 6:00 y 11:00 p.m.) permitirá una clasificación tarifaria del templo como HFP.

Potencia actual de redes de distribución para usuarios: 265.42 KW

Potencia activa promedio mes en Horas punta, PHP-mes:

$$P_{\text{HP-mes}} = \frac{EE_{P-HP} \left( \frac{\text{KW} - \text{h}}{\text{mes}} \right)}{T_{\text{po-HP}} \left( \frac{\text{h}}{\text{mes}} \right)}$$

**En la cual:**

EEP-HP: Energía activa consumida en Horas Punta, KW-h/mes

Tpo-HP: Tiempo de operación en HP mensual, h/mes = 125 h/mes

Para enero 2018: PHP-mes: 25,384 KW-h/mes /125 h/mes = 203 KW

Marzo 2018: 23,613/125 = 188.90 KW

Junio 2018: 20,799/125 = 166.40 KW

Agosto 2018: 21,974/125 = 175.80 KW

Septiembre 2018: 18,423/125 = 147.40 KW

Promedio mes de potencia activa redes de distribución para usuarios:

$$P_{HP} = 176.30 \text{ KW}$$

Calificación tarifaria promedio:

$$CT = \frac{EE - \text{en HP}}{EE - \text{con PRGU}} = \frac{176.30 \text{ KW} * 125 \frac{\text{h}}{\text{mes}}}{265.42 \text{ KW} * 125 \frac{\text{h}}{\text{mes}}} = 0.664 > 0.5$$

Potencia proyectada en HP, con rediseño:

$$176.30 - 7.22 - 40 = 129.08 \text{ KW}$$

Calificación tarifaria promedio, con rediseño del SEP:

$$CT = \frac{EE - \text{en HP}}{EE - \text{con PRGU}} = \frac{129.08 \text{ KW} * 125 \frac{\text{h}}{\text{mes}}}{265.42 \text{ KW} * 125 \frac{\text{h}}{\text{mes}}} = 0.486 < 0.5$$

Con esta última potencia, de 129.08 KW; se podrá obtener la calificación como cliente fuera de punta, HFP, con lo cual el Templo mormón de Trujillo ya no pagará 54 soles/KW-mes como hasta ahora, sino, solamente 26.6 soles/KW-mes

**Pago por potencia activa de generación para usuarios, CPGU-HP Actual:**

$$C_{PGU-HP} \left( \frac{\text{soles}}{\text{año}} \right) = P_{GU-HP} \left( \frac{\text{KW}}{\text{mes}} \right) * T_{po-oper} \left( \frac{\text{meses}}{\text{año}} \right) * C_{unit-PGU-HP} \left( \frac{\text{soles}}{\text{KW - mes}} \right)$$

Cunit-PGU-HP: Costo unit de potencia generación para usuarios HP = 54 soles/(KW-mes)

$$CPGU-HP = 265.4 \text{ KW} * 54 \text{ soles/KW-mes} * 12 \text{ meses/año} = 171,976.20 \text{ soles/año}$$

**Proyectada, con implementación del rediseño, CPGU, HFP:**

$$C_{PGU-HFP} \left( \frac{\text{soles}}{\text{año}} \right) = P_{GU-HFP} \left( \frac{\text{KW}}{\text{mes}} \right) * T_{po-oper} \left( \frac{\text{meses}}{\text{año}} \right) * C_{unit-PGU-HFP} \left( \frac{\text{soles}}{\text{KW - mes}} \right)$$

Cunit-PGU-HP: Costo unit potencia generación para usuarios HP = 26.6 soles/(KW-mes)

$$CPGU-HFP = 250.68 \text{ KW} * 26.6 \text{ soles/KW-mes} * 12 \text{ meses/año} = 80,017 \text{ soles/año}$$

**Beneficio económico por cambio de calificación tarifaria:**

$$B_{n-CT} = C_{PGU-HP} - C_{PGU-HFP}$$

$$B_{n-CT} = 171,976.20 - 80,017 = 91,959.20 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

Tabla 4: Costo de energía activa contratada (HIDRANDINA, 2019)\*

Descripción	Unidad	Valor
<b>Cargo Fijo Mensual</b>	S./mes	6.7
<b>Cargo por Energía Activa en Punta</b>	S./KW.h	0.24
<b>Cargo por Energía Activa Fuera de Punta</b>	S./KW.h	0.195
<b>Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:</b>		
<b>Presentes en Punta</b>	S./KW-mes	54
<b>Presentes Fuera de Punta</b>	S./KW-mes	26.6
<b>Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:</b>		
<b>Presentes en Punta</b>	S./KW-mes	14.6
<b>Presentes Fuera de Punta</b>	S./KW-mes	14.8
<b>Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total Energía Activa</b>	S./KVAR.h	0.0428

\* Tarifa en media tensión trifásica (MT3).

Beneficios económicos totales proyectados, por implementación del rediseño del SEP del templo mormón de Trujillo, B-T.

$$B-T = 17,605.66 + 14,297.4 + 91,959.20 = 123,862.26 \text{ soles/año}$$

Tiempo estimado de retorno sobre la inversión, R.O.I. (Return over investment)

$$R. O. I. (\text{años}) = \frac{\text{Inversión (soles)}}{\text{Beneficio neto } \left(\frac{\text{soles}}{\text{año}}\right)}$$

$$R. O. I. (\text{años}) = \frac{128,844 \text{ soles}}{123,862.26 \frac{\text{soles}}{\text{año}}} = 1.04 \text{ años}$$

Se observa que la inversión en el rediseño del SEP del templo mormón se recuperará en 1.04 años, período bastante razonable, lo que hace atractiva la inversión

## IV. DISCUSIÓN

1. Al realizar el balance de energía del sistema eléctrico de potencia se utilizó los datos registrados en las facturas eléctricas suministrados por el Templo Mormón, primero en energía y luego, teniendo en cuenta las horas de operación tanto en horas punta como en horas fuera de punta, se determinó el triángulo de potencias y de energía, en energía activa sientio de 596,545 KW-h/mes y en potencia activa de 265.492 KW, los valores medidos arrojaron valores similares, del orden de 262 KW, pero fluctuando entre un 3 a 5 % a carga normal, aunque esta es variable, dependiendo de la hora del día, se pone o se entra en servicio diversas cargas de aire acondicionado. Se puede señalar que el método empleado es preciso, pues la variación entre lo registrado y medido es baja:  $(265.492 - 262) / 265.492 = 1.315 \%$ , indicando que la precisión es aceptable.
2. Se dimensionó bancos nuevos de condensadores, de 25 KVAR cada uno, obteniendo un aumento del factor de potencia actual, desde 0.95 hasta 0.99, se reduce la intensidad de corriente en 17 %, aumentando el rendimiento en 1.75% en conductores. Con el valor de  $\cos \varphi = 0.99$ , no se debe pagar energía reactiva, de acuerdo a la ecuación:  $C_{\text{energ-reactiva}} = (Q - 0.3 * P) \text{ KVAR} * T_{\text{po}}(\text{h/mes}) * C_{\text{unitQ}}(\text{soles/mes})$ , en la cual se observa que, al reducirse la potencia reactiva que se absorbe de la red, el valor del paréntesis se iguala a cero, que sería el correspondiente al valor mínimo de factor de potencia para no pagar energía reactiva, de 0.955, y el valor máximo del factor de potencia, de 0.99, en el cual el valor del paréntesis se vuelve negativo, no se debe aumentar más, pues la empresa de distribución de energía aplica multa, es decir, no se debe inyectar energía reactiva a la red
3. Los condensadores compensadores del  $\cos \varphi$  fallan debido al excesivo calentamiento, absorben mucho amperaje, pues tienen impedancia reactiva capacitiva muy pequeña:

$$\text{Intensidad condensadores: } I_c = \frac{20000}{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * \text{sen}18.19} = 168 \text{ A}$$

Reactancia capacitiva del banco de condensadores:  $\frac{20000}{3 * 168^2} = 0.24 \Omega$

Entonces, para asegurar una mayor vida útil de operación del banco de condensadores, se optó por seleccionar el accionamiento de los bancos con la ayuda de contactores electromagnéticos trifásicos, de  $I_n = 400 \text{ A}$ , con inductancias por fase, de  $5 \Omega$ , conectadas en serie con la reactancia de fase de cada capacitor, la intensidad nueva en capacitor resulta ser 11.30, reduciendo la intensidad absorbida por el capacitor, en 14.86 veces, lo cual permitirá aumentar la vida útil de los capacitores.

4. Para el rediseño del SEP del templo mormón de Trujillo, se cambia la tensión trifásica de 220 V, sin neutro, por tensión trifásica en 360 V, con neutro, en cuatro hilos, lo que asegura una mayor protección y eficiencia de operación, del orden de 3.5 %. En el caso del conductor con resistencia de línea igual a  $0.18 \Omega$ , que transmite 50 KW, con 220 V y  $\cos j = 0.955$ , el amperaje por el conductor es de 137.40 A, con el cambio de tensión a 380 V, para la misma potencia de 50 KW y el mismo factor de potencia, 0.955, la intensidad de corriente por el cable será de 79.54 A, la temperatura del mismo se reduciría desde  $51.11 \text{ }^\circ\text{C}$  hasta  $37.12 \text{ }^\circ\text{C}$ , la pérdida de potencia en el cable se reducirá desde 6.194 KW hasta 3.4 KW, se concluye que es conveniente el cambio de tensión, de 220 V a 380 V
5. En la sub estación de transformación se cambiará los dos transformadores de 750 KVA por uno solo de 500 KVA, de 10/0.38 kV, trifásico, D/Y, se observa que hay un total sobredimensionamiento del sistema de transformación, el templo mormón no necesita más de 500 KVA, con esta medida las pérdidas en transformadores se reducen desde 23.22 a 7.74 KW de potencia activa, es decir el ahorro sería de 15.48 KW, se concluye que es conveniente el cambio de transformadores.
6. El rediseño abarca las cargas, es decir el cambio de luminarias de vapor de sodio, con bajo factor de potencia, de 0.8, por luminarias LED, con alto factor de potencia, de 0.95. Con el cambio de las 400 luminarias se reduce la carga desde 14.4 KW hasta 7.20 KW, es decir se tendrá un ahorro de 7.2 KW, se concluye que es conveniente, pues se tendrá menor pérdidas en los conductores de alimentación a luminarias

## V. CONCLUSIONES

1. Se realizó el balance de energía del sistema eléctrico de potencia y se obtuvo como resultado los siguientes valores:

### **En Potencia, valores promedio:**

- Potencia activa: 265.492 KW
- Potencia reactiva: 80.685 KVAR
- Potencia aparente: 277.481 KVAR
- Factor de potencia: 0.96
- Potencia promedio generación en horas punta: 248.47 KW
- Potencia promedio distribución en horas punta: 265.5 KW

### **En energía, valores promedio:**

- Energía activa: 596,545 KW-h/mes
- Energía reactiva: 181,681 KVAR-h/mes
- Energía aparente: 623,598 KVAR-h/mes

2. Se analizó de compensación reactiva a aplicar:

- Factor de potencia inicial: 0.9566
- Factor de potencia proyectado: 0.99
- Potencia reactiva absorbida, inicial: 80.685 KVAR
- Potencia reactiva absorbida, final: 37.83 KVAR
- Potencia del banco de condensadores: 42.85 KVAR

3. Se instalarán dos bancos de condensadores trifásicos, de 25 KVAR cada uno y tensión de 230 V. Con la instalación de los bancos de condensadores se eliminará el pago mensual por energía reactiva, constituyendo uno de los beneficios económicos.

4. Se elaboró el rediseño del SEP del templo mormón de Trujillo, en función de los resultados de la auditoría energética aplicada

- a) **En sub-estación de transformación:** Cambio de transformadores de 750 KVA por uno solo de 500 KVA, de 10/0.38 kV, trifásico, D/Y
- b) **En celda de compensación del factor de potencia:** Cambio del sistema actual, de compensación individual por compensación centralizada, automática
- c) **En sistema de respaldo de potencia de emergencia:** Instalación de un grupo electrógeno Diesel, de 500 KVA, con transferencia automática
- d) **En cargas, sistemas de aire acondicionado:** Se realizaron las siguientes modificaciones:
- Cambio de dos motores trifásicos, de 220 V, estándar, con  $\eta$  nominal de 90% por motores de 380 V, Premium, con  $\eta$  nominal de 94.5%.
  - Cambio de fluorescentes de vapor de mercurio; 350 piezas, 1200 lumen; 220 V, 36 w c/u por 400 fluorescentes LED, 1320 lumen, de 16 w c/u.
  - Instalación de celda con analizador de redes
5. Se realizó un análisis económico determinando presupuestos y beneficios
- El monto de inversión para el rediseño del sistema eléctrico de potencia del templo mormón asciende a 128,844 soles,
  - El beneficio económico proyectado por rediseño del templo mormón de Trujillo es de 123,862 soles por año
  - El tiempo de regreso de la financiación sería de 1.02 años
  - Se concluye que es una inversión factible y rentable por su período retorno de la inversión, y teniendo en cuenta que el período de vida útil de los equipos alcanza los 15 años.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Debido a la proyección económica positiva, se recomienda implementar el estudio de rediseño del sistema eléctrico de potencia en el templo mormón, por los beneficios técnicos y económicos que se obtienen: mayor seguridad operacional, reserva aumentada de potencia de transformación, mayor calidad de energía, pues aumenta el factor de potencia y se reduce el pago por facturación eléctrica.
2. Se recomienda, luego de la implementación del rediseño, que se elabore un estudio de calidad de energía, determinando la distorsión armónica en tensión y la distorsión armónica en corriente, definiendo si cumplen con la normativa internacional, que es de 5 % como máximo en tensión y de 15 % como máximo en corriente
3. Se recomienda, debido a que es la principal carga, hacer un estudio técnico económico, sobre la factibilidad de cambio del gas refrigerante actual, R22 por un gas refrigerante del tipo ecológico, que tenga la propiedad de tener alta temperatura de condensación, para asegurar mayor operatividad en verano, y que se pueda obtener mayor eficiencia frigorífica que con el gas actual. Con esto se lograría reducir la carga de los motores que accionan los compresores frigoríficos en un 20 a 25%, que es atractivo
4. Es importante actualizar los diagramas unifilares, en relación al nuevo rediseño, esto se lograría con la participación de los ejecutivos del Templo Mormón.
5. Se sugiere preparar un programa de capacitación para el personal de mantenimiento y de operación, para el personal respectivo, habida cuenta que se tendrá nueva tecnología eléctrica
6. Establecer un plan de auditoría eléctrica con una frecuencia mensual, en base a formatos para poder evaluar en tiempo real los resultados y aplicar las medidas necesarias para sostener los resultados

## REFERENCIAS

**Alexander, Charles K. 2006.** *Fundamentos de circuitos electricos - Tercera edición.* Mexico : Mac Graw - Hill Interamericana, 2006.

**ALVARADO, sofia. 2014.** *Diseño de los Sistemas Electticos de Emergencia del Hospital Dr. Carlos Luis Valverde Vega.* Costa Rica : s.n., 2014.

**Boylestad, Robert L. 2004.** *Introducción al analisis de circuitos-Decima edición.* mexico : Prentice Hall, 2004.

**CAMARGO OCHOA, Marcio André. 2013.** *Diseño del Sistema Eléctricode Potencia Para la Ampliación de Plantaa Beneficio de la Compañia Minera Shougang Hierro Perú S.A.A.* Huancayo Perú : s.n., 2013.

**ESPINOZA SURCO, Nathaly Mary y BELTRÁN PALOMINO, Juan José. 2016.** *mejoramiento del sistema eléctrico de la ciudad de Puerto Maldonado en media tensión* . Cusco : s.n., 2016.

**Harper, Enroiquez. 2006.** *El ABC de la calidad de energía eléctrica.* Mexico : Limusa Noriega Editores, 2006.

**HEREDIA NORIEGA, Sara Elena. 2012.** *Rediseño y Ampliación del Sistema Eléctrico de la Empresa Inplastic.* Guayaquil Ecuador : s.n., 2012.

**Mayer, Rolf A. 1985.** *Matemática aplicada para electrotecnia.* Alemania : Sociedad alemana de cooperación técnica (GTZ)., 1985.

**Müller, W. 1984.** *Electrotecnia de potencia curso superior.* Alemania : REVERTÉ S. A., 1984. 84-291-3455-7.

**Nilson, James W. 2005.** *Circuitos eléctricos - Sétima edición.* Madrid - España : Pearson Prentice Hall, 2005. 84-205-4458-2.

**Oliva, Germán Santamaría Herranz - Agustin Castejón. 2009.** *Electrotecnia.* España : EDITEX S. A., 2009. 978-84-9771-536-2.

**TORRES GUTIERREZ, David Omar. 2017.** *Localizaciòn òptima de capacitores en redes de distribuciòn para mejorar la eficiencia energètica del sistema elèctrico Chungar - Volcan.* Huancayo Perù : s.n., 2017.

# Anexo 4: Recibo de luz mes marzo 2018 Templo Mormón Trujillo.



Recibo N° 501-45597391  
Huanchaco/Trujillo

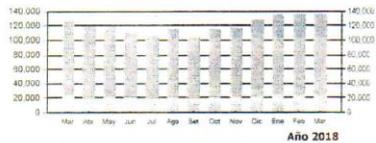
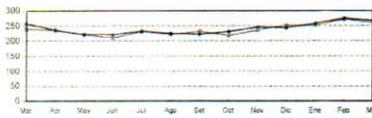
Recibo por Consumo del 01/03/2018 al 31/03/2018

Cliente: Asociación Peruana de la Iglesia De Jesucristo De Los Santos de los Últimos Días  
R.U.C.: 20145915164  
Dirección: Av. Mansiche N° 01-B Urb. Valle Moche - Huanchaco / Trujillo / La Libertad  
Referencia:  
Ruta: 18-165-14  
Tarifa: MT3 Serie Medidor: 00000015499519 - Electrón.  
Medición: Media Tension N° Hilos Medidor: 4  
Tensión y SED: 10 kV / E-304632 Modalidad: Potencia Variable  
Sist. Eléctrico: SE0122 Trujillo (ST2) Inicio Contrato: 28/03/2014  
Tipo Suministro: Trifásica-Aérea(C5.5) Termino Contrato: 27/03/2019

Marzo-2018

CÓDIGO 59975850

Magnitud Leida	Lectura Anterior	Lectura Actual	Diferencia	Demanda	Concepto	Consumo	Precio Unitario	Total
Energía Activa Total (kWh)	11,444,731.8	11,742,925.7	298,193.9	135,542,546.3	Cargo Fijo		6,587.1	6.59
Energía Activa Hora Punta (kWh)	2,298,466.6	2,151,979.7	-146,486.9	53,510.1	Cargo por Reparación y Mantenimiento de la Corriente			16.85
Energía Activa Fuera Punta (kWh)	9,346,265.2	9,590,946.0	244,680.8	111,219,797.9	Energía Activa HP	24322,7484	0,2302	5599,10
Energía Reactiva (kVArh)	3,299,789.8	3,385,202.5	85,412.6	42,460,184.8	Energía Activa FP	111219,7979	0,1873	20831,47
Potencia Hora Punta (kW)	0,5975	0,5724	-0,2524	260,181.6	Energía Reactiva	1797,4209	0,0422	75,85
Potencia Fuera Punta (kW)	0,8037	0,5867	-0,2170	268,681.6	Pot. Uso Redes Distrib. HP	270,5452	13,4800	3646,95
Factor Calificación: 0,7296	Fac. Medic.: 454,5450				Pot. Activa Generación HP	266,6816	56,7900	15144,85
					Alumbrado Público (Alicuota: S/0,4427)			1328,10
					SUB TOTAL			46649,75
					Imp. Gral. a las Ventas			8366,36
					Saldo por redondeo	1,0000	-0,0200	-0,02
					Aporte Ley Nro. 28749	135542,5463	0,0063	1125,00
					<b>TOTAL RECIBO DE MARZO-2018</b>			<b>56171,70</b>
					Aporte FOSE(Ley N°27510) S/ 1742,43			



Ingreso 2 Últimos Meses Facturados  
Ene - 2018 S/ 41757,40 Feb - 2018 S/ 56514,90

HISTORICO DE CONSUMOS Y DEMANDAS

	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
PHP kWh	17196	18833	17211	18358	17411	17985	17174	18051	16102	15682	11071	10942	11220
PFP kWh	2745	1816	2216	2055	1647	1753	17186	2561	11256	2248	10265	2537	14323
PFP kW	257,725	275,227	222,229	221,914	150,246	125,140	132,818	231,720	148,101	246,842	256,279	278,428	205,696
PHP kW	179,402	227,921	217,376	217,204	191,721	207,468	232,968	218,207	237,522	217,442	251,739	271,538	200,148

Emisión 04/04/2018 Vencimiento 23/04/2018



TOTAL S/\*\*\*\*\*56,171.70

Su AMT es : A3191 - TOE105

de SE de Potencia : S.E. TRUJILLO NOROESTE

SON CINCUENTA Y SEIS MIL CIENTO SETENTA Y UNO Y 70/100 SOLES  
(\*) El importe en letras hace referencia al total del recibo del mes de Marzo-2018 Comprobante emitido según RS-007-99 SUNAT Cap. I Art. 4 inciso 6.1.d.

Si realiza el pago vía transferencia bancaria debe enviar un correo a: pagos@hidrandina.com.pe Revise el estado de cuenta de su recibo en: <http://www.distriluz.com.pe/ConsultaRecibos/ConsultaRecibo.asp?empresa=3>



Facturación: **Marzo-2018**  
Asociación Peruana de la Iglesia De Jesucristo De Los Santos de los Últimos Días  
Suministro: 59975850  
Dirección: Av. Mansiche N° 01-B Urb. Valle

Recibo N° 501-45597391  
Huanchaco/Trujillo

**TOTAL A PAGAR S/ \*\*\*\*\*56,171.70**



# Anexo 5: Recibo de luz mes febrero 2018 Templo Mormón Trujillo.

Recibo Nº 501-4537031  
Huanchaco/Trujillo

Recibo por Consumo del 01/02/2018 al 28/02/2018



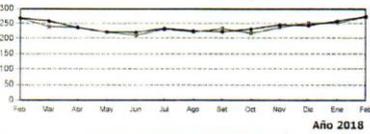
Cliente: **Asociación Peruana de la Iglesia De Jesucristo De Los Santos de los Ultimos Dias**  
 R.U.C.: **20145915164**  
 Dirección: **Av. Mansiche Nº 01-B Urb. Valle Moche - Huanchaco / Trujillo / La Libertad**  
 Referencia:  
 Ruta: **18-166-14**  
 Tarifa: **MT3**  
 Medición: **Media Tension**  
 Tensión y SED: **10 kV / E-304632**  
 Sist. Eléctrico: **SE0122 Trujillo (ST2)**  
 Tipo Suministro: **Trifásica-Aérea(C5.5)**

Febrero-2018

CÓDIGO **59975850**

Serie Medidor: 00000015499519 - Electrón.  
 Nº Hilos Medidor: 4  
 Modalidad: Potencia Variable  
 Inicio Contrato: 28/03/2014  
 Término Contrato: 27/03/2019  
 Promedio Máxima Demanda: 266.3407  
 Potencia Contratada: 500.0000  
 Calificación: Horas Punta: HorasPunta: 120

Magnitud Leida	Lectura Anterior	Lectura Actual	Diferencia	Demanda	Concepto	Consumo	Precio Unitario	Total
Energía Activa Total (kWh)	11 147 8012	11 444 7318	296 9306	134 368 3196	Cargo Fijo		6.5557	6.56
Energía Activa Hora Punta (kWh)	2 042 6181	2 098 4666	55 8505	25 386 5855	Cargo por Reposición y Mantenimiento de la Conexión			16.78
Energía Activa Fuera Punta (kWh)	9 105 1851	9 346 2652	241 0801	109 581 7541	Energía Activa HP	25386 5855	0.2284	5798.29
Energía Reactiva (kVarh)	3 197 5220	3 289 7898	92 2678	41 939 8672	Energía Activa FP	109581 7541	0.1857	20349.33
Potencia Hora Punta (kW)	0 5538	0 5975	0 5975	271 5906	Energía Reactiva	1449 3713	0.0421	61.02
Potencia Fuera Punta (kW)	0 5682	0 6037	0 6037	274 4088	Pot. Uso Redes Distrib HP	266 3407	13.3300	3550.32
Factor Calificación: 0.7709	Fac.Medic. 454.5450				Pot. Activa Generación HP	274 4088	56.6000	15531.84
					Alumbrado Público (Alcuota: S/ 0.5436)			1630.80
					SUB TOTAL			46944.64
					Imp. Grs. a las Ventas			8450.04
					Saldo por redondeo	1 0000	-0.0400	0.04
					Redondeo			0.02
					Aporte Ley Nro. 28749	134668 3196	0.0083	1120.24
					<b>TOTAL RECIBO DE FEBRERO-2018</b>			<b>56514.90</b>
					Aporte FOSE(Ley Nº27510) S/ 1705 62			



Importe 2 Últimos Meses Facturados  
 Dic - 2017 S/ 50290 80  
 Ene - 2018 S/ 41757 40

HISTORICO DE CONSUMOS Y DEMANDAS

	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb
SUB TOTAL	3753	10771	3693	3721	8936	8751	10589	8275	3001	2817	10672	11071	10682
SUB TOTAL	2379	3384	1969	2294	2501	1667	2192	1916	3541	2426	2286	2583	3187
PPH kW	14.426	17.725	15.223	157.725	79.353	123.049	125.542	122.818	131.728	145.181	142.943	158.725	174.438
PPF kW	296.041	219.408	217.976	371.876	711.354	711.219	122.408	122.908	198.287	217.389	181.484	161.729	171.508

Emisión: 04/03/2018      Vencimiento: 22/03/2018      TOTAL: S/\*\*\*\*\*56,514.90

Su AMT es : A3191 - TOE105

de SE de Potencia : S.E. TRUJILLO NOROESTE

Son CINCUENTA Y SEIS MIL QUINIENTOS CATORCE Y 80/100 SOLES  
 (\*) El importe en letras hace referencia al total del recibo del mes de Febrero-2018 Comprobante emitido según RS-007-99 SUNAT Cap. I Art. 4 inciso 6.1.d.

Si realiza el pago via transferencia bancaria debe enviar un correo a: [pago@hidrandina.com.pe](mailto:pago@hidrandina.com.pe) Revise el estado de cuenta de su recibo en: <http://www.distribuz.com.pe/ConsultaRecibos/ConsultaRecibo.asp> x?empresa=3



Facturación: **Febrero-2018**  
 Asociación Peruana de la Iglesia De Jesucristo De Los Santos de los Ultimos Dias  
 Suministro: **59975850**

Recibo Nº: 501-4537031  
 Huanchaco/Trujillo  
**TOTAL A PAGAR S/ \*\*\*\*\*56,514.90**

# Anexo 6: Recibo de luz mes agosto 2018 Templo Mormón Trujillo.

Recibo N° 501-46858571  
Huanchaco/Trujillo



Recibo por Consumo del 01/08/2018 al 31/08/2018

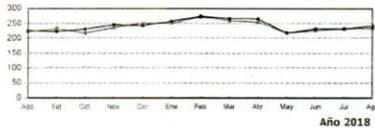
Cliente: Asociación Peruana de la Iglesia De Jesucristo De Los Santos de los Últimos Dias  
R.U.C.: 20145915164  
Dirección: Av. Mansiche N° 01-B Urb. Valle Moche - Huanchaco / Trujillo / La Libertad  
Referencia: 18-165-14  
Ruta: 18-165-14  
Tarifa: MT3  
Medición: Media Tension  
Tensión y SED: 10 kV / E-304632  
Sist. Eléctrico: SE0122 Trujillo (ST2)  
Tipo Suministro: Trifásica-Aérea(C5.5)

Agosto-2018

CÓDIGO 59975850

Promedio Máxima Demanda: 266.2725  
Potencia Contratada: 500.0000  
Calificación: Horas Punta: 130

Magnitud Leída	Lectura Anterior	Lectura Actual	Diferencia	Demanda	Concepto	Consumo	Precio Unitario	Total
Energía Activa Total (kWh)	12.792.0551	13.055.5345	263.4794	119.763.2439	Cargo Fijo		6.7100	6.71
Energía Activa Hora Punta (kWh)	2.342.9166	2.391.2593	48.3427	21.973.9326	Cargo por Reposición y Mantenimiento de la Conexión			16.98
Energía Activa Fuera Punta (kWh)	10.449.1385	10.664.2752	215.1367	97.789.3113	Energía Activa HP	21973.9326	0.2253	4950.73
Energía Reactiva (kVArh)	3.703.8203	3.777.9138	74.2935	33.759.7390	Energía Activa FP	97789.3113	0.1836	17954.12
Potencia Hora Punta (kW)	0.5126	0.5163	0.5163	234.6816	Pot. Uso Redes Distrib. HP	266.2725	13.9000	3701.19
Potencia Fuera Punta (kW)	0.5120	0.5332	0.5332	242.3634	Pot. Activa Generación HP	242.3634	50.5400	12249.05
Factor Calificación: 0.6974 Fac.Medic. 454.5450					Alumbrado Público (Alicuota: S/ 0.5417)			1625.10
					Interés Compensatorio	1.0000	10.6432	10.64
					SUB TOTAL			40514.52
					Imp. Gra. a las Ventas			7292.61
					Saldo por redondeo	1.0000	0.0300	0.03
					Redondeo			0.01
					Aporte Ley Nro. 28749	119763.2439	0.0083	994.03
					TOTAL RECIBO DE AGOSTO-2018			48801.20
					Aporte FOSE(Ley N°27510) S/ 1778.35			



Importe 2 Últimos Meses Facturados  
Jun - 2018 S/ 48474.40 Jul - 2018 S/ 48822.20

HISTORICO DE CONSUMOS Y DEMANDAS

	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
PHP kWh	3640	4375	5061	5812	6672	7571	8582	9322	10196	10522	10920	11568	11782
PFP kWh	1732	1916	2241	2595	2938	3273	3590	3823	3933	3934	3934	3934	3934
HP kW	22545	222390	231723	242150	242354	252215	274438	288181	285804	278101	273458	272720	2423634
HP kW	222169	222169	218364	227392	231401	231729	231965	231914	231732	218364	227392	222169	2341815

Emisión: 04/09/2018 Vencimiento: 24/09/2018 TOTAL S/\*\*\*\*\*48,801.20

Su AMT es : A3191 - TOE105

de SE de Potencia : S.E. TRUJILLO NOROESTE

SON CUARENTA Y OCHO MIL OCHOCIENTOS UNO Y 20/100 SÓLES  
(\*) El importe en letras hace referencia al total del recibo del mes de Agosto-2018 Comprobante emitido según RS-007-99 SUNAT Cap. I Art. 4, inciso 6.1.d

Si realiza el pago via transferencia bancaria debe enviar un correo a: pagoshdna@distriuz.com.pe Revise el estado de cuenta de su recibo en: <http://www.distriuz.com.pe/ConsultaRecibos/ConsultaRecibo.asp> x?empresa=3

Hidrandina R.U.C. 20133022540

Facturación: Agosto-2018  
Asociación Peruana de la Iglesia De Jesucristo De Los Santos de los Últimos Dias  
Suministro: 59975850  
Dirección: Av. Mansiche N° 01-B Urb. Valle Moche

Recibo N° 501-46858571  
Huanchaco/Trujillo  
TOTAL A PAGAR S/ \*\*\*\*\*48,801.20

# Anexo 7: Recibo de luz mes Setiembre 2018 Templo Mormón Trujillo.

Recibo N° 501-47127920  
Huanchaco/Trujillo



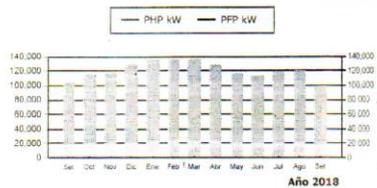
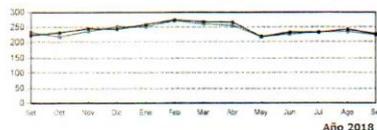
Recibo por Consumo del 01/09/2018 al 30/09/2018

Cliente: Asociación Peruana de la Iglesia De Jesucristo De Los Santos de los Ultimos Dias  
R.U.C.: 20145915164  
Dirección: Av. Mansiche N° 01-B Urb. Valle Moche - Huanchaco / Trujillo / La Libertad  
Referencia: 18-165-14  
Ruta: MT3  
Tarifa: Serie Medidor 00000015499519 - Electrón.  
Medición: Media Tension N° Hilos Medidor 4  
Tensión y SED: 10 kV / E-304632 Modalidad: Potencia Variable  
Sist. Eléctrico: SE0122 Trujillo (ST2) Inicio Contrato: 28/03/2014  
Tipo Suministro: Trifásica-Aerea(C5.5) Término Contrato: 27/03/2019

Setiembre-2018

CÓDIGO 59975850

Magnitud Leída	Lectura Anterior	Lectura Actual	Diferencia	Demanda	Concepto	Consumo	Precio Unitario	Total
Energía Activa Total (kWh)	13.055.5345	13.275.1152	219.5807	99.809.3093	Cargo Fijo		6.7100	6.71
Energía Activa Hora Punta (kWh)	2.391.2593	2.431.7910	40.5317	18.423.4816	Cargo por Reposición y Mantenimiento de la Conexión			16.98
Energía Activa Fuera Punta (kWh)	10.664.2752	10.843.3242	179.0490	81.385.8277	Energía Activa HP	18423.4816	0.2263	4150.81
Energía Reactiva (kVarm)	3.777.9138	3.842.7385	64.8247	29.465.7433	Energía Activa FP	81385.8277	0.1896	14942.44
Potencia Hora Punta (kW)	0.5163	0.4934	0.4934	224.2725	Pot. Uso Redes Distrib HP	254.1134	13.9000	3532.18
Potencia Fuera Punta (kW)	0.5332	0.4989	0.4989	226.7725	Pot. Activa Generación HP	226.7725	50.5200	11456.55
Factor Calificación : 0.6499	Fac.Medic. 454.5450				Alumbrado Público ( Alicueta - S/ 0.4753)			950.60
					SUB TOTAL			35056.27
					Imp. Gral a las Ventas			8310.13
					Saldo por reconejo	1.0000	-0.0100	-0.01
					Redondeo		-0.0100	-0.01
					Aporte Ley Nro. 28749	99809.3093	0.0083	828.42
					<b>TOTAL RECIBO DE SETIEMBRE-2018</b>			<b>42194.80</b>
					Aporte FOSE(Ley N°27510) S/ 1560.19			



Importe 2 últimos Meses Facturados  
Jul - 2018 S/ 48822.20 Ago - 2018 S/ 48801.20

HISTORICO DE CONSUMOS Y DEMANDAS

	Ser	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Ser
Consumo kWh	10273	10521	10507	10472	11271	10952	11122	10486	10022	10719	10784	10790	11986
Demanda kW	10786	10541	10226	10216	10581	10581	10222	10119	10191	10759	10197	10194	10421
PHP kW	1028760	1011275	1011051	1012616	1011216	1011548	10114816	101128104	10111581	101120269	101122720	1011240304	1011267725
PFP kW	1012288	1012100	1012100	1012100	1012100	1012100	1012100	1012100	1012100	1012100	1012100	1012100	1012100

Emisión 04/10/2018 Vencimiento 23/10/2018 TOTAL S/\*\*\*\*\*42,194.80

Su AMT es : A3191 - TOE105

de SE de Potencia : S.E. TRUJILLO NOROESTE

Son CUARENTA Y DOS MIL CIENTO NOVENTA Y CUATRO Y 80/100 SOLES  
(\* El importe en letras hace referencia al total del recibo del mes de Setiembre-2018 Comprobante emitido según RS-007-99 SUNAT Cap I Art 4 inciso 6.1.d

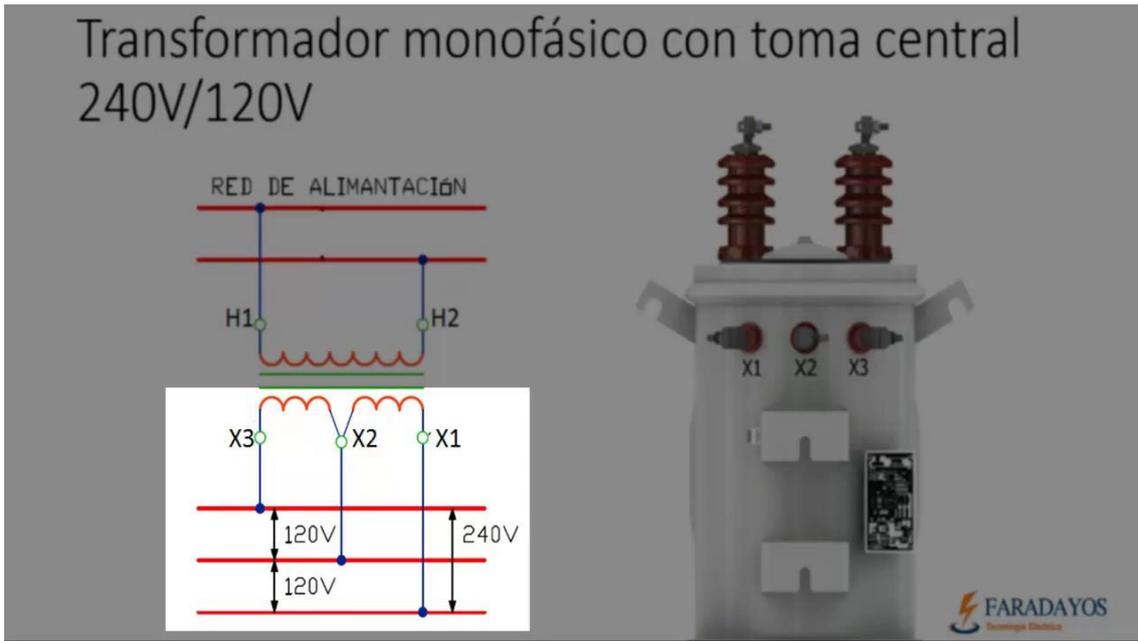
Si realiza el pago vía transferencia bancaria debe enviar un correo a: pagoshna@distriluz.com.pe Revise el estado de cuenta de su recibo en:  
<http://www.distriluz.com.pe/ConsultaRecibos/ConsultaRecibo.asp?empresa=3>

Hidrandina R.U.C. 20133023548

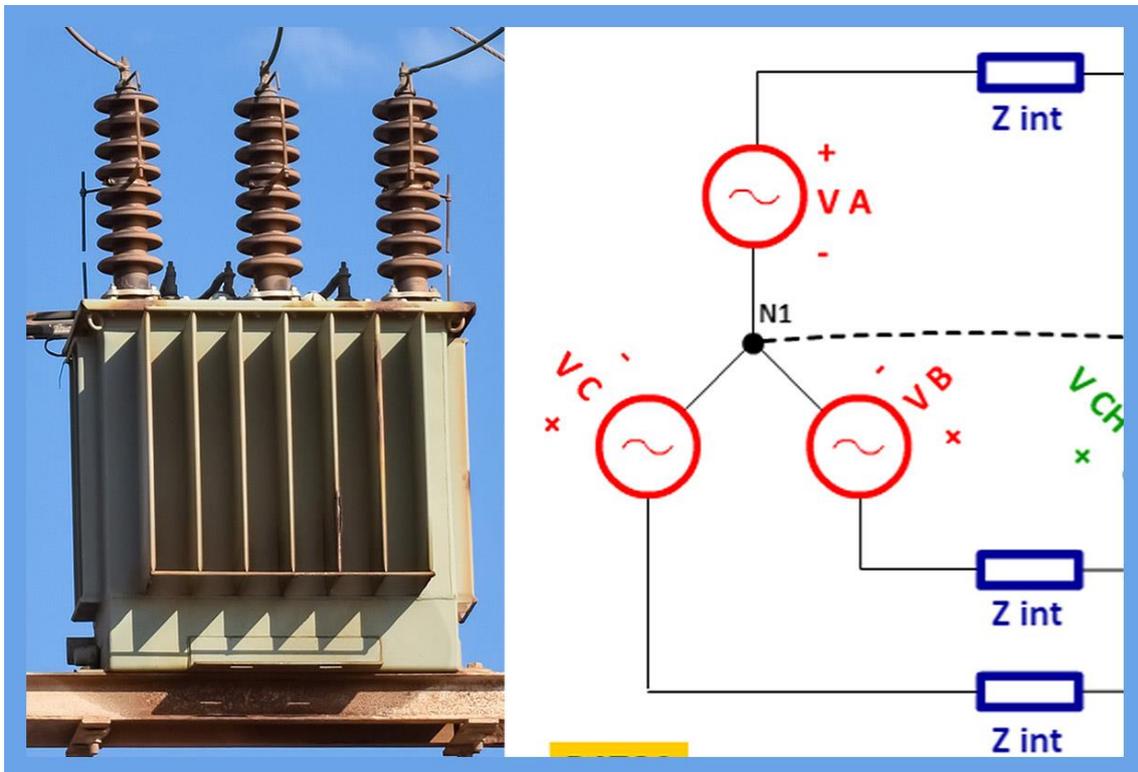
Facturación: Setiembre-2018  
Asociación Peruana de la Iglesia De Jesucristo De Los Santos de los Ultimos Dias  
Suministro 59975850  
Dirección Av. Mansiche N° 01-B Urb. Valle

Recibo N° 501-47127920  
Huanchaco/Trujillo  
TOTAL A PAGAR S/ \*\*\*\*\*42,194.80

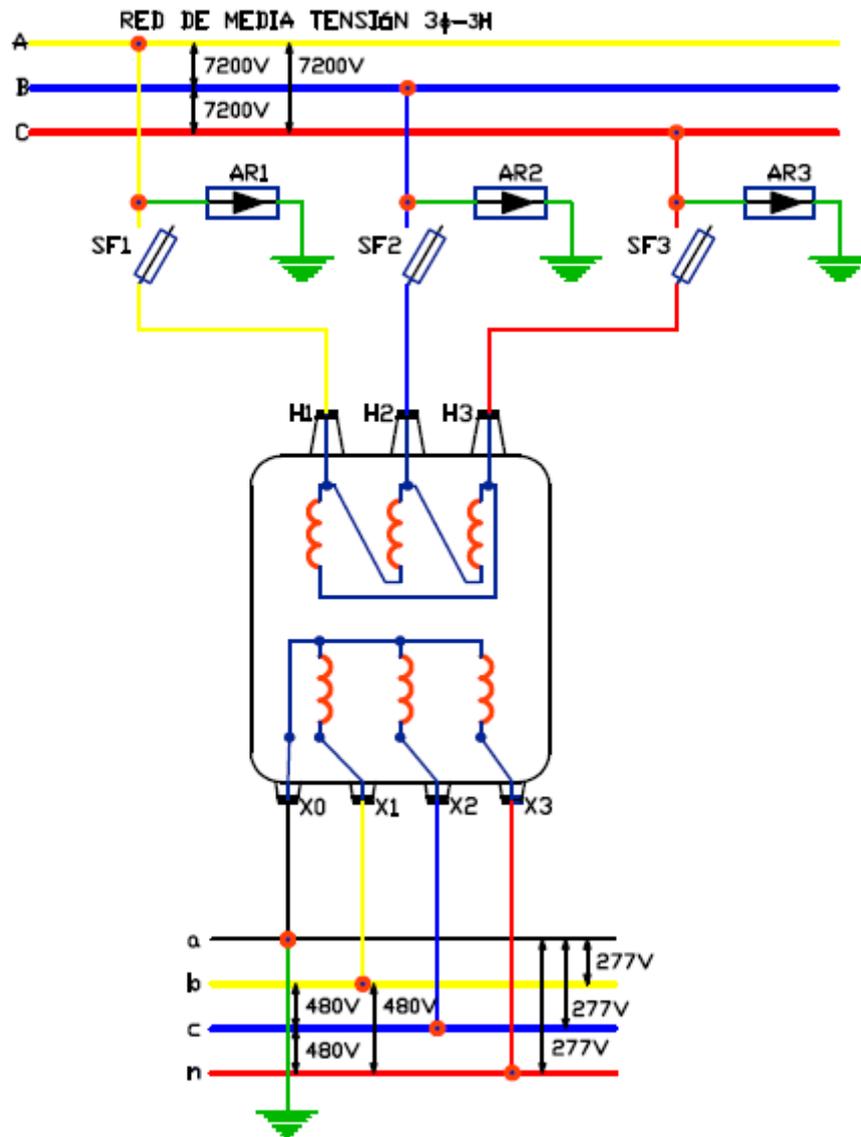
**Anexo 8:** Transformador monofásico



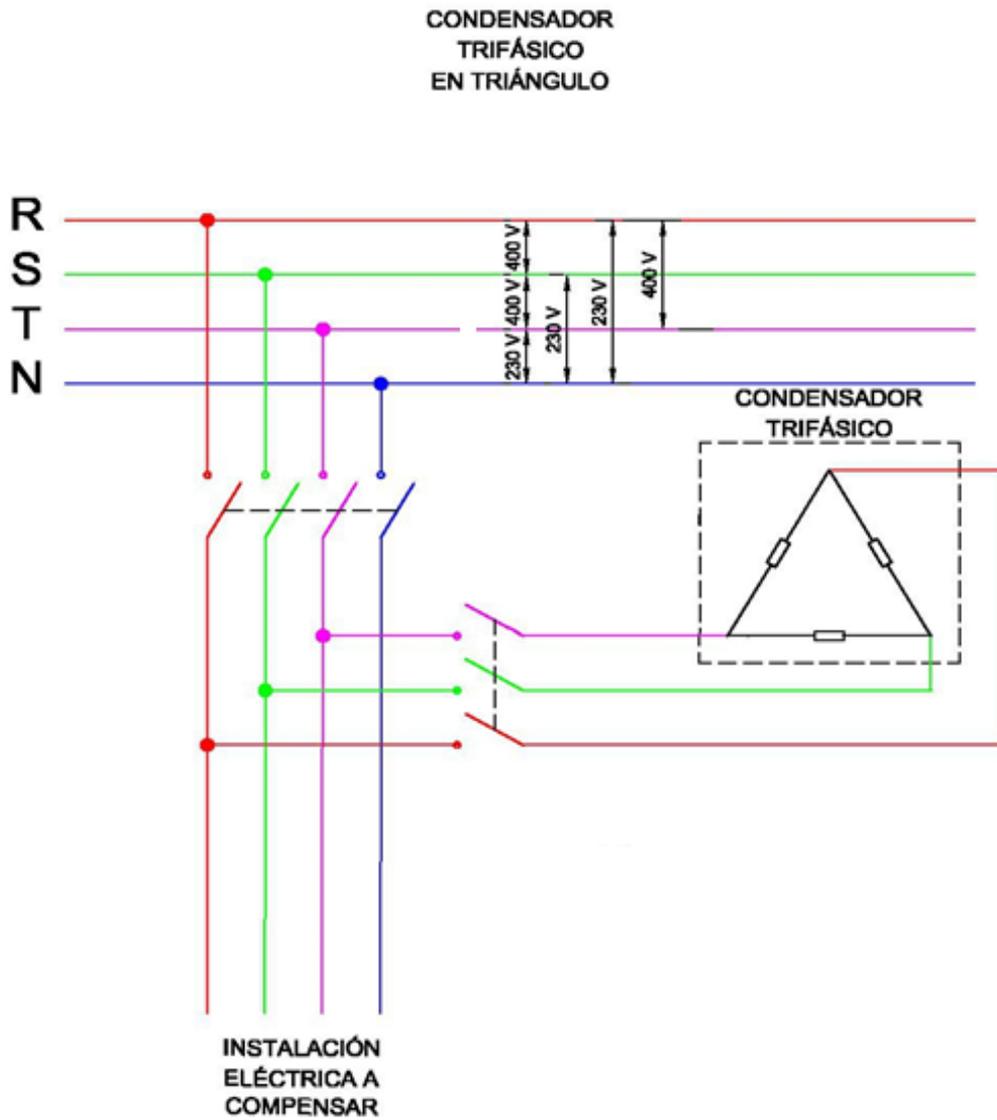
**Anexo 9:** Transformador trifásico aéreo



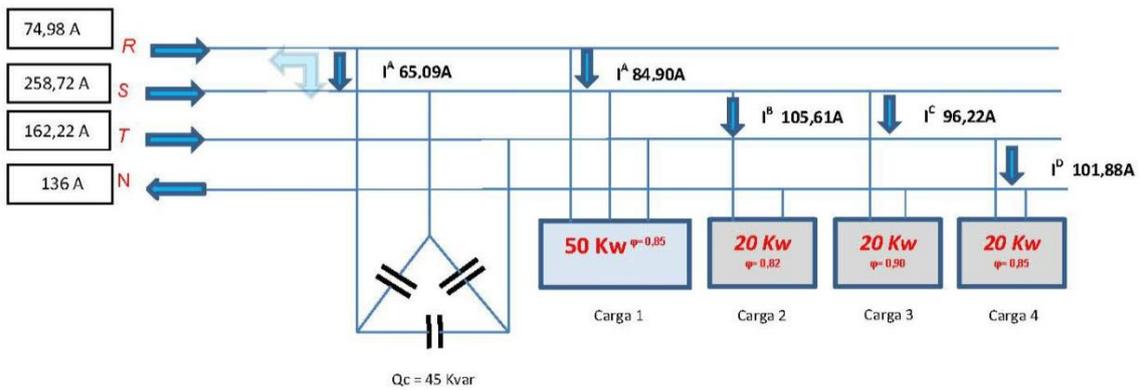
### Anexo 10: Conexión de transformador trifásico



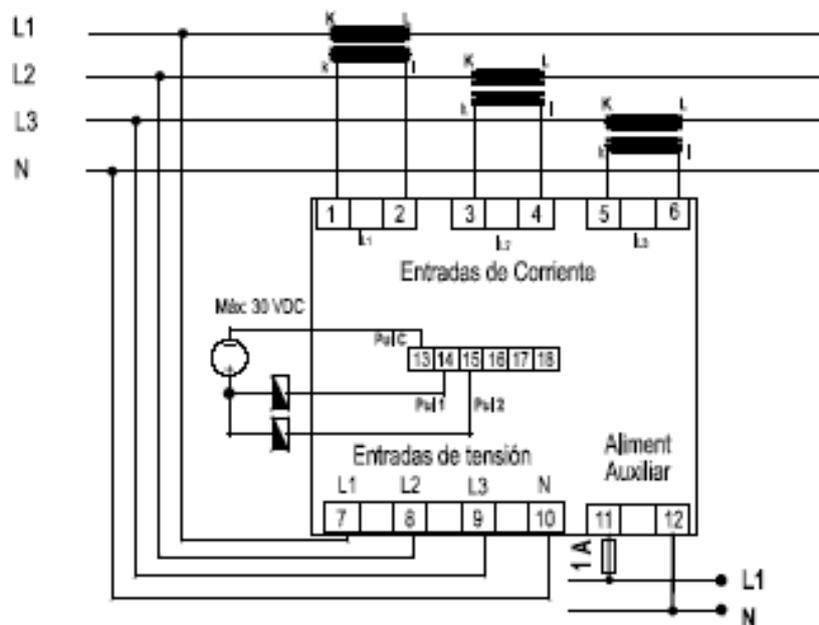
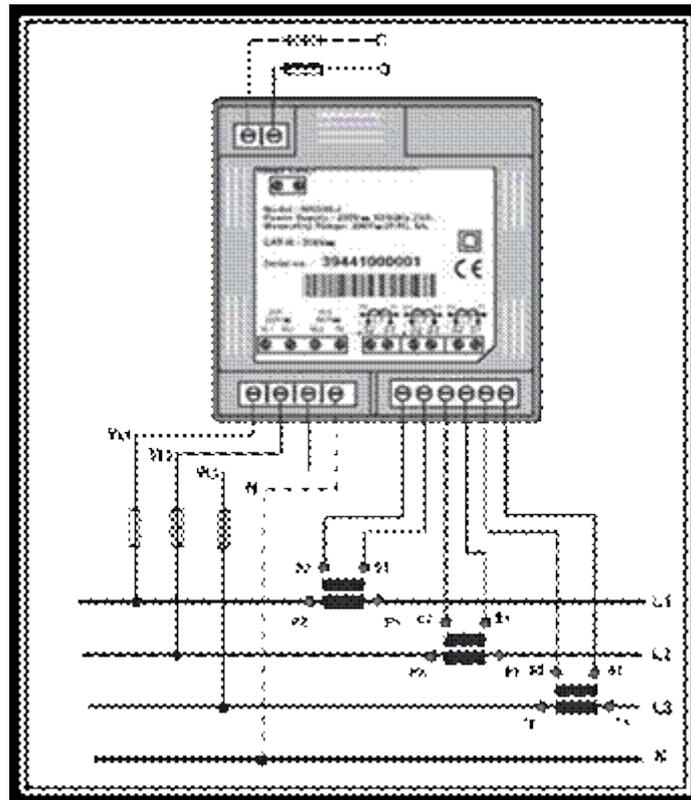
**Anexo 11:** Conexión de capacitores trifásicos en triángulo



**Anexo 12:** Compensación de factor de potencia trifásico grupal



**Anexo 13:** Instalación de analizador de redes

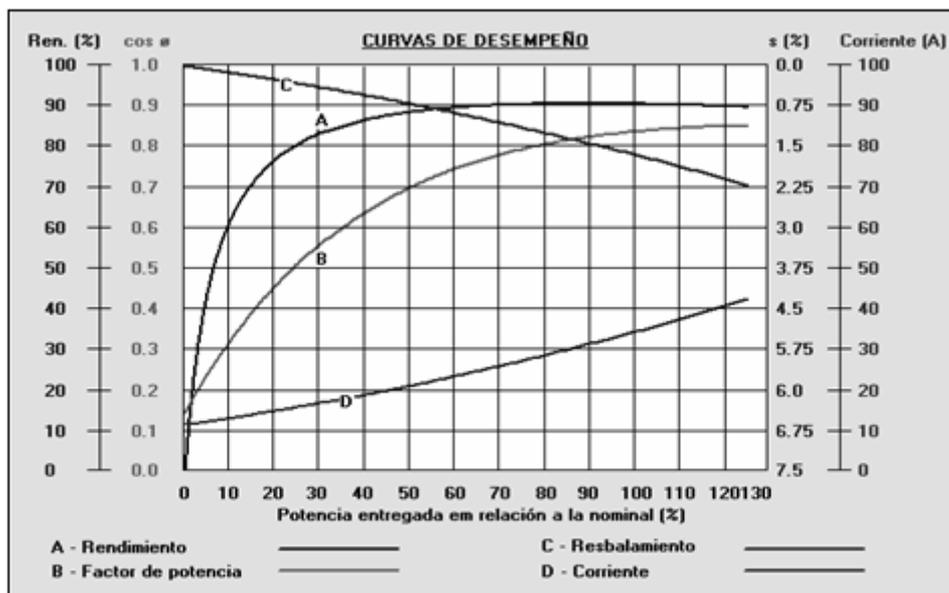


Esquema típico de conexión indirecta por medio de TI en instalaciones trifásicas desequilibradas 3 fases + Neutro

**Anexo 14:** Instalación de analizador de calidad de energía

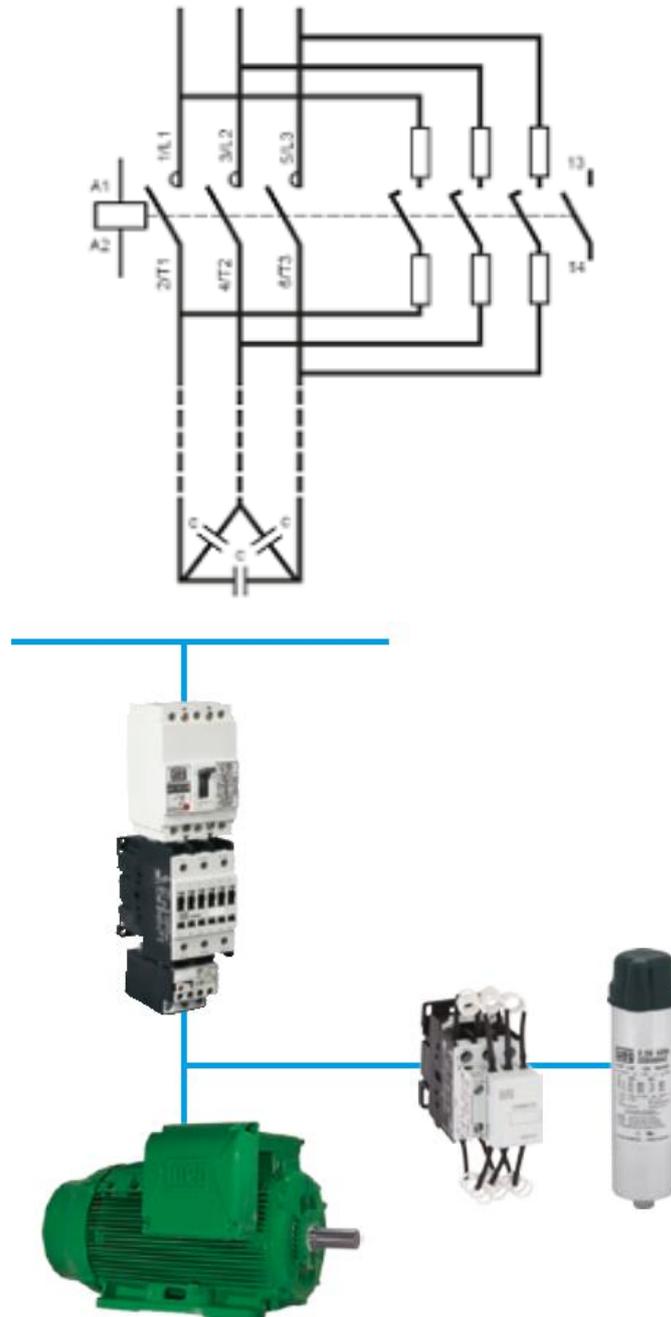


**Anexo 15:** Curvas de motor asíncrono



**Fig. 3.** Curvas característicos de un motor asincrónico.

**Anexo 16:** Diagrama de conexión de condensador trifásico en compensación individual. Fuente: (WEG, 2019)



**Anexo 17:** Tarifas eléctricas peruanas. Fuente: (HIDRANDINA, 4/May/2019)

<b>MEDIA TENSIÓN</b>		
<b>UNIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>Sin IGV</b>
<b>TARIFA MT2: TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y</b>		
<b>CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE DOS POTENCIAS 2E2P</b>		
Cargo Fijo Mensual	S/.mes	6.52
Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S/.kWh	21.69
Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S/.kWh	17.44
Cargo por Potencia Activa de Generación en HP	S/.kWh-mes	55.32
Cargo por Potencia Activa de Distribución en HP	S/.kWh-mes	12.24
Cargo por Exceso de Potencia Activa de Distribución en HFP	S/.kWh-mes	13.67
Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S/.kVar.h	4.18
<b>TARIFA MT3: TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y</b>		
<b>CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P</b>		
Cargo Fijo Mensual	S/.mes	6.52
Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S/.kWh	21.69
Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S/.kWh	17.44
Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
Presentes en Punta	S/.kWh-mes	51.53
Presentes Fuera de Punta	S/.kWh-mes	25.43
Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
Presentes en Punta	S/.kWh-mes	13.25
Presentes Fuera de Punta	S/.kWh-mes	13.47
Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S/.kVar.h	4.18
<b>TARIFA MT4: TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA</b>		
<b>Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 1E1P</b>		
Cargo Fijo Mensual	S/.mes	6.52
Cargo por Energía Activa	ctm. S/.kWh	18.49
Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
Presentes en Punta	S/.kWh-mes	51.53
Presentes Fuera de Punta	S/.kWh-mes	25.43
Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
Presentes en Punta	S/.kWh-mes	13.25
Presentes Fuera de Punta	S/.kWh-mes	13.47
Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S/.kVar.h	4.18

## Anexo 18: Conductores eléctricos trifásicos

CAPACIDAD DE CORRIENTE EN AMPERIOS CONDUCTORES TRIFASICOS DE COBRE										
CALIBRE		Temperatura ambiente: 30°C aire libre y 25°C enterrado								
		TUJ THW Y NYY Unipolar - 3 conductores por tubo								
Escala	Escala	TUJ		THW		NYY - NYSY			NYY - NYSY	
		Tensión 660V,		Tensión 750V,		Tensión 0,61KV			Tensión 0,61KV	
Métrica	Americana	Temp. Max. 60°C		Temp. Max. 75°C		Temp. Max. 80°C			Temp. Max. 90°C	
mm <sup>2</sup>	AWG/MCM	Tubo	Inst. aérea	Tubo	Inst. aérea	Tubo	Aire	Enterrado	Aire	Enterrado
5.26	10	30	40	30	45					
6		35	45	38	52	56	66	76	69	87
8.37	8	40	55	45	65					
10		46	67	50	78	83	91	99	94	117
13.3	6	55	80	65	90					
16		62	90	75	105	110	125	125	125	151
21.15	4	70	105	85	120					
25		80	120	95	140	143	165	160	168	193
33.62	2	95	140	115	160					
35		100	150	120	175	176	200	195	206	231
42.41	1	110	165	125	195					
50		125	185	145	220	217	245	230	251	271
53.51	1/0	125	195	150	230					
67.44	2/0	145	225	175	265					
70		150	230	180	270	255	295	285	317	331
85.02	3/0	165	260	200	310					
95		180	275	215	330	305	355	335	393	395
107.2	4/0	195	300	230	360					
120		210	320	245	380	345	405	380	455	448
126.7	250	215	340	255	400					
150		240	375	285	445	395	465	430	523	500
152	300	240	375	285	445					
177.4	350	260	420	310	505					
185		275	430	320	515	440	530	485	604	562
202.7	400	280	455	335	545					
240		320	500	375	595	505	620	560	722	649
253.4	500	320	515	380	615					
300		355	575	420	690	575	700	635	834	730
304	600	355	575	420	690					
380	750	400	655	490	780					
400		430	695	490	825	665	860	715	969	827
500		490	790	580	950	750	975	800	1127	936
506,7	1000	590	790	580	950					

## Anexo 19: Tablas con capacidades y potencias de transformadores trifásicos

Fuente: (FASETRON, 2019)

Antes de la compensación		Potencia del condensador en kVAr a instalar por kW de carga para elevar el factor de potencia (cos φ o la tg φ a:													
tg φ	cos φ	tg φ	0,75	0,59	0,48	0,45	0,42	0,39	0,36	0,32	0,29	0,25	0,20	0,14	0,00
		cos φ	0,8	0,86	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
2,29	0,40		1,541	1,698	1,807	1,836	1,865	1,896	1,928	1,963	2,000	2,041	2,088	2,149	2,291
2,22	0,40		1,475	1,631	1,740	1,769	1,799	1,829	1,862	1,896	1,933	1,974	2,022	2,082	2,225
2,16	0,42		1,411	1,567	1,676	1,705	1,735	1,766	1,798	1,832	1,869	1,910	1,958	2,018	2,161
2,10	0,43		1,350	1,506	1,615	1,644	1,674	1,704	1,737	1,771	1,808	1,849	1,897	1,957	2,100
2,04	0,44		1,291	1,448	1,557	1,585	1,615	1,646	1,678	1,712	1,749	1,790	1,838	1,898	2,041
1,98	0,45		1,235	1,391	1,500	1,529	1,559	1,589	1,622	1,656	1,693	1,734	1,781	1,842	1,985
1,93	0,46		1,180	1,337	1,446	1,475	1,504	1,535	1,567	1,602	1,639	1,680	1,727	1,788	1,930
1,88	0,47		1,128	1,285	1,394	1,422	1,452	1,483	1,515	1,549	1,586	1,627	1,675	1,736	1,878
1,83	0,48		1,078	1,234	1,343	1,372	1,402	1,432	1,465	1,499	1,536	1,577	1,625	1,685	1,828
1,78	0,49		1,029	1,186	1,295	1,323	1,353	1,384	1,416	1,450	1,487	1,528	1,576	1,637	1,779
1,73	0,5		0,982	1,139	1,248	1,276	1,306	1,337	1,369	1,403	1,440	1,481	1,529	1,590	1,732
1,69	0,51		0,937	1,093	1,202	1,231	1,261	1,291	1,324	1,358	1,395	1,436	1,484	1,544	1,687
1,64	0,52		0,893	1,049	1,158	1,187	1,217	1,247	1,280	1,314	1,351	1,392	1,440	1,500	1,643
1,60	0,53		0,850	1,007	1,116	1,144	1,174	1,205	1,237	1,271	1,308	1,349	1,397	1,458	1,600
1,56	0,54		0,809	0,965	1,074	1,103	1,133	1,163	1,196	1,230	1,267	1,308	1,356	1,416	1,559
1,52	0,55		0,768	0,925	1,034	1,063	1,092	1,123	1,156	1,190	1,227	1,268	1,315	1,376	1,518
1,48	0,56		0,729	0,886	0,995	1,024	1,053	1,084	1,116	1,151	1,188	1,229	1,276	1,337	1,479
1,44	0,57		0,691	0,848	0,957	0,986	1,015	1,046	1,079	1,113	1,150	1,191	1,238	1,299	1,441
1,40	0,58		0,655	0,811	0,920	0,949	0,969	1,009	1,042	1,076	1,113	1,154	1,201	1,262	1,405
1,37	0,59		0,618	0,775	0,884	0,913	0,942	0,973	1,006	1,040	1,077	1,118	1,165	1,226	1,368
1,33	0,6		0,583	0,740	0,849	0,878	0,907	0,938	0,970	1,005	1,042	1,083	1,130	1,191	1,333
1,30	0,61		0,549	0,706	0,815	0,843	0,873	0,904	0,936	0,970	1,007	1,048	1,096	1,157	1,299
1,27	0,62		0,515	0,672	0,781	0,810	0,839	0,870	0,903	0,937	0,974	1,015	1,062	1,123	1,265
1,23	0,63		0,483	0,639	0,748	0,777	0,807	0,837	0,873	0,904	0,941	0,982	1,030	1,090	1,233
1,20	0,64		0,451	0,607	0,716	0,745	0,775	0,805	0,838	0,872	0,909	0,950	0,998	1,058	1,201
1,17	0,65		0,419	0,672	0,685	0,714	0,743	0,774	0,806	0,840	0,877	0,919	0,966	1,027	1,169
1,14	0,66		0,388	0,639	0,654	0,683	0,712	0,743	0,775	0,810	0,847	0,888	0,935	0,996	1,138
1,11	0,67		0,358	0,607	0,624	0,652	0,682	0,713	0,745	0,779	0,816	0,857	0,905	0,966	1,108
1,08	0,68		0,328	0,576	0,594	0,623	0,652	0,683	0,715	0,750	0,787	0,828	0,875	0,936	1,078
1,05	0,69		0,299	0,545	0,565	0,593	0,623	0,654	0,686	0,720	0,757	0,798	0,846	0,907	1,049
1,02	0,7		0,270	0,515	0,536	0,565	0,594	0,625	0,657	0,692	0,729	0,770	0,817	0,878	1,020
0,99	0,71		0,242	0,485	0,508	0,536	0,566	0,597	0,629	0,663	0,700	0,741	0,789	0,849	0,992
0,96	0,72		0,214	0,456	0,480	0,508	0,538	0,569	0,601	0,635	0,672	0,713	0,761	0,821	0,964
0,94	0,73		0,186	0,427	0,452	0,481	0,510	0,541	0,573	0,608	0,645	0,686	0,733	0,794	0,936
0,91	0,74		0,159	0,398	0,425	0,453	0,483	0,514	0,546	0,580	0,617	0,658	0,706	0,766	0,909
0,88	0,75		0,132	0,370	0,398	0,426	0,456	0,487	0,519	0,553	0,590	0,631	0,679	0,739	0,882
0,86	0,76		0,105	0,343	0,371	0,400	0,429	0,460	0,492	0,526	0,563	0,605	0,652	0,713	0,855
0,83	0,77		0,079	0,316	0,344	0,373	0,403	0,433	0,466	0,500	0,537	0,578	0,626	0,686	0,829
0,80	0,78		0,052	0,289	0,318	0,347	0,376	0,407	0,439	0,474	0,511	0,552	0,599	0,660	0,802
0,78	0,79		0,026	0,262	0,292	0,320	0,350	0,381	0,413	0,447	0,484	0,525	0,573	0,634	0,776
0,75	0,8			0,235	0,266	0,294	0,324	0,355	0,387	0,421	0,458	0,499	0,547	0,608	0,750
0,72	0,81			0,209	0,240	0,268	0,298	0,329	0,361	0,395	0,432	0,473	0,521	0,581	0,724
0,70	0,82			0,183	0,214	0,242	0,272	0,303	0,335	0,369	0,406	0,447	0,495	0,556	0,698
0,67	0,83			0,157	0,188	0,216	0,246	0,277	0,309	0,343	0,380	0,421	0,469	0,530	0,672
0,65	0,84			0,131	0,162	0,190	0,220	0,251	0,283	0,317	0,354	0,395	0,443	0,503	0,646
0,62	0,85			0,105	0,135	0,164	0,194	0,225	0,257	0,291	0,328	0,369	0,417	0,477	0,620
0,59	0,86			0,079	0,109	0,138	0,167	0,198	0,230	0,265	0,302	0,343	0,390	0,451	0,593
0,56	0,87			0,053	0,082	0,111	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,316	0,364	0,424	0,567
0,53	0,88			0,029	0,055	0,084	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,289	0,337	0,397	0,540
0,51	0,89				0,028	0,057	0,086	0,117	0,149	0,184	0,221	0,262	0,309	0,370	0,512
0,48	0,90					0,029	0,058	0,089	0,121	0,156	0,193	0,234	0,281	0,342	0,484

**Anexo 20:** Características de transformadores trifásicos. Fuente: (PROMELSA, 2019)

Potencia (KVA)	Clase (kV)	Pfe (W)	Pcu (W)	Vcc (%)	Io (%)	Lwa (dB)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	Peso (kg.)
100	12	420	1880	6	1.68	59	1120	670	1100	520	510
	24	460	1960		2.10		550				
160	12	580	2550	6	1.60	62	1230	670	1150	520	720
	24	650	2700		2.00		760				
200	12	700	2900	6	1.50	64	1230	670	1200	520	840
	24	750	3100		1.87		880				
250	12	800	3400	6	1.42	65	1230	670	1300	520	970
	24	880	3300		1.78		1020				
315	12	950	4100	6	1.40	67	1300	820	1300	670	1100
	24	1000	4100		1.65		1160				
400	12	1150	4850	6	1.18	68	1330	820	1400	670	1290
	24	1200	4800		1.48		1360				
500	12	1300	5700	6	0.96	69	1380	820	1500	670	1530
	24	1400	6000		1.20		1610				
630	12	1450	6700	6	0.85	70	1410	820	1550	670	1760
	24	1600	6900		1.06		1850				
800	12	1750	8300	6	0.72	72	1460	1000	1650	820	2080
	24	2000	8300		0.90		2190				
1000	12	2000	8800	6	0.64	73	1530	1000	1750	820	2480
	24	2300	9600		0.80		2610				
1250	12	2400	11200	6	0.56	75	1530	1000	1850	820	2870
	24	2700	11500		0.70		3020				
1600	12	2800	12700	6.5	0.52	76	1640	1000	2150	820	3350
	24	3100	14000		0.65		3530				
2000	12	3400	16000	6.5	0.48	78	1700	1300	2200	1070	3950
	24	3650	16500		0.60		4610				
2500	12	4300	18000	7	0.45	79	2000	1300	2250	1070	4700
	24	4800	20000		0.56		4950				
3150	12	5400	22900	7	0.40	80	2060	1300	2450	1070	5640
	24	5600	23500		0.50		5940				
4000	12	6800	26000	7.5	0.32	82	2200	1350	2500	1070	7700
	24	7000	27000		0.40		8100				
5000	12	7500	29000	8	0.29	83	2350	1500	2680	1250	9600
	24	8100	30000		0.36		10100				

**Anexo 21:** Tipos de luminarias

Fuente: (AVANLUCE, 2019)

LAMPARA INCANDESCENTE	LAMPARA HALOGENA	FLUORESCENCIA COMPACTA	LED MR16 / AR111
1.000 horas	3.000 horas	10.000 horas	30.000 horas
			
15W / 100 lm	10W / 140 lm	3W / 150 lm	1W / 75 lm*
60W / 710 lm	35W / 600 lm	12W / 650 lm	7W / 750 lm*
75W / 1100 lm	50W / 910 lm	18W / 1150 lm	10W / 1100 lm*
100W / 1600 lm	75W / 1450 lm	23W / 1600 lm	15W / 1400 lm*

**Anexo 22:** Instrumentos de evaluación (hoja de encuesta)

Apellidos y nombres:

Fecha:

Escuela de Mecánica eléctrica, facultad de Ingeniería

1. Considera que en Templo Mormón de Trujillo se hace buen uso de la energía eléctrica?

a) Sí      b) No

Explicar la razón

2. Considera que al disminuir el gasto por energía eléctrica contribuye a aumentar la seguridad operacional, ¿ser más amigable con el medio ambiente y a obtener beneficios económicos para Templo Mormón de Trujillo?

a) Sí              b) No

Explicar la razón

3. Considera que es importante implementar planes de gestión eléctrica en Templo Mormón de Trujillo?

a) Sí,      b) No

4. Conoce áreas o equipos críticos en los cuales sea necesario mejorar el sistema eléctrico en Templo Mormón de Trujillo?

Sí              No

5) ¿Ha recibido capacitación en eficiencia energética, seguridad eléctrica en el último año?

Sí              No

6) Considera que se hace un buen mantenimiento preventivo a los componentes del sistema eléctrico de Templo Mormón de Trujillo?

Sí              No

7) Considera que la iluminación eléctrica es la adecuada en Planta Templo Mormón de Trujillo?

Sí              No

8) ¿Ha participado en pruebas de equipos eléctricos, en vacío, o en corto circuito, como motores y transformadores?

Sí              No

**Encuestados:**

Empresa JPR, encargado de mantenimiento eléctrico

Empresa HVAC, encargada de mantenimiento de equipos de condensación.

### Anexo 23: Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
¿En qué medida el rediseño del sistema eléctrico trifásico de potencia de 300 kva en base a auditoría ayudará a incrementar la eficiencia energética y disminuir los costos en Templo mormón de Trujillo?	Realizar un análisis técnico económico en en Templo mormón de Trujillo para definir la justificación de implementar la aplicación de eficiencia energética en el sistema eléctrico de la Iglesia Mormona de Trujillo, de 300 KVA, en base a la realización de auditoría, para reducir los costos de energía.	El rediseño del sistema eléctrico trifásico de potencia de 300 kva en base a auditoría ayudará a incrementar la eficiencia energética y disminuir los costos en Templo mormón de Trujillo	Variable Independiente	1. Tipo de Investigación: Aplicada, pues se busca resolver un problema industrial
			Rediseño del sistema eléctrico de potencia:	2. Nivel de Investigación 3. Método: 4. Diseño de la Investigación: Flujograma de procedimientos para desarrollar los objetivos específicos y hallar solución al problema de investigación 5. Población: conjuntos eléctricos de potencia trifásicos de templos mormones del Departamento La Libertad 6. Muestra: conjuntos eléctrico de potencia del Templo mormón de Trujillo, 300 KVA de Trujillo 7. Técnicas: observación de procesos, mediciones de parámetros
	<b>Objetivos Específicos</b>		<b>Variable Dependiente</b>	8. Instrumentos: Entrevistas, encuestas, registros de datos
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la potencia instalada y los tipos de cargas existentes por zonas</li> <li>• Determinar las potencias actuales, en el sistema eléctrico: activa, reactiva, aparente y el factor de potencia existente.</li> <li>• Determinar el tipo de compensación reactiva a aplicar: individual, grupal o centralizada, en las cargas</li> <li>• Determinar la potencia reactiva y capacitancia de los capacitores trifásicos, en función a un factor de potencia de 0.985</li> <li>• Realizar análisis de calidad de energía</li> <li>• Seleccionar el banco de condensadores, compensadores del factor de potencia y los dispositivos de accionamiento y montaje, según su precio, modo de conexión.</li> <li>• Dimensionar y seleccionar el sistema de protección contra cortocircuitos</li> <li>• Determinar la reducción de intensidad en cables de distribución y alimentación.</li> <li>• Realizar un análisis económico determinando presupuestos y beneficios</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia energética, %</li> <li>• Costos de energía eléctrica, soles/mes</li> </ul>	