



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



CENTRO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS

**PROYECTO FIN DE MASTER DE GESTIÓN Y AUDITORÍA ENERGÉTICA
EN LA EMPRESA**

**MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y LA
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN BAJO LA NORMA
ISO 50001 PARA LA LINEA 1 DE LA RED BÁSICA DEL SISTEMA DE
TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO, PERÚ**

PRESENTADO POR:

JESUS HUMBERTO COVARRUBIAS LOAIZA

TUTOR:

PEDRO MELERO PERLADO

LIMA - PERU

2015

DEDICATORIA

A Dios.

*Por haberme permitido llegar hasta este punto
y haberme dado salud para lograr mis objetivos
además de su infinita bondad y amor*

*A la Memoria de mi Papá Humberto y
Hermana María del Carmen*

*A mi Mamá Carnela y Mi hermana
Beatriz con mucho amor y cariño les
dedico mi esfuerzo y trabajo puesto para
realizar del presente trabajo.*

*A mi sobriana Diana por su apoyo
y colaboración en la realización del
presente trabajo*

Indice General

CAPITULO 1

1 RESUMEN EJECUTIVO	12
1.1 INTRODUCCIÓN	12
1.2 CONTENIDO.	13
1.3 RESULTADOS OBTENIDOS.....	14

CAPITULO 2

2 FINALIDAD Y OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	18
2.1 ANTECEDENTES.....	18
2.2 JUSIFICACIÓN DEL PROYECTO	20
2.2.1 Justificación técnica.	20
2.2.2 Justificación Económica.....	20
2.2.3 Justificación Social.....	20
2.3 OBJETIVO GENERAL	21
2.4 OBJETIVO ESPECIFICO.....	21
2.5 ALCANCES DEL PROYECTO.....	21

CAPITULO 3

3 METODOLOGIA GENERAL DEL PROYECTO	22
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	22
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	22
3.3 TÉCNICAS DE LA RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	23
3.4 DESARROLLO DEL PROYECTO.....	24

CAPITULO 4

4 MARCO TEORICO DEL PROYECTO	25
4.1 ANTECEDENTES.....	25
4.2 DEFINICIONES Y NORMAS UTILIZADAS	26
4.2.1 Eficiencia Energética	26
4.2.2 Gestión Energética.	30
4.2.3 Definiciones complementarias.	35

4.3	NORMAS RELACIONADAS	67
4.3.1	Normas Nacionales de Eficiencia Energética.....	67
4.3.2	Normas internaciones de Eficiencia Energética.	69
4.4	MÉTODOS DE EVALUACIÓN ECONÓMICA	72
4.4.1	Valor Actual Neto (VAN)	73
4.4.2	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	73
4.4.3	Relación Beneficio / Costo (B/C).....	74
CAPITULO 5		
5	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DEL PROYECTO	75
5.1	LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS LINEA 1 DEL METRO DE LIMA	75
5.1.1	Ubicación.....	75
5.1.2	Descripción de las instalaciones.	75
5.1.3	Características del equipamiento	78
5.1.4	Características Operativas.....	80
5.1.5	Organización de la Empresa Operadora de la Linea 1	83
CAPITULO 6		
6	EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL EQUIPAMIENTO	84
6.1	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	84
6.1.1	Determinación de la Matriz FODA.....	84
6.1.2	Distribución de cargas de energía Eléctrica.	85
6.1.3	Consumo de Energia.	93
6.1.4	Indice de Eficiencia de Energia Electrica	96
6.1.5	Proyección del Consumo de Energía Eléctrica por crecimiento de la demanda.97	
6.1.6	Facturación de la enegia Eléctrica.	98
CAPITULO 7		
7	PLAN DE MEJORAMIENTO ENERGÉTICO.....	102
7.1	OPORTUNIDADES DE MEJORAMIENTO U OPTIMIZACIÓN	102
7.2	MEJORAS SIN INVERSIÓN MEDIANTE BUENAS PRÁCTICAS	103
7.2.1	Iluminación.....	104

7.2.2	Tomacorrientes.....	105
7.3	MEJORAS CON INVERSIÓN	105
7.3.1	Mejora en el Sistema de Iluminación.....	105
7.3.2	Mejoras en el sistema de tracción.....	108
7.3.3	Resumen de mejoras de ahorro de energía eléctrica	112
CAPITULO 8		
8	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ENERGÍA DE ACUERDO CON LAS NORMA ISO 5001.....	114
8.1	GENERALIDADES	114
8.2	ETAPA DE PLANIFICACIÓN.....	115
8.2.1	Compromiso con el sistema de gestión de energía eléctrica.....	115
8.2.2	Evaluación del Desempeño Energetico.....	121
8.2.3	Establecimiento de objetivos y metas.	122
8.2.4	Creación de los Planes de Acción.....	122
8.3	ETAPA DE HACER.....	128
8.3.1	Poner en práctica los planes de acción.....	128
8.4	ETAPA DE VERIFICAR	131
8.4.1	Evaluar el Progreso.	131
8.5	ETAPA DE ACTUAR.....	138
8.5.1	Reconocer logros.....	138
8.5.2	Asegurar la Mejora Continua del SGEN.....	139
CAPITULO 9		
9	EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA DEL PROYECTO	142
9.1	EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA.....	142
9.1.1	Evaluación del ahorro de energía.	142
9.1.2	Evaluación del beneficio económico.	143
9.2	EVALUACIÓN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN Y RETORNO DE LA INVERSIÓN.....	144
9.2.1	Inversiones	144
9.2.2	Retorno de la inversión.	148
9.2.3	Análisis Económico del proyecto de mejoramiento	148

9.2.4	Indicadores economicos.	151
9.2.5	Analisis de Sensibilidad.	152
9.2.6	Resumen de la evaluación económica.....	152

CAPITULO 10

10	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	153
10.1	CONCLUSIONES.	153
10.2	RECOMENDACIONES	154
11	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	155
12	ANEXOS	157

INDICE DE FIGURAS

Figura 01.	Matriz Energetica del Perú 2012	19
Figura 02.	Esquema de Electrificación Ferroviaria	39
Figura 03.	Esquema de Subestación de Corriente Continua	44
Figura 04.	Circuito de Tracción Ferroviaria	48
Figura 05.	Elementos de la Catenaria	49
Figura 06.	Motor de Corriente Continuo	53
Figura 07.	Curva Par- Velocidad	56
Figura 08.	Esquema de Alimentación del tren en Corriente Continua	62
Figura 09.	Diagrama de Flujo de Proceso de Frenado Regenerativo	65
Figura 10.	Esquema de la Subestación Reversible	66
Figura 11.	Modelo de Gestión de Energía	72
Figura 12.	Ubicación de la Linea 1 de la Red Básica de Transporte Masivo de Lima y Callao (Perú)	76
Figura 13.	Vista Panorámica de la Linea 1 de la Red Básica de Transporte Masivo de Lima y Callao (Perú)	77
Figura 14.	Diagrama General del Sistema Electrico de la Linea 1 de la Red Básica de Transporte Masivo de Lima y Callao (Perú)	82
Figura 15.	Organigrama de la Linea 1 de la Red Básica de Transporte Masivo de Lima y Callao (Perú)	83
Figura 16.	Vista de una Estación Típica de la Linea 1 de la Red Básica de Transporte Masivo de Lima y Callao (Perú)	86
Figura 17.	Gráfica de la Potencia Electrica en Estaciones de la Linea 1 de la Red Básica de Transporte Masivo de Lima y Callao (Perú)	89
Figura 18.	Gráfica de la Potencia Electrica de los Talleres de de la Linea 1 de la Red Básica de Transporte Masivo de Lima y Callao (Perú)	91
Figura 19.	Gráfica del Consumo de Energia Electrica por Sistemas de de la Linea 1 de la Red Básica de Transporte Masivo de Lima y Callao (Perú)	94
Figura 20	Gráfica de la Estructura del Consumo de Energia Electrica por Sistemas de de la Linea 1 de la Red Básica de Transporte Masivo de Lima y Callao (Perú)	95
Figura 21	Gráfica del Indicador de Eficiencia Energetica de la Linea 1 de la Red Básica de Transporte Masivo de Lima y Callao (Perú)	97
Figura 22	Gráfica de la Estructura del Consumo de Energia Electrica por Sistemas Proyectoado de de la Linea 1 de la Red Básica de Transporte Masivo de Lima y Callao (Perú)	98

Figura 23	Esquema del Consumo de la Energia Electrica por Sistemas	101
Figura 24	Gráfica del Consumo de Energia Electrica Anual de de la Linea 1 de la Red Básica de Transporte Masivo de Lima y Callao (Perú)	101
Figura 25	Configuración Típica de la Red de Metro	109
Figura 26	Diagrama de la Composición del Comité de Gestión de Energia	118
Figura 27	Gráfica de la distribución de la carga eléctrica en porcentaje por sistema de de la Linea 1 de la Red Básica de Transporte Masivo de Lima y Callao (Perú)	121
Figura 28	Medidas para el Sistema de Gestión de Energía	123
Figura 29	Esquema de la puesta en Práctica de los Planes de Acción del Sistema de Gestión de Energía	128

INDICE DE CUADROS

Cuadro 01.	Datos Tecnicos de Material Rodante	92
Cuadro 02.	Consumo de Energía Electrica para la Linea 1, año 2014	94
Cuadro 03.	Consumo Anual de Energía Eléctrica por Sistemas, año 2014	95
Cuadro 04.	Consumo de Energía Eléctrica Proyectado por Sistemas	98
Cuadro 05.	Tarifa del Consumo de Energía Eléctrica	99
Cuadro 06.	Linea base de Consumo de Energía Electrica	100
Cuadro 07.	Ahorro de Energía Eléctrica por Instalación	111
Cuadro 08.	Regeneración de Energía en un intervalo de Explotación	111
Cuadro 09.	Ahorro de Energía Eléctrica por Año para un intervalo completo de Explotación	112
Cuadro 10.	Consumo Mensual de Energía Eléctrica por Sistemas	112
Cuadro 11.	Valores Totales de Consumo de Energía Eléctrica por Intalación para la Linea 1	113
Cuadro 12.	Programas de Sistema de Energía	123
Cuadro 13.	Plan de Acción N° 1	124
Cuadro 14.	Plan de Acción N° 2	125
Cuadro 15.	Plan de Acción N° 3	125
Cuadro 16.	Plan de Acción N° 4	126
Cuadro 17.	Plan de Acción N° 5	126
Cuadro 18.	Plan de Acción N° 6	127
Cuadro 19.	Seguimiento a los Planes de Capacitación	133
Cuadro 20	Seguimiento del Buen Desempeño Energetico en Actividades de Operción y Mantenimiento	134
Cuadro 21	Seguimiento al Mejoramiento de la Eficiencia Energética	135
Cuadro 22	Seguimiento y Control de los Indicadores Energéticos	136
Cuadro 23	Cronograma de Implementación del Sistema de Gestión de Energía para la Linea 1 basado en la ISO 5001	140
Cuadro 24	Ahorro de Energía Eléctrica	142
Cuadro 25	Beneficio Económico por el Ahorro de Energía Eléctrica	143

Cuadro 26	Inversión del Plan de Acción N° 1	144
Cuadro 27	Inversión del Plan de Acción N° 2	145
Cuadro 28	Inversión del Plan de Acción N° 3	145
Cuadro 29	Inversión del Plan de Acción N° 4	146
Cuadro 30	Inversión del Plan de Acción N° 5	146
Cuadro 31	Inversión del Plan de Acción N° 6	147
Cuadro 32	Resumen de Inversiones	147
Cuadro 33	Periodo de Retorno	148
Cuadro 34	Parámetros para la Evaluación Económica	149
Cuadro 35	Distribución del Beneficio Económico en un Periodo de cinco años	149
Cuadro 36	Depreciación Anual de Activos Intevinientes del Proyecto	149
Cuadro 37	Flujo de Caja del Proyecto	150
Cuadro 38	Análisis de Sensibilidad	152
Cuadro 39	Resumen de Evaluación Económica del Proyecto	152

INDICE DE ANEXOS

Anexo 01	Cuadro de Cargas de las Estaciones	157
Anexo 02	Cuadro de cargas Edificios y Talleres	158
Anexo 03	Indicadores de Operación	159
Anexo 04	Datos Caracteristicos del Perfil de la Vía de la Linea 1	160
Anexo 05	Datos caracteristicos de los trenes	161
Anexo 06	Graficas de comportamiento	163
Anexo 07	Luminaria Fluorecente Led propuesta para la reducción de consumo de energía eléctrica	164

CAPITULO I

1 RESUMEN EJECUTIVO

1.1 INTRODUCCIÓN

La Eficiencia Energética, entendida como la capacidad de alcanzar mayores beneficios finales utilizando menos recursos y con el menor impacto sobre el medio ambiente, se convierte en una alternativa de gran importancia para hacer frente al fenómeno de cambio climático que viene sufriendo nuestro planeta contribuyendo así, no solo con la conservación del ambiente, sino también con la calidad de vida de la población y con los menores costos operativos.

En el Perú, el transporte es uno de los sectores que ha tenido un mayor consumo energético en los últimos años con un índice cercano al 4% anual debido al crecimiento del consumo de productos derivados del petróleo considerados como agentes contaminantes. El empleo de un sistema de transporte, como son con los trenes electrificados tipo metro o cercanías como es el caso de la Línea 1, materia del presente trabajo, se muestra como una alternativa de contribuir con la preservación del ambiente mediante el empleo de la electricidad, siendo este un tipo de energía menos contaminante, sin embargo el crecimiento de la demanda energética de electricidad pide el mejoramiento de su eficiencia energética mediante la reducción del consumo de energía y los costos que represente su uso con el fin disminuir el impacto ambiental y proteger las reservas estratégicas de los recursos energéticos. En este contexto, el presente trabajo del Proyecto de fin de máster trata de un trabajo de investigación denominado “**Proyecto de Mejoramiento de la Eficiencia Energética y la implementación de un Sistema de Gestión bajo la Norma ISO 50001 para la Línea 1 de la Red Básica del Sistema de Transporte masivo de Lima y Callao, Perú,**” cuyo objetivo principal es la optimización del consumo de energía eléctrica de dicha línea mediante el mejoramiento de su

Eficiencia Energética garantizando su sostenibilidad con la implementación de la Norma ISO 5001.

1.2 CONTENIDO.

El presente proyecto ha sido desarrollado en 10 capítulos:

CAPITULO 1 RESUMEN EJECUTIVO

CAPITULO 2 FINALIDAD Y OBJETIVOS DEL PROYECTO en las que se mencionan los antecedentes, justificación, los objetivos generales como específicos del proyecto y dan alcance que se pretenden conseguir.

CAPITULO 3 METODOLOGIA GENERAL DEL PROYECTO en la cual se desarrollan cada uno de los pasos a seguir para el desarrollo del presente proyecto.

CAPITULO 4 MARCO TEÓRICO DEL PROYECTO en que se describen algunos conceptos importantes relacionados con tema materia del presente proyecto y se mencionan las normas aplicadas dando mayor incidencia a la Norma ISO 5001.

CAPITULO 5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DEL PROYECTO en este se hace una memoria descriptiva de las características geográficas del lugar donde se desarrollara el proyecto así como se hace una descripción del equipamiento, organización y el análisis de su entorno del impacto ambiental.

CAPITULO 6 EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL EQUIPAMIENTO se hace una descripción y análisis de la situación actual de la Línea 1 se determina la Matriz FODA y se hace un estudio de la distribución de cargas de energía eléctrica Potencia instalada y máxima demanda y indicadores de eficiencia energética y su proyección por crecimiento de la demanda que cuenta la Línea 1 del metro de Lima.

CAPITULO 7 PLAN DE MEJORAMIENTO ENERGÉTICO. Se proponen todas las mejoras que contribuirán al uso adecuado de la energía eléctrica y su correspondiente ahorro en el consumo eléctrico y el aumento de la eficiencia energética de su equipamiento de acuerdo a la evolución realizada y a las oportunidades identificadas.

CAPITULO 8 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA DE ACUERDO CON LAS NORMAS ISO 50001. Se dan los lineamientos para implementación del sistema de gestión de energía considerando la planificación para el establecimiento de la línea base, planes de acción, la puesta en práctica del mismo y la verificación a través del monitoreo para el mejoramiento continuo de eficiencia energética.

CAPITULO 9 EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA DEL PROYECTO

Se realiza la respectiva evaluación técnico – económica de las medidas de mejoramiento, el costo de implementación, el beneficio económico esperado, el retorno de inversión y su análisis de sensibilidad de los indicadores económicos y financieros.

CAPITULO 10. CONCLUSIONES RECOMENDACIONES

Se mostrará en forma sucinta los resultados alcanzados y las acciones a tomar de acuerdo con lo encontrado en desarrollo del proyecto.

1.3 RESULTADOS OBTENIDOS

De acuerdo al desarrollo del “Proyecto de Mejoramiento de la Eficiencia Energética y la implementación de un Sistema de Gestión bajo la Norma ISO 5001 para la Línea 1 de la Red Básica del Sistema de Transporte masivo de Lima y Callao, Perú” se han identificado los siguientes principales potenciales de ahorro de energía eléctrica,

- Mejoramiento y la optimización de la eficiencia energética del sistema de alumbrado en las oficinas y estaciones de pasajeros y talleres a través de la sustitución de las luminarias actuales por nuevas tecnologías de iluminación (LED, Inducción y/o –Fluorecencia de alto rendimiento) que proporcionaran un ahorro de energía eléctrica superiores al 50%.
- Recuperación de la energía en sistema de tracción para ser devuelta a red producto del aprovechamiento de energía de frenado de los trenes y el mejoramiento del rendimiento de las características de los mismos, así como la

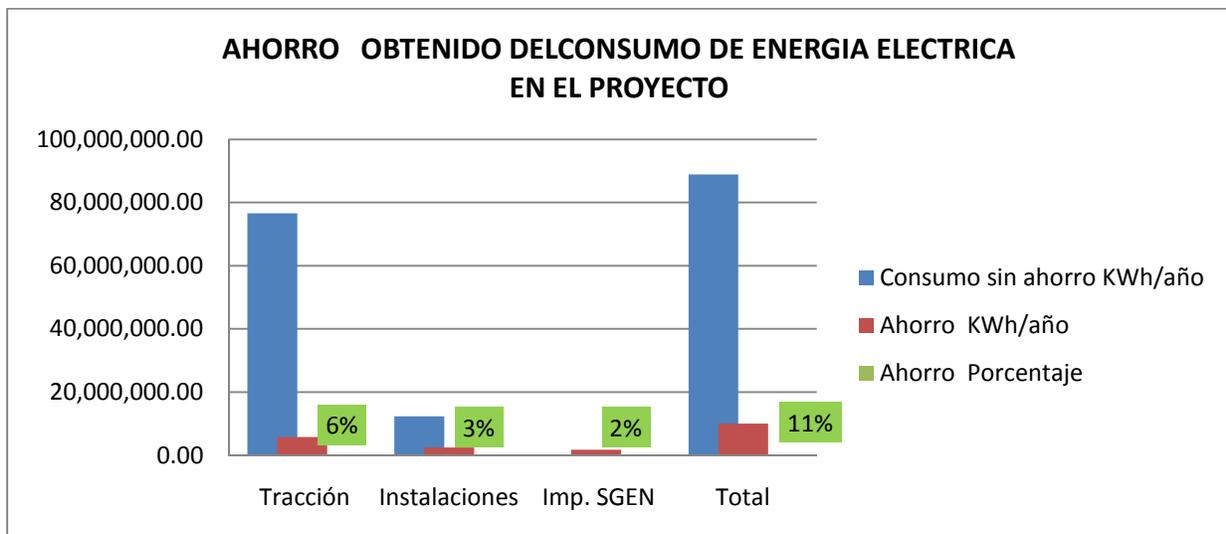
optimización de la eficiencia de energía eléctrica de las subestaciones de rectificación haciéndolas reversibles lo cual generaran un ahorro superiores al 5% del consumo de energía eléctrica.

- La implementación de un Sistema de Gestión de la Energía de acuerdo a la Norma ISO 5001 el cual permita un mejoramiento continuo de la energía eléctrica el cual proporcionara un ahorro de energía eléctrica del 2% .

Como resultado de la identificación de estas oportunidades de ahorro y de la medidas a tomar se obtenido los siguientes resultados:

Cuadro N° I Ahorros Obtenidos de Consumo de Energía Eléctrica

	Consumo sin ahorro	Ahorro		Consumo con ahorro
	KWh/año	KWh/año	Porcentaje	KWh/año
Energía de tracción	76,608,930.00	5,745,720.00	6%	70,863,210,00
Energía en instalaciones	12,307,760.00	2,461,680.00	3%	9,846,080.00
Implementación SGEN		1,778,333.80	2%	(-1,778,333.8)
Total	88,916,690.00	9,985,733.80	11%	78,930,956.20



Fuente: Elaboración Propia

Producto de este ahorro obtenido se ha generado un beneficio económico que se muestra el siguiente cuadro:

Cuadro N° II Beneficio Economico Obtenido

Sistema	Unidad	Ahorro	Beneficio económico Nuevos soles / año
Ahorro enegía en tracción	kwh/año	5,745,720.00	2,428,906.59
Ahorro enegía en Instalaciones	Kwh/año	2,461,680.00	1,166,695.78
Reducción de potencias en Instalaciones	Kw/año	5,918.40	126,061.92
Ahorro por implementacion del SGEN	Kwh/año	1,778,333.80	751,760.73
Total			4,347,363.10

Fuente: Elaboracion Propia

Total de ahorro económico obtenido en MN **de 4,347,363.10** nuevos soles

De acuerdo a la Evaluación Economica realizada se han obtenido los siguientes indicadores economicos :

Descripción	Valor
Inversión	S/. 6,040,000.00
Ahorro economico	S/. 4,347,363.10
Valor Actual Neto	S/. 7,567,079.75
Tasa Interna de Retorno	61%
Relación B / C	1.46
Periodo de Recuperación	2

Fuente: Elaboracion Propia

El valor actual neto (**VAN**) igual a **S/. 7,567,079.75** nuevos soles obtenido del análisis económico proporciona un beneficio positivo de 1,527,079.75 nuevos soles, generando ganancias después de haber logrado cubri todos los costos, esto significa que el proyecto propuesto es viable mediante las mejoras propuestas tanto por el uso racional de energía, la mejora de la eficiencia energética eléctrica y la implementación de SGEN de acuerdo a la norma 5001.

La Tasa Interna de retorno (**TIR**) igual **61.00%** que es mayor al costo del capital del 10%, por ende la mejora de la eficiencia energética eléctrica generara beneficios, mayores al costo, lo cual va a significar un aumento de la rentabilidad.

La relación beneficio costo (**B/C**) es $1.46 > 1$ lo que significa que por cada nuevo sol invertido obtiene una rentabilidad de 0.76 nuevos soles, es decir que recupera su inversión y se obtiene una rentabilidad adicional para el proyecto

En cuanto al aspecto medio ambiental, el ahorro de energía eléctrica de **9,985,733.80 kWh/año** obtenido con la implementación del presente proyecto contribuirá a una reducción del consumo de los combustibles fosiles (TPM: Toneladas Equivalentes de Petroleo) en la generación de la energía eléctrica de **858.77 TEP/año** y una reducción de emisiones **CO₂** de **6,480.74Tm/a**

CAPITULO 2

2 FINALIDAD Y OBJETIVOS DEL PROYECTO.

2.1 ANTECEDENTES

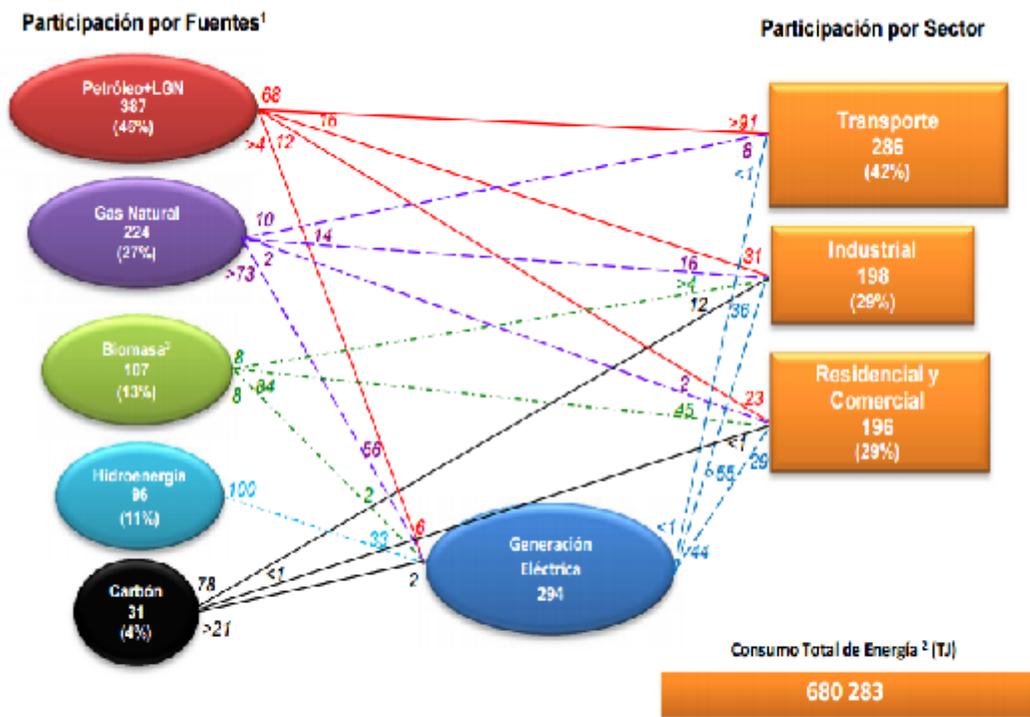
Actualmente, el uso eficiente de la energía es considerado como una necesidad debido a que el empleo de la energía se ha convertido en un bien caro y escaso, su utilización ha generado la alteración del ambiente contribuyendo significativamente a la aceleración del calentamiento global y al cambio climático, efecto de los gases contaminantes emitidos a la atmósfera por el uso indiscriminado de fuentes energéticas de origen fósil como el carbón y el petróleo. En este sentido el mejoramiento de la eficiencia energética se muestra como uno de los factores más importantes para la reducción efectiva de la contaminación ambiental.

A nivel internacional los registros ISO vienen calificando la eficiencia en el uso de la energía a través de evaluación de los procesos de producción y uso bajo la Norma ISO 5001. Las actuales normativas del estado peruano buscan también promover el uso eficiente de la energía mediante disposiciones políticas con son: la Ley N° 27345 de Uso de Energía Eficiente, el Decreto Supremo N°053-2007 - EM del Ministerio de Energía y Minas y el Decreto Supremo N°009-2009-MINAM del Ministerio del Ambiente que da las medias de ecoeficiencia para las oficinas del sector público.

Según el más reciente análisis de la matriz energética realizado en el Perú, el sector transportes ha sido uno de los mayores consumidores de energía, con cerca de 42% del consumo total, siendo el petróleo su fuente principal (Figura N°1). Frente a esto, la construcción de la Línea 1 de la Red Básica de Transporte masivo de Lima y Callao, ha permitido reducir este índice con el uso de la electricidad como fuente de suministro, convirtiéndose en uno de los medios de transporte más eficiente que se tiene en la actualidad. El proyecto que presenta es el primero que busca el mejoramiento de la eficiencia energética en dicha red transporte y la

implementación de un sistema de gestión bajo la norma ISO 5001 con el fin de contribuir con la ecoeficiencia en el sector de transporte público a través del ahorro del consumo eléctrico y consecuentemente la reducción de las emisiones de CO2 mediante la optimización de sus instalaciones y además la reducción de costos en beneficio de la empresa operadora.

Matriz Energética del Perú 2012 - PJ



Nota:

¹: Después de pasar por los Centros de Transformación y/o descontadas las pérdidas, excepto para generación eléctrica

²: No considera consumos finales de No Energéticos.

³: La Biomasa integra a la Leña, Bosta & Yareta, Bagazo y Biogas.

^{1/} La participación de la energía solar es mínima y también el consumo de electricidad en el sector transporte.

^{2/} PJ = 10¹² Joule

Figura 1. Matriz Energética del Perú 2012 – PJ. Ministerio de Energía y Minas

2.2 JUSIFICACIÓN DEL PROYECTO

2.2.1 Justificación técnica.

La realización del presente proyecto a través de la investigación realizada permitirá identificar y cuantificar los principales elementos consumidores de energía eléctrica, mejoramiento de la eficiencia energética del equipamiento del Línea 1 del Metro de Lima y la aplicación de la norma 5001 en la gestión de la energía con los cuales se conseguirá un menor consumo de energía eléctrica, mayor rendimiento de las instalaciones y el uso racional de energía eléctrica.

2.2.2 Justificación Económica.

Los cálculos para la estimación del ahorro energético consideran criterios de eficiencia energética que incorporan medidas que requieren inversión cuyos costos se recuperan con el ahorro obtenido de las mejoras realizadas en la implementación.

2.2.3 Justificación Social.

Las estrategias de acción del presente trabajo promoverán un manejo responsable y racional de la energía eléctrica de la empresa, disminuyendo el consumo, pues consecuentemente se disminuye la generación de energía eléctrica del país, es decir, al utilizar en forma más eficiente la energía, se reduce el consumo de combustibles fósiles y se generan menores emisiones y calentamiento al medio ambiente. Ahorrar energía eléctrica nos permite disponer de esa energía para satisfacer otras necesidades y aumentar la calidad de vida.

2.3 OBJETIVO GENERAL

La elaboración del presente trabajo pretende como objetivo general desarrollar un Proyecto de fin de Máster de acuerdo al programa de Gestión y Auditoría Energética en la Empresa mediante la realización del trabajo de Mejoramiento de la Eficiencia Energética y la implementación de un Sistema de gestión con la Norma ISO 5001 para la Línea 1 de la Red básica del sistema de transporte masivo de Lima y Callao. Además se desea proporcionar un modelo de ayuda para futuras líneas de metro a ser construidas.

2.4 OBJETIVO ESPECIFICO

Optimizar el consumo de energía eléctrica mediante el mejoramiento de la Eficiencia Energética y garantizar su sostenibilidad mediante la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía en base a las Norma ISO 5001 con el fin de contribuir con la preservación del ambiente permitiendo obtener ventajas competitivas desde el punto de vista energético y económico para Línea 1 del metro de Lima.

2.5 ALCANCES DEL PROYECTO

Dentro de los alcances del proyecto se tiene la identificación de posibles potenciales de ahorro de energía desde el punto de vista eléctrico mediante un análisis energético de sus elementos claves de cada uno de sus componentes por medio de una Evaluación Energética y la viabilidad técnico económica que conlleva la implementación de la medidas que derivaran su realización y el establecimiento una Línea Base que garantice su sostenibilidad y establezca los planes de acción y monitoreo para el mejoramiento continuo de la eficiencia energética.

CAPITULO 3

3 METODOLOGIA GENERAL DEL PROYECTO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo a el objetivo del proyecto consistente del mejoramiento de la Eficiencia Energética y la implementación de un sistema de gestión de energía de Línea 1 de la Red básica del Metro de Lima, se incorporo un tipo de investigación denominado "Proyecto de Mejoramiento" consistente en un modelo basado en la identificación de los principales potenciales de ahorro de energía mediante la optimización de la eficiencia energética eléctrica de su equipamiento y el planteamiento de un sistema de gestión de energía con un mejoramiento continuo, con el objeto reducir costos de energía y además minimizar los impactos al medio ambiente que representa su utilización. . Dicha minimización incluye estrategias oportunas, eficientes y eficaces para conseguir de una manera satisfactoria y beneficiosa los objetivos planteados.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo del presente proyecto será hecho mediante un plan global de investigación que integra de un modo coherente y adecuadamente correctas técnicas de recogida de datos a utilizar, análisis de la situación actual mediante una evolución energética del equipamiento desde el punto de vista eléctrico de acuerdo a los objetivos y alcances de proyecto.

Dicha investigación tiene carácter de no experimental ya que los datos son obtenidos en el campo, desde el misma lugar donde se concibe y es recopilada en el presente de la misma, en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales como planos de las instalaciones y mediciones, ya que permite no sólo observar, sino recolectar los datos directamente de la realidad objeto de estudio.

Por otra parte se tiene como estrategia el análisis de la información del tipo Documental –Descriptiva debido a se manejan datos históricos, y conceptos que enmarcan diferentes situaciones que son necesarios para realización del proyecto.

Se han definido como las unidades de la investigación (población y muestra) dentro de denominado “Proyecto de Mejoramiento” a todas las instalaciones que comprende el sistema eléctrico la Línea 1 del metro de Lima de preferencia los sistemas de alumbrado y fuerza y el sistema de tracción eléctrica que son lo más importantes desde el punto de vista de optimización de la Eficiencia Energética.

3.3 TÉCNICAS DE LA RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para el diseño del estudio de mejoramiento de la eficiencia energética y la implementación de sistema de Gestión de energía de la Línea 1 del metro de Lima que está enmarcado dentro de la investigación denominado “Proyecto de mejoramiento”, y considerando los objetivos propuestos para tal fin, se usaran una serie de instrumentos y técnicas de recolección de la información, orientada hacia el alcance de los mismos que son los siguientes:

- **Análisis Documentado y bibliográfico**

Esta parte está basado en la revisión bibliográfica de libros, revistas, folletos, informes, tesis, periódicos, datos estadísticos entre otros basados en teoría básica de la Eficiencia Energética y programas de Ahorro de energía tanto en la industria y transporte relacionados principalmente referidos sistemas ferroviario electrificados, que permiten darle mayor definición al trabajo.

Caracterización de la zona del proyecto:

Consiste en la revisión y recopilación de la información técnica de los equipos eléctricos de los sistemas que lo componen a la Línea 1 con el objeto de precisar tener una idea de la situación presente. Usando planos de las instalaciones así como efectuar mediciones en los casos requeridos.

- **Herramientas Computacionales.**

En referencia a las herramientas computacionales se ha tenido el uso continuo de los programas incluidos en office, ambiente Windows.

3.4 DESARROLLO DEL PROYECTO.

El desarrollo del proyecto se ha dividido en cuatro partes que son las siguientes:

La primera parte está referida a la delimitación de los aspectos teóricos de la investigación, donde se incluyen la formulación y delimitación de la investigación, definición de los objetivos propuestos, elaboración del marco teórico en la que describirán algunos conceptos importantes relacionados con tema materia del presente proyecto y se mencionaran las normas aplicadas dando mayor incidencia a la Norma ISO 50001.

La segunda parte constituye el marco del análisis evaluación del proyecto en la que se hará una memoria descriptiva de las características geográficas del lugar donde se desarrollara el proyecto así como del equipamiento y el análisis de su entorno, se hace la Evaluación Energética del equipamiento se describirá la metodología utilizada, analizando la información existente y determinarán los consumos específicos.

En la tercera parte se propone el plan de mejoramiento energético y la implementación del sistema de gestión energética, en estos se proponen todas las mejoras que contribuirán al aumento de la eficiencia energética de acuerdo a la evolución realizada y la elaboración de matriz Dafo y oportunidades identificadas Se dan los lineamientos para implementación del sistema de gestión de energía considerando la planificación para el establecimiento de la línea base, planes de acción, la puesta en práctica del mismo y la verificación a través del monitoreo para el mejoramiento continuo de eficiencia energética

En la cuarta y última parte se realizará la respectiva evaluación técnico – económica de las medidas de mejoramiento, el costo de implementación, el beneficio económico esperado, el retorno de inversión y su análisis de sensibilidad de los indicadores económicos y financieros.

CAPITULO 4

4 MARCO TEORICO DEL PROYECTO

Se presenta desde el punto de vista teórico los aspectos fundamentale a tener en cuenta para la comprensión del presente proyecto .

4.1 ANTECEDENTES

El desarrollo actual tanto en la industria, como en la esfera de los servicios, ha producido un agotamiento de las fuentes de energía tradicionales, un deterioro del medio ambiente a nivel global. El transporte en uno de los sectores de mayor consumo de energía en el país y a nivel mundial cerca de 40% del consumo final y es igualmente uno de los mayores responsables de generar gran cantidad de dióxido de carbono emitido a la atmosfera por su gran dependencia de los derivados del petróleo y de las fuentes no renovables de energía permitiendo que la situación se agrave mas debido a su alta consumo de energía y de su ritmo de crecimiento. Usando sistemas de transporte como son los ferrocarriles electrificados en particular en el transporte urbano y sub urbano como es el caso de la linea 1 del metro de Lima contribuye a minimizar el uso de combustibles contaminantes ,pero este tampoco se escapa en su totalidad de este problema energentico ya que la electricidad en algunas casos son producidos por fuentes de energias no renovables (petróleo, carbón ,gas); Por lo que se requieren tomar acciones encaminadas no sólo a buscar o producir nuevas fuentes de energía, sino a realizar un uso más eficiente y racional de las ya existentes, desde la fuente hasta el consumidor, lo cual significa la necesidad de un enfoque logístico para acometer esas acciones usando tecnologías y que permitan provocar menos daño al medio circundante.

La eficiencia en el uso de la energía es un elemento imprescindible para la reducción de estos daños al medio ambiente y a su vez reducir los costos operativos en mayor numero de empresas mediante el ahorro que esta genera , el mismo que puede ser lograda por dos vías: la vía cara y fácil de implementación de

tecnologías productivas de bajo consumo, o la vía barata y difícil de lograr cambios de hábitos en el uso final de la energía, con la tecnología existente.

4.2 DEFINICIONES Y NORMAS UTILIZADAS

4.2.1 Eficiencia Energética

4.2.1.1 Definición.

Dar una definición de eficiencia energética presupone del análisis de diversos conceptos que admiten múltiples definiciones. En principio podemos partir por ver significado la palabra eficiencia que proviene del latín *efficientia* que en español quiere decir, acción, fuerza, producción. Por lo que podemos definir la eficiencia Energética como la relación entre la producción de un rendimiento, servicio, bien o energía útil y el gasto de energía asociado, esta definición corresponde a un concepto en micro escala referido a un solo proceso, dispositivo que se relaciona directamente con el usuario como son las maquinas, electrodomésticos o luminarias y en los que ambas magnitudes son fácilmente mesurables.

Si nos refiriéndonos al un concepto más amplio que no sólo engloba la optimización en el uso, sino lo que esta conlleva para el medio y la vida podemos definir a la Eficiencia energética como la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir nuestro confort y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso. Otra forma de definirla es como un conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos. En general todas estas definiciones que encontramos son similares, aunque algunas toman un aspecto más económico excluyendo del término toda acción que suponga una reducción en el PIB y otras en cambio

resaltan su relación con la disminución del consumo y la consiguiente reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Este concepto en macro escala ha adquirido importancia en estos últimos años debido a que los recursos naturales y energéticos son cada vez menores y la necesidad de un proceso de desarrollo sostenible para nuestra sociedad ha originado que cada vez más se busque altos niveles de Eficiencia de Energía en cada una de las actividades que se desarrollan en la industria, transporte y todos los diferentes sectores en la que se emplean diferentes formas de consumo de energía.

Es así para el caso sector transportes se busca optimizar el uso de energía implementando medidas que contribuyan al desarrollo de los medios de transporte más sostenibles y eficientes, en particular los referidos al transporte ferroviario electrificado tal como es el caso nuestro que nos ocupa desarrollar en el presente proyecto en la que se buscara orientar el ahorro en el consumo de energía eléctrica.

Por lo que podemos definir la Eficiencia Energética Eléctrica como la relación entre los bienes y servicios producidos finales y la cantidad de energía eléctrica consumida, Se puede mejorar mediante la implementando medidas de inversión a nivel tecnológico, de gestión y de hábitos de consumo de todos los agentes involucrados.

4.2.1.2 Evaluación eficiencia energética

Cuando se trata evaluar o medir la eficiencia energética en términos generales existen diversas formas de medición tal como sucede al definirla; La eficiencia Energética puede medirse en una parte de la maquina, en la maquina completa, en el proceso que tiene esa maquina o en todo el conjunto de procesos que lo conforman. La eficiencia energética depende de tres variables que son las siguientes:

- a. La eficiencia o rendimiento propia de la máquina: Una maquina tiene una capacidad de conversión asociada con la transformación de la energía: puede ser tan eficiente como un transformador eléctrico (80-90% o más) o tan poco eficiente como la producción de luz en una lámpara incandescente (5-10%).
- b. El insumo energético : En este caso la eficiencia final del proceso energético esta relacionada con el tipo de insumo o fuente de energía utilizada para el caso transporte un vehículo alimentado con electricidad es más eficiente que un vehículo que usa petróleo, si hablamos de procesos térmicos el uso de un quemador dual de fuel oil y gas natural , dependiendo del uso final cada uno de los combustibles significará mayor eficiencia de acuerdo con la rapidez o efectividad que se requiera de la combustión.
- c. El hábito o costumbre: Termino que se conoce y se confunde con el protocolo de utilización, manual, normas etc., y en general no es más es una forma en que interpretamos debe utilizarse un equipo o proceso. Es común ver actualmente de forma consciente o inconsciente procesos ineficientes debido malos hábitos en uso de la energía ocasionando inevitables pérdidas de energía. EL ejemplo más sencillo de mencionar de este tipo de comportamiento son como encender una lámpara inútiles o sin presencia de personas el caso en sector transporte que utiliza como sus principales fuentes combustibles fósiles no renovables como el petróleo, son contaminantes, cada vez más escaso y costosos Mas del 40% de estos combustibles se desperdician debido a malas prácticas que se derivan de su uso.

Estos términos están relacionados con la eficiencia a micro escala de gran importancia a nivel usuario y que están relaciona directamente con el rendimiento y constituye uno de los pilares de las políticas energéticas, por

su repercusión en el cómputo global. A gran escala, y haciendo referencia a la definición del término más extendida en los últimos años, se emplean para la medición de la Eficiencia Energética indicadores energéticos que relacionan la energía con temas económicos. Los más empleados son los índices de eficiencia e intensidad energética, atendiendo a la relación entre el PIB y el consumo energético, y diferenciando entre el primario y el final. Además de estos indicadores de eficiencia energética, se tiene otros relacionados con este término, como son las unidades de consumo específico (muy utilizadas al hablar de eficiencia por sectores), los indicadores ajustados (intensidades sometidas a variaciones según clima, desarrollo etc.) o los índices de eficiencia energética (que permiten relacionar los consumos específicos de los sectores entre sí).

4.2.1.3 Ventajas de una mejor Eficiencia Energética.

Si tomamos en cuenta la optimización de la Eficiencia Energética Eléctrica

Las ventajas son:

- Costos menores al consumir menos energía por unidad producida, con la consecuente reducción de los costos de la factura de energía eléctrica.
- Menor desperdicio de energía.
- Menor nivel de contaminación mediante la reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero
- Capacidad de generación y utilización del sistema eléctrico disponible para otros usos.

4.2.1.4 Uso racional de Energía - URE)

Este término engloba la eficiencia energética, entendiéndose como el empleo de tecnologías y/o prácticas más eficientes en el uso de la energía de forma que se traduzca en un menor consumo energético. Ahora bien una definición

formal de URE puede ser: “Es el aprovechamiento óptimo de la energía en todas y cada una de las cadenas energéticas, desde la selección de la fuente energética, su producción, transformación, transporte, distribución, y consumo incluyendo su reutilización cuando sea posible, buscando en todas y cada una de las actividades de la cadena del desarrollo sostenible”

Es así el caso del sistema ferroviario electrificado que está constituido por un conjunto de instalaciones electromecánicas donde confluyen fenómenos de transformación, transporte, distribución y consumo en un entorno de compleja operatividad condicionado por aspectos de seguridad, calidad, economía, sostenibilidad.

4.2.1.5 Conservación de la Energía.

Es un término que está relacionado con la definición de eficiencia energética a gran escala que consiste en reducir la cantidad de energía manteniendo las cantidades producidas.

Este término aparece más relacionado con planes energéticos y con la política energética regional o global. En general “La conservación de Energía” es una práctica destinada a mejorar el consumo de energía en diversos sectores entre ellos el sector transporte y sus efectos pueden estar relacionados con el medio ambiente mediante la aplicación de las buenas prácticas y la gestión continua.

4.2.2 Gestión Energética.

Gran cantidad de los problemas de uso no eficiente de la energía en la industria y los servicios se deben a una gestión inadecuada en la administración de estos recursos y no a capacidad o actualización de la tecnología productiva o de servicios existentes. La gestión energética se hace generalmente tan cíclica como son los aumentos y caídas de los precios de los recursos energéticos primarios que se consumen. Sin embargo, en los últimos tiempos el crecimiento

de los costos energéticos ha pasado a ser parte preocupante y creciente dentro de los costos de producción y los métodos tradicionales de administración de los recursos energéticos no logran bajarlos sin realizar grandes inversiones en cambios de tecnología.

El objetivo fundamental de la gestión energética es la obtención de un rendimiento óptimo, minimizando costos sin detrimento de la calidad y/o cantidad de producción en cada uno de los procesos o servicios donde el uso de la energía es indispensable

El uso eficiente de la energía no debe ser un trabajo aislado, sino que debe obedecer a una planificación perfectamente programada y en la que intervengan todos los estamentos de la empresa. El programa debe ser la traducción concreta de la voluntad de la dirección respecto a mejorar la utilización de la energía en la empresa.

Es un hecho que muchos de los problemas asociados con la energía en una empresa no son de índole técnica, sino se deben al desconocimiento y a la estructura creada para coordinar los esfuerzos y obtener un sistema sostenible de su uso racional.

La Gestión de Energética es un proceso organizado de previsión y control del consumo de energía con el fin de obtener el mayor rendimiento energético posible sin disminuir el nivel de prestaciones, ya que toda reducción coste energético redundaría en una mejora de la vida económica de la empresa física o jurídica que consume esa energía.

A través de ese proceso se busca identificar oportunidades de mejoramiento en aspectos relacionados con la calidad, seguridad y la confiabilidad de los sistemas consumidores de energía, logrando que cada empresa conozca su sistema, identifique los principales centros de consumo e implemente mejoras alcanzado con esto altos niveles de eficiencia energética que permitirán conseguir los siguientes aspectos:

- Un uso racional y eficiente de la energía,
- Mejoramiento continuo para el control del consumo energético
- Aseguramiento del cumplimiento de las normas y reglamentos técnicos en el diseño e implementación de las instalaciones
- Establecimiento de índices específicos de consumo, variables de control de los procesos y programas de mantenimiento predictivo
- Obtener un diagnóstico de la región de los recursos energéticos
- Valoración de los riesgos asociados al los sistemas consumo energético.

Dentro de esta actividad es necesario mencionar dos herramientas que mejoran la eficiencia energética como son el Diagnóstico o Auditoría Energética.

4.2.2.1 Diagnóstico Energético.

El diagnóstico o auditoría energética constituye una etapa básica, de máxima importancia dentro de todas las actividades incluidas en la organización, seguimiento y evaluación de un programa de ahorro y uso eficiente de la energía, el que a su vez constituye la pieza fundamental en un Sistema de Gestión Energética.

En el diagnóstico energético se emplean distintas técnicas para evaluar el grado de eficiencia con que se produce, transforma y usa la energía. El diagnóstico o auditoría energética constituye la herramienta básica para saber cuánto, cómo, dónde y por qué se consume la energía dentro de la empresa, para establecer el grado de eficiencia en su utilización, para identificar los principales potenciales de ahorro energético y económico, y para definir los posibles proyectos de mejora de la eficiencia energética.

En resumen, los objetivos del diagnóstico energético son:

- Evaluar cuantitativamente y cualitativamente el consumo de energía.
- Determinar la eficiencia energética, pérdidas y desperdicios de energía en equipos y procesos.

- Identificar potenciales de ahorro energético y económico.
- Establecer indicadores energéticos de control y estrategias de operación y mantenimiento.
- Definir posibles medidas y proyectos para ahorrar energía y reducir costos.

Para el presente proyecto el Diagnostico Energético consistira se hacer una **Evaluación estratégica** con la finalidad determinar los principales potenciales de ahorro de energía que se contempla el siguiente esquema:



a. Análisis de la situación actual.

Se trata de identificar la situación existente, es decir determinar cuál es la realidad actual desde el punto de vista de energía eléctrica de la Línea 1 materia del presente proyecto y determinar la línea base que ayude a determinar las acciones. Sólo conociendo como está la situación es posible definir para lo que se debe hacer para logras el objetivo señalado.

b. Análisis FODA.

Consistente en la identificación de las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas con que se cuenta para la planificación estratégica proporcionando la información necesaria para la implementación de acciones para mejoramiento del consumo energético.

c. Análisis Energético (Auditoria energética):

Que es el procedimiento sistemático para obtener un adecuado conocimiento del perfil de los consumos energéticos, con que cuenta el sistema eléctrico de la Línea 1, identificando y valorando las posibilidades de ahorro de energía desde el punto de vista técnico y económico. Dichas valoraciones suponen generalmente mejoras en la calidad de los servicios prestados, mejoras económicas y mejoras medioambientales.

d. Identificación de las oportunidades de mejora:

Aquí los aspectos del paso 3 y 4 tanto el análisis FODA como el análisis energético se somete a un análisis de conjunto, para llegar a una valoración integral que sopesa ambos elementos que permitirá determinar las oportunidades de ahorro para su implementación.

e. Análisis de las mejoras identificadas :

Se evalúan los aspectos técnicos y económicos de las oportunidades de mejora para establecer cuantitativamente el ahorro energético y el beneficio económico esperado.

f. Implementación y líneas de acción.

Consiste en tomar la decisión y establecer los lineamientos para ejecutar las propuestas de mejoras y establecer mediadas para su medición y control mediante la implementación de Sistema de Gestión Energética.

4.2.3 Definiciones complementarias.

4.2.3.1 Iluminación.

En todo tipo de instalación la iluminación representa una de las áreas de oportunidad más importantes para el ahorro de energía ya que según las experiencias nacionales e internacionales, se supone que el 53 % del consumo energético es la iluminación, se puede reducir la potencia eléctrica necesaria para proveer iluminación mediante el uso de lámparas, balastos y luminarias más eficientes. Así mismo, debido a que el consumo energético está relacionado con las horas de encendido, pueden lograrse ahorros adicionales con el mejor aprovechamiento de la luz natural y elementos de control que permitan apagar las luces cuando los locales estén desocupados y /o disminuir la iluminación artificial cuando exista suficiente luz natural.

La iluminación es la primera y la más común de las aplicaciones eléctricas de en todo tipo de instalación. Utilizar de la mejor manera la energía Eléctrica para la iluminación disminuye el costo y mejora el confort visual.

Existen varios tipos de lámparas y artefactos y diferentes necesidades de iluminación para cada local y ambientes en donde se realizan diferentes actividades entre las que podemos citar las siguientes:

- Lámparas incandescentes.
- Lámparas fluorescentes.
- Lámparas fluorescentes compactas o focos ahorradores
- Lámparas de descarga de alta presión de mercurio, de sodio y de haluros metálicos.
- Lámpara de sodio de baja presión
- Lámparas de luz mixta
- Lámparas de inducción
- Lámparas Led

Dentro de estas lámparas las que más se recomiendan su uso en iluminación interior son las lámparas fluorescentes compactas o focos ahorradores que comparadas con las lámparas incandescentes convencionales, consumen hasta un 80% menor de energía, entregan más luz por vatio, tienen una vida útil superior.

También actualmente se está generalizando el uso de lámparas Led que se alimenta a baja tensión consumiendo así poca potencia, tienen baja temperatura, luz más nítida y brillante, mayor duración con una fiabilidad alta ya que la degradación de la luz es mínima en relación a los halógenos y fluorescentes, pero son más caras sin embargo dada las bondades y características de funcionamiento se recomienda su uso.

Para seleccionar un tipo de iluminación y elegir que lámpara a utilizar, se debe analizar las características del ambiente que se quiere iluminar, que actividades se van a desarrollar y durante cuánto tiempo, como que promedio la lámpara quedará encendida.

Para cada situación hay que elegir la lámpara más adecuada para lo cual hay diferentes parámetros que se deben conocer como son:

a. Flujo Luminoso.

Es la cantidad de energía luminosa emitida por un foco luminoso en todas direcciones en la unidad de tiempo (segundo). Su unidad es el lumen (lm).

Por ejemplo una lámpara incandescente de 100W tiene 1380 lúmenes y para una lámpara fluorescente su flujo luminoso es 3200 lúmenes.

b. Rendimiento luminoso.

Es el cociente entre el flujo luminoso obtenido y la potencia eléctrica necesaria para generarlo.

Para poder valorar la rentabilidad de una fuente luminosa, se debe conocer qué proporción de la potencia eléctrica se transforma en potencia

luminosa. No toda esta energía se transforma en luz sino que una parte se transforma en calor y otra en energía radiante no visible.

c. *Intensidad luminosa (I).*

Es el flujo luminoso emitido por un foco en una dirección determinada por unidad de ángulo sólido. Su unidad es la candela (Cd).

d. *Iluminancia o iluminación (E)*

Mide la luz o flujo luminoso que llega a una determinada superficie. La unidad de iluminancia es el lux (lum/m²).

El valor de la iluminancia es el punto de partida para hacer un proyecto de alumbrado y existe valores adecuados que establecen las normas y recomendaciones para cada área visual.

Cabe indicar que la calidad de una instancia de alumbrado no solo consiste en que proporcione una iluminación suficiente sino que también depende de otros factores como son:

- El nivel y distribución de la luminosidad.
- Dirección de la luz, formación de sombras y deslumbramiento
- El clima de color.

En general se puede conseguir oportunidades de ahorro de energía en sistemas de iluminación a través de medidas siguientes:

a. Medidas sin inversión: Mediante las buenas prácticas en la utilización adecuada de los sistemas.

- Limpiar periódicamente las luminarias, porque la suciedad disminuye el nivel de iluminación de una lámpara hasta un 20%.
- Apagar las luces que no se necesita.
- Evaluar la posibilidad de utilizar luz natural.
- Controlar las horas de operación en particular las horas punta.

- Separar los circuitos de iluminación para que su control no dependa de un solo interruptor y se ilumine solo sectores necesarios.

b. Medidas con inversión

- Reemplazar lámparas por unidades más eficientes
- Reemplazo de balastos magnéticos por electrónicos.
- Utilizar lámparas más eficientes.
- Evaluar la posibilidad de instalar sensores de presencia, temporizadores y/o dimmers para el control de los sistemas de iluminación.

4.2.3.2 Sistema de tracción ferroviaria.

Por tratarse el tema central de este proyecto de Mejoramiento de la Eficiencia Energética para la Línea 1 de la red básica del metro del sistema de transporte masivo de Lima y Callao y siendo uno de las oportunidades de ahorro el aprovechamiento de la energía de frenado de los trenes hace necesario estudiar los sistemas de tracción ferroviaria así como los dispositivos que los de depende.

a. *La electrificación Ferroviaria.*

Se entiende por electrificación ferroviaria al sistema de alimentación de tracción por el cual la energía eléctrica procedente de una fuente de energía (centrales eléctricas) es transportada por una línea transmisión de alta tensión y pasa por uno o varias subestaciones después de una serie de transformaciones la, circula por el elemento conductor instalado a lo largo de la línea, penetra a la unidad de tracción (tren) a través del captador de corriente, alimenta los motores y retorna cerrando el circuito por los rieles y feeders negativos, si los hubiera, y accidentalmente por tierra.

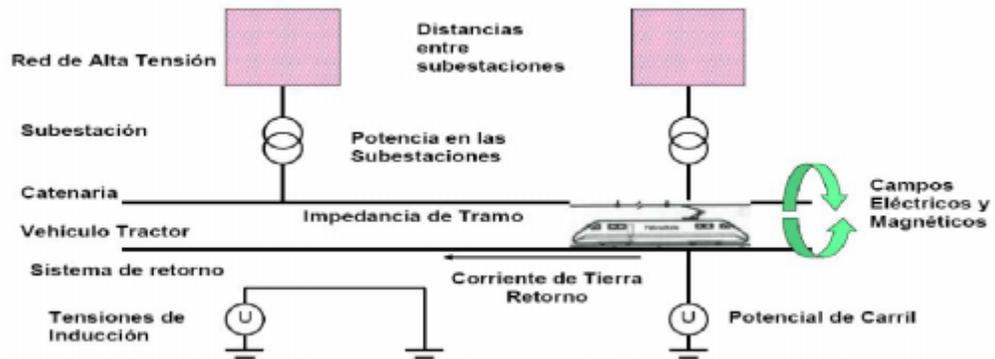


Fig.2 Esquema de electrificación ferroviaria. Fuente (publicación GIF).

Como parte de la infraestructura de electrificación ferroviaria existen dos tipos de electrificación de tracción. Uno que alimenta con corriente continua y otra que lo hace con corriente alterna,

- La Electrificación en corriente continua utiliza tensiones de 600 -3000V que son tensiones muy bajas para lo cual requieren elevadas intensidades de corriente para conseguir obtener la potencia necesaria para mover a los trenes y como consecuencia una elevada sección de catenaria instalar subestaciones muy próximas para evitar las grandes caídas de tensión. Actualmente la mayoría de los ferrocarriles se alimentan en corriente continua, condicionados por la infraestructura existente, pero se emplean motores de tracción de corriente alterna, debido entre otras cosas a su robustez, por lo que se han de incorporar inversores de onda en los trenes para lograr alimentar a dichos motores.
- Electrificación en Corriente alterna monofásica: Este tipo de electrificación a un no se emplean en el país pero cabe mencionarla ya que son utilizadas para ferrocarriles de alta velocidad que requieren ser suministradas de energía eléctrica a largas distancias, los niveles de tensión que se emplean son 1x 25 KV y 2x 25 kV con la frecuencias de 50 Hz y 60 Hz la primera es habitualmente empleada

en los países europeos mientras en Estados Unidos, Japón y en el Perú la más extendida es la de 60 Hz y en algunos países escandinavos y centroeuropeos se emplea 16 2/3 Hz para 15 kV.

En el Perú la electrificación realiza desde las centrales eléctricas y las líneas de transmisión de energía eléctrica que están dentro del el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) y los sistemas Aislados (SS:AA) que cuenta con 17, 065 km de líneas de transmisión principales y secundarias con niveles de tensión superiores a 30 kV.

En nuestro caso del sistema de la Línea 1 de la Red básica del metro de Lima la energía eléctrica procedente de las centrales eléctricas es transportada por una línea de transmisión de 220kV alterna trifásica hasta una subestación de transmisión reductora propietaria de los concesionarios de electricidad reduciendo el nivel de tensión de 220 a 60 kV, desde la cual es llevada la energía por una línea de transmisión de 60kV hasta la subestación alimentadora 60/20 kV desde la cual con una tensión 20kV se alimentan las subestaciones de tracción del cual se alimenta a línea de contacto a un tensión 1.5 kV en corriente continua que alimenta al tren.

b. Elementos de una Sistema de tracción ferroviaria

El sistema de tracción ferroviaria requiere de una serie de elementos para su funcionamiento y son los siguientes:

- Subestaciones tracción eléctrica, tanto para sistemas de corriente alterna como continua.
- Feederes o cables de alimentación entre la subestación de tracción y la línea alimentación a los trenes.
- Catenaria

- Componentes propios del material rodante motor, principalmente pantógrafos y motores eléctricos de tracción.

- Subestaciones de tracción.

La subestación de tracción es una instalación que recibe la energía eléctrica procedente de la red general para que pueda ser utilizada en la tracción de los trenes. Existen dos tipos de subestaciones, según sea el tipo de línea que se va alimentar, para corriente continua (con tensiones de salida de 1500 y 3000V) y para corriente alterna (tensiones de salida 1x25kV ó 2x25 kV 50Hz).

En la subestación se realizan las siguientes funciones:

- Transformación de la energía, que procede de la red general en alta tensión, a la tensión a la que se va alimentar la catenaria.
- Rectificación de la corriente alterna a corriente continua en el caso de que la catenaria funcione con este tipo de corriente.
- Alimentación a la catenaria. Esta función se hace a través de los feeders o cables de alimentación, que son los encargados de transportar la energía eléctrica necesaria para la catenaria, desde la subestación hasta los distintos puntos de alimentación previstos en los trayectos.
- Suministrar energía tanto para los servicios auxiliares de la propia subestación como para los necesarios dentro del trayecto en el que está instalada.

Por tanto, tomando en cuenta el tipo de corriente de la catenaria, se pueden clasificar las de tracción en dos grupos principales:

Subestaciones eléctricas para sistemas de corriente continúa

Subestaciones para sistemas de corriente alterna.

Los niveles de tensión en cada uno de los dos tipos de subestaciones presentan algunas variantes que afectan particularmente al equipamiento y a los niveles de aislamiento utilizados (mayores en las subestaciones de corriente alterna). Por lo general, el funcionamiento de una subestación de corriente continua es más complejo que el correspondiente a una subestación de corriente alterna.

➤ Subestaciones eléctricas de tracción en corriente continúa:

De acuerdo a la experiencia el empleo de la corriente continua es conveniente para tracción ferroviaria por una serie de condiciones ventajosas para las unidades de tracción (trenes) que reúne el motor serie : fuerte par de arranque, multiplicidad de marchas económicas, fácil regulación, entre otras Pero por otro lado, la corriente continua tiene desventajas respecto a las de corriente alterna que presentan facilidad de producción, facilidad de modificación de sus tensiones con buen rendimiento y posibilidad de transportarla a grandes distancias con pérdidas prácticamente despreciables.

Para aprovechar las ventajas de ambos tipos de energía eléctrica se instalan convenientemente repartidas a lo largo de la línea ferroviaria, subestaciones rectificadoras que, tomando la energía alterna de las líneas de distribución y transporte, la convierten en corriente continua que es dirigida a las líneas aéreas de contacto (catenarias) del ferrocarril (a través de los feederes de alimentación) siendo captada por el material rodante mediante sus pantógrafos. De esta forma, dentro de una subestación de tracción de corriente continua se destacan dos instalaciones claramente diferenciadas:

- Instalación de corriente alterna. Es una instalación trifásica alimentada por la red de corriente alterna que forma parte del mismo

conjunto constructivo que el de la propia subestación de tracción. Los elementos fundamentales que son necesarios en la subestación trifásica de tracción son:

- Celdas potencia de media tensión de 20kV constituido por: interruptores, seccionadores, transformadores de medida y protección, pararrayos auto válvulas, etc.
 - Transformadores de potencia especiales para rectificación.
 - Sistemas de servicios auxiliares en baja tensión alterna.
 - Sistema rectificador–batería para mando y control.
 - Sistemas de control de protección y medida.
 - Sistemas de telemando.
- Subestación de tracción de corriente continua. La subestación de tracción propiamente dicha es la encargada de suministrar energía al material rodante por medio de la línea aérea de contacto. Los elementos necesarios en la subestación de corriente continua son:
- Rectificadores de potencia, los cuales transforman la señal alterna en continua.
 - Celdas positivas y negativas de corriente continua: interruptores ultrarrápidos, seccionadores, transductores para medida y protección, pararrayos autovalvulares, etc.
 - Sistemas de tensión especiales para señales de vía (control de tráfico).
 - Sistemas de puesta a tierra y vigilancia de la misma.
 - Sistemas de comprobación de fallo de catenaria.
 - Sistemas de control integrado, protección y medida.
 - Sistemas de telemando

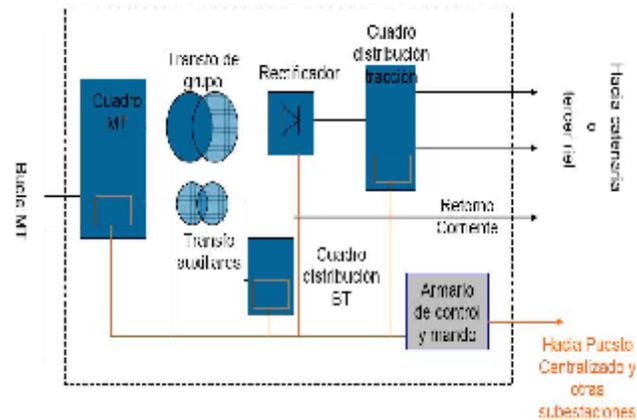


Fig. 3 Esquema de Subestación de Corriente continua. Fuente (publicación GIF)

Para el caso de la red de metro de lima y en particular la Línea 1 la subestación alterna lo constituyen celdas de media tensión de 20kVca y transformadores con doble secundario de 20/590-590 kVca de 3800 kVA de potencia y el lado de Continua está conformado por Rectificadores dodecafásicos de 1.5 KVcc, celdas positivas y negativas de 1.5kVcc.

➤ *Subestación de tracción en corriente alterna.*

Al igual que en el sistema continuo, la subestación de tracción suministra la energía a los trenes. El elemento principal del recinto es el transformador de potencia reductor de tensión, el cual establece la existencia de dos circuitos eléctricos independientes a través de sus dos devanados (pueden ser más dedos), cada uno de los cuales con su equipamiento propio. Se tiene por tanto un circuito eléctrico con muy alto nivel de tensión (MAT), 400 KV, ó alto nivel de tensión (AT), por lo general 220 ó 132 KV, que se encuentra conectado al primario del transformador y que suele ir formado por una celda bipolar de potencia para corriente alterna (interruptores, seccionadores, transformadores de

medida y protección, etcétera.).El circuito eléctrico del devanado secundario será el de tracción propiamente dicha. El nivel de tensión tendrá por lo general unos valores de 25KV (1x 25kV) y 50 KV (2x25kV) a una frecuencia industrial de 50 Hz.

Los elementos que dispone este circuito serán los mismos que en los otros casos:

- Celda monopolar o bipolar de alimentación al feeder de catenaria (se verá en el siguiente punto), así como equipamiento de enlaces o acoplamiento de barras y para servicios auxiliares (por ejemplo, iluminación de la propia instalación).
- Sistemas de control de protección y medida.
- Sistemas de puesta a tierra y vigilancia de la misma
- Sistemas de telemando.

La diferencia fundamental entre estas subestaciones y las de corriente continua radica en el equipo de rectificación, que alterna no es necesario este tipo de subestaciones son utilizados en ferrocarriles de alta velocidad que requieren de tensiones altas para poder ser transportadas a grandes distancias.

- Los Feeders de Alimentación

El feeder (del inglés alimentar “FEED”) de alimentación es el cable sirve para alimentar desde la subestación de tracción a un punto determinado de la línea aérea de contacto; También se denomina feeder a aquellos otros cables que sin tener una función mecánica alguna y solamente como refuerzo de sección, recorren tendidos conjuntamente y de forma paralela a la línea aérea de contacto un número determinado de kilómetros, realizando la conexión a una distancia considerable de la subestación eléctrica (además de la que

se realiza en la propia subestación). La ventaja de utilizar un feeder de alimentación (también denominado feeder de refuerzo ó feeder positivo) se encontrará en la disminución de la intensidad por la catenaria, lo que supondrá a su vez una menor pérdida y una menor caída de tensión medida desde la subestación

- Catenaria.

En ferrocarriles se denomina catenaria a la línea aérea de alimentación con suspensión catenaria, sistema que transmite potencia eléctrica a las locomotoras y otro material motor. Las tensiones de alimentación más comunes son las siguientes:

Zonas de utilización	Nivel de tensión
Metros y tranvías	600-900 Vcc
Tren cercanías y metros	1200-1500 Vcc
Líneas tradicionales	3000Vcc
Líneas da alta velocidad	25 Vca -50Vca ,50Hz

La mayor parte de las instalaciones funcionan con corriente (continua o alterna) monofásica, aunque existen algunas instalaciones trifásicas.

En realidad la catenaria no deja de ser un circuito eléctrico y por tanto tendrá que disponer de todos los elementos y características mencionadas. Así por ejemplo, la carga eléctrica vendrá representada por los trenes que alimentan. El circuito de tracción puede considerarse dividido en dos partes fundamentales:

Circuito aéreo positivo, constituido por la línea aérea de contacto. Evidentemente, pertenecerán a este circuito, no solo la línea aérea de contacto, sino también todos aquellos cables que la alimentan o la

ayudan a transportar la corriente, es decir, los feederes de refuerzo o positivos.

Circuito negativo o de tierra. Será el circuito encargado de retornar la corriente consumida por el tren a la subestación eléctrica de tracción. En las electrificaciones ferroviarias este circuito es extremadamente complejo de estudiar, sobre todo por la gran cantidad de elementos que lo configuran. Según la corriente es absorbida por el pantógrafo y consumida por los motores eléctricos de tracción, el camino de retorno seguido hasta la subestación se forma a través de diferentes partes:

- El propio circuito de retorno del tren, formado por cables que unen la salida de los motores a las llantas de rodadura.
- Los carriles de la vía, conectado al circuito a través de las llantas de rodadura.
- El terreno, que conduce la corriente que se deriva de los carriles por la capa de balasto. Es por ello que en los proyectos de electrificación ferroviaria es importante realizar estudios geoelectrónicos que caractericen la resistividad que posee el terreno por el que discurre la línea férrea.
- Un elemento de gran importancia es el cable de retorno o de guarda. Este conductor va tendido paralelo a la línea aérea de contacto, yendo sujeto del lateral de los postes. Por tanto, existe corriente que no retorna a la S/E por los carriles y el terreno, sino que ascendiendo por los postes de la catenaria discurre por el cable de guarda. Obsérvese por tanto que un poste de catenaria es parte activa del circuito de tracción
- Otros cables y elementos: pozos de toma de tierra de las subestaciones, conexiones transversales entre los carriles de diferentes vías, etc.

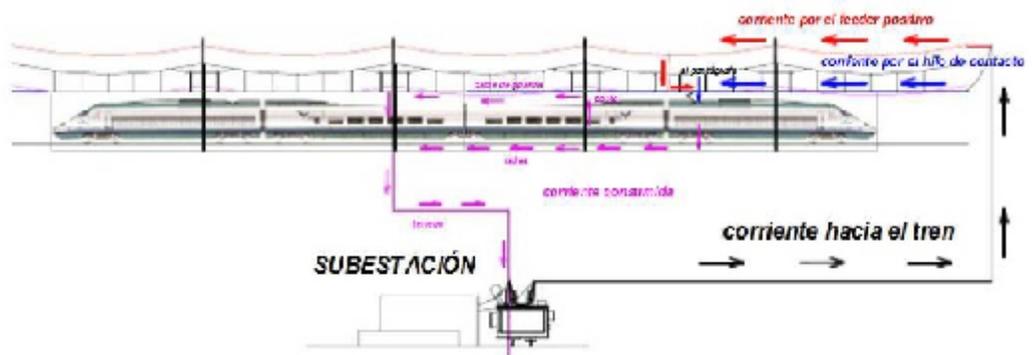


Fig.Nº4 Circuito de tracción de ferroviaria .Fuente (publicación GIF)

En la figura 4 se puede apreciar un esquema del circuito eléctrico de tracción ferroviaria. Cabe destacar que la conexión realizada entre las subestaciones eléctricas de tracción es diferente dependiendo del sistema de corriente que se esté considerando. Así se tiene que en un sistema de corriente continua las subestaciones eléctricas siempre se conectan en paralelo, de forma que un tren que se encuentre situado entre dos de ellas recibirá la corriente de alimentación de una y otra, siendo cada una de las corrientes recibidas inversamente proporcionales a las distancias que hay a cada una de las subestaciones.

Los elementos fundamentales que componen la catenaria son:

- Cuerda portante

Es el cable superior de la catenaria y tiene como misión soportar el peso del sistema formado por los hilos de contacto y las péndolas, así como mantener todo el sistema con una determinada tensión mecánica, cooperando en el dimensionamiento eléctrico de la línea. Según la posición del sustentador respecto de la ménsula debajo/encima denominaremos a la catenaria suspendida o apoyada.

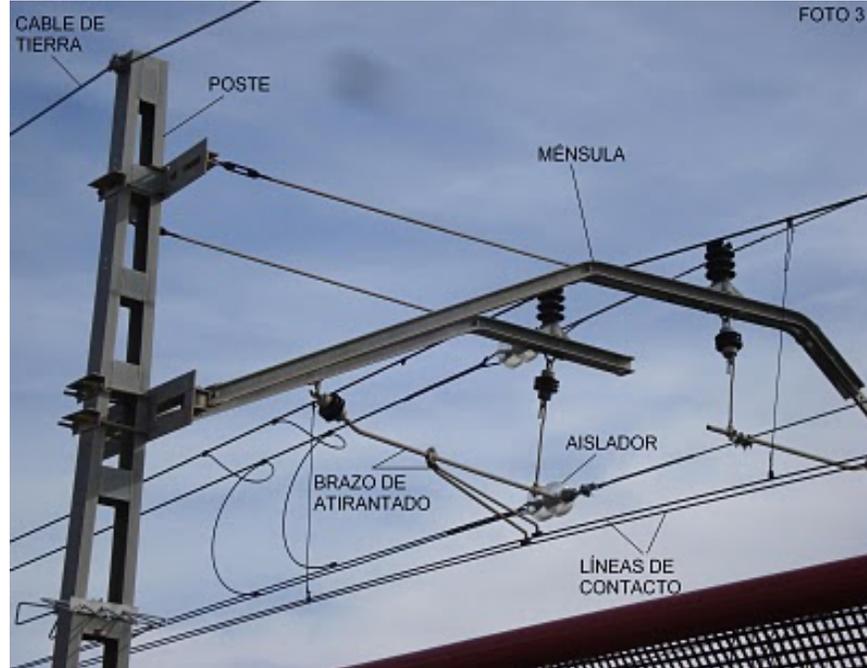


Fig. N° 5 Elementos de la catenaria

El Cuerda portante suele estar formado por varios hilos, arrollados sobre sí mismos, utilizándose como materiales para su elaboración, principalmente, el cobre para las líneas electrificadas con corriente continua y el acero recubierto de cobre para las de alta velocidad con corriente alterna. En vías secundarias donde no se precisan grandes consumos se emplea cable de acero, que tiene como mayor inconveniente su mayor resistencia eléctrica.

Las secciones empleadas varían con el tipo de electrificación, la tensión y la longitud del vano de cobre y su sección depende de la longitud del vano. De él cuelgan las péndolas que sostienen a los hilos de contacto.

- Hilo de contacto

Es el elemento fundamental de todo el conjunto de materiales empleados en la catenaria. Suele ser un conductor de cobre

electrolítico, aunque actualmente se utilicen aleaciones de plata, cadmio y magnesio, para aumentar la conductividad, las tensiones mecánicas de trabajo, disminuir su coeficiente de dilatación, etc. El hilo de contacto tiene la forma es un ocho de tal manera que permite el amarré de las mordaza de las péndolas y brazos tensores sin que interrumpan al paso del pantógrafo Su sección transversal es, como en el caso de la cuerda portante, función del tipo de corriente que se utilice en el trayecto, de la velocidad a que se circule e incluso de las temperaturas de la zona. Las habituales son las circulares de 85, 107, 120 y 170 mm². La línea de 85 mm² es usada para lugares de poco trafico como se de playas y las 107 y 170mm² para vías principales. Se coloca a una altura constante sobre el plano del riel de 5,30 m. Cuando por la presencia de un obstáculo, como pueda ser un paso superior o un túnel, no se pueda mantener paralelo al plano de rodadura, se variará la altura del hilo con una pendiente que será, como máximo, del 2/1000 en las transiciones y del 1/1000 al comienzo y final. Además, y para evitar el desgaste puntual del pantógrafo, se monta con un desplazamiento alternativo horizontal respecto del eje de la vía, que se conoce como poligonación.

Se suelen emplear dos hilos en vías generales principales, mientras que se emplea uno sólo en vías secundarias y en las electrificaciones en alterna ya que el consumo es menor en estos casos que cuando se trabaja con corriente continúa.

- Péndolas

Son los elementos de la catenaria se utilizan para suspender la línea de contacto de la cuerda portante y mantener su horizontalidad, la distancia normal entre péndolas es 5m. Están

constituidas por un herraje de bronce fosforoso y una mordaza de aleación de cobre y aluminio.

- Ménsulas.

Las ménsulas son estructuras compuestas por perfiles de hierro, caños o combinación de ambos, para suspender la línea catenaria. Básicamente se pueden clasificar en dos grandes grupos: Las fijas y las móviles.

Las ménsulas fijas se sujetan al poste mediante abrazaderas y no le permite ningún tipo de movimientos a la catenaria. Debido a esto se instalan donde la separación entre postes y la velocidad de los trenes no es grande.

Las ménsulas móviles poseen un pivote en la unión con las abrazaderas que le permiten girar y de esta manera absorber las dilataciones y contracciones de la línea catenaria, que se producen con los cambios de temperatura.

En la ménsula se instala un herraje denominado brazo tensor. Este absorbe las vibraciones y movimientos transversales de la línea catenaria, provocadas por la pasada del pantógrafo, además es el que permite realizar la desviación de la línea catenaria; Existen varios tipos de brazos tensores: el recto, el rectangular y el curvo.

- Postes.

Los postes son utilizados para soportar o retener las líneas aéreas. Los postes pueden ser de hormigón, acero, y de madera, los más utilizados son los postes de hormigón y en aquellos lugares que por altura sea necesario, se instalarán postes de

acero reticulado, los postes de madera se utilizan para casos de emergencia para la normalización en caso de accidente.

- Dispositivos de reguladores de tensión

Las líneas se expanden y se contraen (acorde a sus coeficientes de expansión lineal) con los constantes cambios de temperatura. Esta expansión y contracción de las líneas provocan una curvatura de la misma haciendo imposible el buen contacto del pantógrafo.

El regulador de tensión automático absorbe la expansión y la contracción, manteniendo constante la tensión mecánica de la línea. Este permite que la conexión del pantógrafo pueda realizar en forma suave.

Para poder instalar los dispositivos se secciona la línea catenaria en tramos de una cierta longitud, que se determina considerando la performance del dispositivo del dispositivo regulador de tensión automático.

Los dispositivos reguladores suelen ser automáticos o manuales. A su vez existen dos tipos de regulares automáticos: el tipo a polea y el tipo resorte.

- Componentes propios del material rodante

- *Pantógrafo*

- El dispositivo, aunque no forma parte de la línea de alimentación es muy importante por ser el encargado de captar la energía eléctrica de la Línea de contacto de la catenaria y transmitirla a la máquina del tren. Ubicado en el techo de la locomotora y aislado de ésta mediante aisladores de porcelana, consiste en una mesilla con una o varias placas conductoras que cuenta con regulación y amortiguación vertical, mediante muelles o a través de un sistema neumático, que le

El motor de corriente continua que se utilizan en ferrocarriles se caracteriza por su excitación en serie. Entre las características **principales de este tipo de motores se encuentra su capacidad de** soportar elevadas sobrecargas; Al disminuir el par resistente, el motor reduce lentamente su consumo de corriente, elevándose su velocidad.

La regulación de la velocidad de estos motores se realiza conectando un reóstato en paralelo con el inductor o variando la tensión en sus terminales de manera directa o introduciendo resistencias en serie con el inducido. El procedimiento de variar la tensión puede realizarse de manera económica al disponer el tren, por lo general de más de un motor.

Si la locomotora dispone de un motor en el bogie delantero (que impulsa los ejes delanteros) conectado en serie con el motor de bogie trasero (que impulsa los ejes traseros), las velocidades de los motores son iguales en todo momento. La variación de velocidad se consigue con la conexión serie-paralelo de ambos motores, consiguiéndose dos velocidades básicas de trabajo con buen rendimiento energético..

En un principio, los motores están conectados en serie a través de una resistencia variable que se va eliminando gradualmente (mediante dispositivos electrónicos hoy en día) hasta que se obtiene una tensión en bornes de cada motor mitad de la línea de contacto (1500V), Cuando se desea aumenta la velocidad de la locomotora, se cambia la conexión en serie de los motores y se pasa a una conexión en paralelo insertan al mismo tiempo entre ellos y entre la línea de contacto una resistencia exterior. Esta resistencia se va eliminando poco a poco hasta que los motores

funcionan a plena tensión de línea (3000 V) obteniendo la segunda posición estable de funcionamiento.

El motor de corriente continúa precisa de dispositivos electromecánicos entre los que se encuentra el colector de delgas o conmutador, siendo éste un elemento propio de los motores de corriente continúa. El colector de delgas es el órgano encargado de la conversión mecánica de la corriente alterna inducida en las bobinas en corriente de salida.

La extracción o suministro de corriente al colector se realiza por medio de escobillas de grafito que ejercen una presión sobre el colector manteniéndose fijas respecto a éste.

- *Motores de corriente alterna.*

Los motores de corriente alterna se pueden clasificar en dos tipos, en función del número de fases que los alimenten, en caso de que sea una sola fase se denominan monofásicos y si son tres trifásicos.

Los motores trifásicos de tracción son más robustos y tienen un coste de mantenimiento menor, además para la misma potencia y revoluciones que un motor monofásico, sus cables de alimentación son más pequeños y su tamaño es menor y por tanto resulta más barato. A pesar de estas ventajas, el hecho de que las locomotoras se alimenten solamente con una fase ha favorecido el uso de los motores monofásicos en el ferrocarril.

Para una determinada frecuencia, el par motor alcanza su máximo a una determinada velocidad por lo que, si queremos conseguir más velocidad, a igualdad de par, no queda más remedio que variar la frecuencia. Por este motivo, los variadores de velocidad más extendidos en los motores de corriente alterna trifásica basan su funcionamiento en la variación de la frecuencia.

La figura que aparece a continuación muestra la curva par-velocidad de tres motores distintos y es el fundamento de la regulación de tracción en motores asíncronos trifásicos.

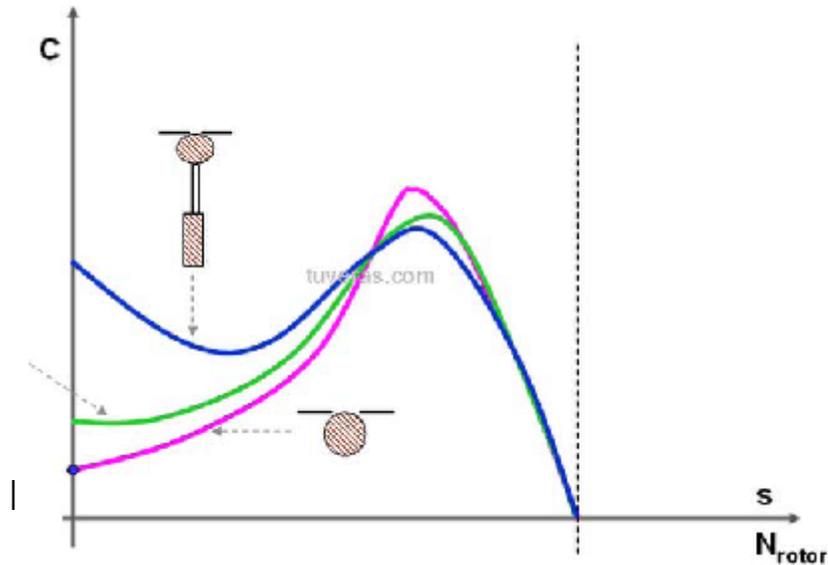


Figura N° 7. Curva Par-Velocidad motor asincron

Fuente publicación Wed Tec. Eléctrica

El eje vertical representa el par y el horizontal la velocidad del rotor o parte móvil del motor trifásico

c. Sistema de frenado

Los sistemas de frenado juegan un papel muy importante a la hora de la recuperación de la energía que previamente se le ha suministrado al material móvil para su tracción, ya que el tipo de freno empleado en cada ocasión, condiciona la posibilidad d recuperación de esa energía.

En función del método empleado para realizar la frenada, los frenos ferroviarios se pueden clasificar en dos grupos fundamentales: el Freno Eléctrico y el freno mecánico o neumático.

- El freno eléctrico

El fundamento del freno eléctrico reside en el importante fenómeno consistente en que los motores eléctricos de colector o trifásicos (síncronos o asíncronos) tienen un funcionamiento reversible, es decir, pueden funcionar como motores durante su tracción, absorbiendo corriente eléctrica de la catenaria y produciendo esfuerzo tractor o como generadores durante el proceso de frenado, produciendo corriente eléctrica y absorbiendo la energía mecánica del tren.

Existen tres posibilidades de freno eléctrico, en función del consumidor de la energía eléctrica generada por los motores:

- Reostático. La energía se disipa en forma de calor en conjuntos de resistencias montados sobre el propio vehículo. En el caso de tracción eléctrica es deseable que pueda funcionar incluso sin tensión de catenaria. Se utiliza también en tracción diesel-eléctrica (freno hidráulico con tracción diesel –hidráulica).
- Regenerativo. La energía recuperada no se disipa en resistencias, sino que es aprovechada por otros elementos del sistema o incluso podría ser devuelta a la red pública. La existencia y utilidad de este tipo de freno es uno de los pilares del presente proyecto.
- Mixto. El desarrollo de la electrónica de potencia ha posibilitado la utilización de este sistema, que consiste en la utilización del freno reostático y regenerativo de manera yuxtapuesta y automática en función de las necesidades. El atractivo de eliminar el reóstato de frenado hace previsible que en el futuro la tendencia se incline a favor del freno solo por recuperación, en lugar del mixto.

El freno eléctrico guarda ciertas ventajas frente a freno neumático como son:

- Protección de las ruedas
- Conducción más fácil del tren
- Comodidad para los viajeros
- Ahorro de energía.

El freno eléctrico permite recuperar parte de la energía que se le había cedido al tren para su tracción, lo que permite ahorrar energía y mejorar la eficiencia global de las líneas de ferrocarril, ahora acompañado de la electrónica de potencia se hace más fácil su utilización permitiendo trabajar al motor a una fuerza electromotriz inferior a la tensión de catenaria, actuando como un “transformador de corriente continua” elevador de Tensión y actúa como un estabilizador de tensión controlando las variaciones bruscas de tensión en la catenaria.

En Alta Velocidad el freno eléctrico ha pasado a ser el sistema de freno principal del tren, utilizándose casi con exclusividad durante las frenadas de servicio, y aplicándose el freno neumático con discos de freno solo como apoyo al freno eléctrico en caso de deceleraciones fuertes, frenados de emergencia o estacionamientos.

- El freno neumático

Se considera el freno más fiable y motivo por el cual el frenado de emergencia se realiza exclusivamente con el freno neumático.

Todo el sistema de freno neumático termina en los bogues, que son el último eslabón de la cadena de freno de un tren.

El sistema mecánico de freno puede ser de dos tipos:

- Mediante frenos de disco. El frenado se produce a través de unas zapatas, que presionan al disco al ser accionadas por un cilindro

neumático, hidráulico o con resorte interno de muelle para casos de emergencia o freno de estacionamiento.

- Patín sobre el carril. El esfuerzo de freno se produce por acción electromagnética.

La acción neumática es promovida por el pistón de un cilindro que se amplifica mediante un juego de palancas y timonería. La mayoría de los frenos se basan en sistemas de aire comprimido con presiones de funcionamiento que oscilan entre 0 y 6 atmósferas.

d. El Proceso de Recuperación de Energía

En este apartado se describen los distintos elementos que intervienen directamente en el proceso de recuperación. Cuáles son, en qué consisten y cómo actúan.

- Frenado regenerativo

Un freno regenerativo es un dispositivo que permite reducir la velocidad de un vehículo transformando parte de su energía cinética en energía eléctrica.

Para que exista el frenado regenerativo, el motor del tren debe ser capaz de funcionar como receptor y como generador. Cuando funciona como generador, a partir del par aplicado por los ejes de las ruedas genera energía eléctrica y a la vez se consigue el efecto de frenado.

En función del destino de la energía generada podemos clasificar éste tipo de freno como regenerativo (la energía se aprovecha) o reostático (la energía eléctrica generada en la frenada es disipada en forma de calor).

El frenado tradicional, basado en la fricción, se sigue empleando junto con el regenerativo ya que aunque el frenado regenerativo

reduce de manera efectiva la velocidad a niveles bajos, la cantidad de energía a disipar queda limitada por la capacidad de absorción de ésta por parte del sistema, o por el estado de carga de los acumuladores. Un efecto no regenerativo puede ocurrir si otro vehículo conectado a la red suministradora de energía no la consume o si las baterías o condensadores están cargados completamente. Por esta razón, se disipa energía en dichas situaciones. Los frenos reostáticos, a diferencia de los regenerativos, disipan la energía eléctrica en forma de calor al hacer circular la corriente generada durante el frenado, a través de enormes bancos de resistores variables o reostatos. Por tanto, presentan dos inconvenientes principales en comparación con el freno regenerativo:

- No se aprovecha la energía cinética que el tren posee, para otros usos como servicios auxiliares o el abastecimiento a otros trenes, lo que reduce el rendimiento del sistema.
- El calor generado por los resistores puede servir para calentar el interior del vehículo, pero lo habitual es que ese calor tenga que ser disipado al exterior, lo que se traduce en un gasto energético adicional.

El funcionamiento del freno regenerativo se basa en el principio de que un motor eléctrico puede ser utilizado como generador. El motor eléctrico de tracción es reconectado como generador durante el frenado y los terminales de alimentación se convierten en suministradores de energía, la cual se conduce hacia una carga eléctrica, y es esta carga la que produce el efecto de frenado.

Durante el frenado, las conexiones del motor de tracción son modificadas, mediante un dispositivo electrónico, para que funcione

como un generador eléctrico. Por ejemplo, los motores de corriente continua brushless (del inglés, sin escobillas), cuentan normalmente con sensores de efecto Hall para determinar la posición del rotor del motor, lo que permite tener información del vehículo y calcular cómo se ha de frenar de la manera más adecuada.

Los campos del motor se conectan al motor principal de tracción y las armaduras del motor se conectan a la carga. El motor de tracción proporciona la excitación de los campos magnéticos, las ruedas del vehículo al girar, mueven las armaduras, y el motor actúa como generador.

Si el movimiento del vehículo es desacelerado, el flujo de corriente a través de la armadura del motor durante ese frenado debe de ser contrario al que se utiliza para accionar al motor.

El esfuerzo de frenado es proporcional al producto de la fuerza magnética de las líneas de campo multiplicado por la velocidad angular de la armadura.

Electrónica de potencia

Para que el motor pueda adaptarse a las diferentes situaciones, pasando de receptor a generador y de generador a receptor, es necesario que los equipos de electrónica asociados al motor permitan y gestionen éstos cambios.

Uno de los dispositivos electrónicos que va a tener relevancia en éste proceso es el inversor. Sobre todo cuando la alimentación por catenaria sea en corriente continua, con esquemas como el de la Figura , se destinan a alimentar, partiendo de la corriente de alimentación en continua, a los motores de sistemas auxiliares (compresores, ventiladores, etc.) y al alumbrado interior de los vehículos.

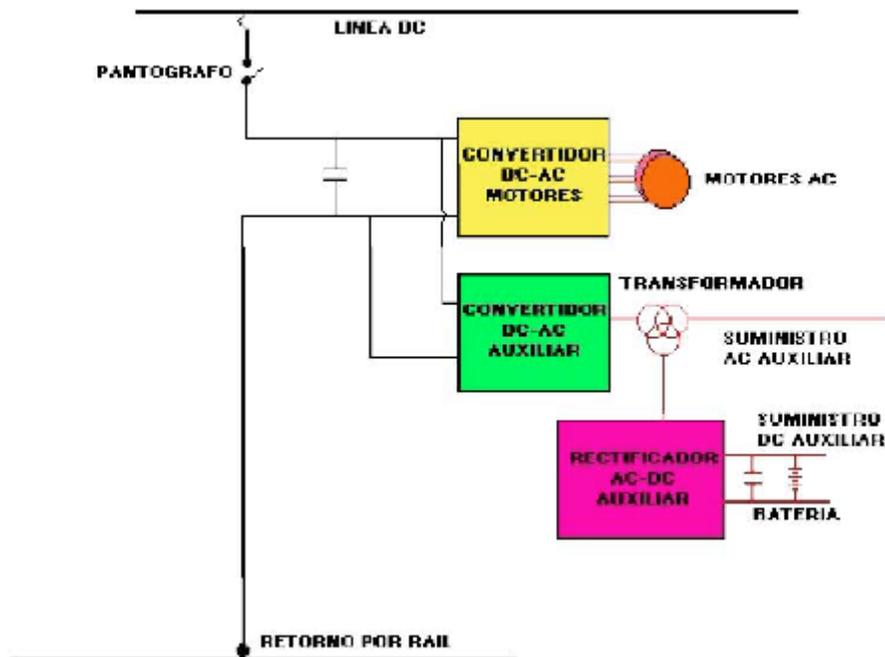


Figura N° 8 Esquema de alimentación del tren en corriente continua.

Fuente: Rafael Estrada. G. Univ. Tec. de Zaragoza

Estos convertidores estáticos adoptan diferentes configuraciones según cada constructor, la potencia de diseño y el sistema de refrigeración utilizado (convección natural, ventilación forzada o refrigeración por agua o líquido frigoríficos).

En el caso de alimentación en corriente alterna los equipos convertidores de corriente continua a corriente alterna son igualmente necesarios para la alimentación de los motores y los servicios auxiliares de corriente alterna. En este caso, además, se

hace necesario un rectificador de corriente alterna a corriente continua entre los equipos anteriores y la captación de la línea.

e. Alternativas para el aprovechamiento de la energía regenerada.

Existen diferentes estados de comportamiento del tren capaz de recuperar energía mientras recorre un trazado, así como los elementos que deben incorporarse al material rodante y las subestaciones (distinguiendo entre las de corriente continua y las de alterna) para que la recuperación se realice de la manera más eficiente posible.

Existen distintas posibilidades o casos que se pueden presentar mientras el tren se desplaza por la vía, en función de sus características y los dispositivos de gestión y almacenamiento de energía disponibles.

El motor del tren actúa como receptor cuando el tren circula con pendiente equivalente positiva (cuesta arriba) o con una pendiente que no sea lo suficientemente negativa como para vencer las fuerzas de resistencia al avance, el tren actúa únicamente como receptor y por tanto sólo consume energía eléctrica.

Para que el motor del tren comporte como generador, es necesario que se dé al menos una de las siguientes condiciones:

- Que la fuerza resultante de la pendiente equivalente negativa supere al vector total de resistencia al avance y el tren haya superado su velocidad objetivo.
- Que el tren necesite frenar porque se aproxima a una estación o a un punto del trazado con velocidad limitada.

Cuando el tren se encuentra en una de éstas situaciones, el sistema electrónico de control se encarga de realizar el conexionado eléctrico necesario para que el motor eléctrico de tracción pase a actuar como generador.

Modalidades para uso de la Energía regenerada.

Para aprovechar la energía generado de los trenes existen diversas modalidades: Parte de la energía generada puede ser almacenada a bordo del tren, en un banco de supercondensadores o baterías, también puede emplearse para alimentar a otros elementos del sistema ferroviario (otros trenes, balizas, semáforos, etc.) e incluso podría ser devuelta a la red de abastecimiento para ser aprovechada por otros consumidores según se aprecia en diagrama de flujo de la figura....

En cualquier caso, en términos de eficiencia energética, la implantación de equipos de recuperación y aprovechamiento se traduce en una menor consumo energía y otros efectos positivos como una posible reducción de la potencia instalada en las subestaciones de tracción y aumentos puntuales de los niveles de tensión en catenaria etc.

De todos estos procesos de aprovechamiento desde el punto de vista de la eficiencia energética es más apropiado devolver a la Red la energía regenerada que almacenarla, ya que para esta se requiere una serie de equipamientos para la acumulación de energía que se requerirán más inversión.

Para devolver la energía eléctrica para la alimentación a la catenaria hay que tomar en cuenta los dos tipos de subestaciones existentes.

Las subestaciones en corriente alterna que son por si reversibles lo que hace más sencillo en proceso de recuperación de la energía, en caso de las subestaciones eléctricas de corriente continúa como es el caso de la línea que se está analizando

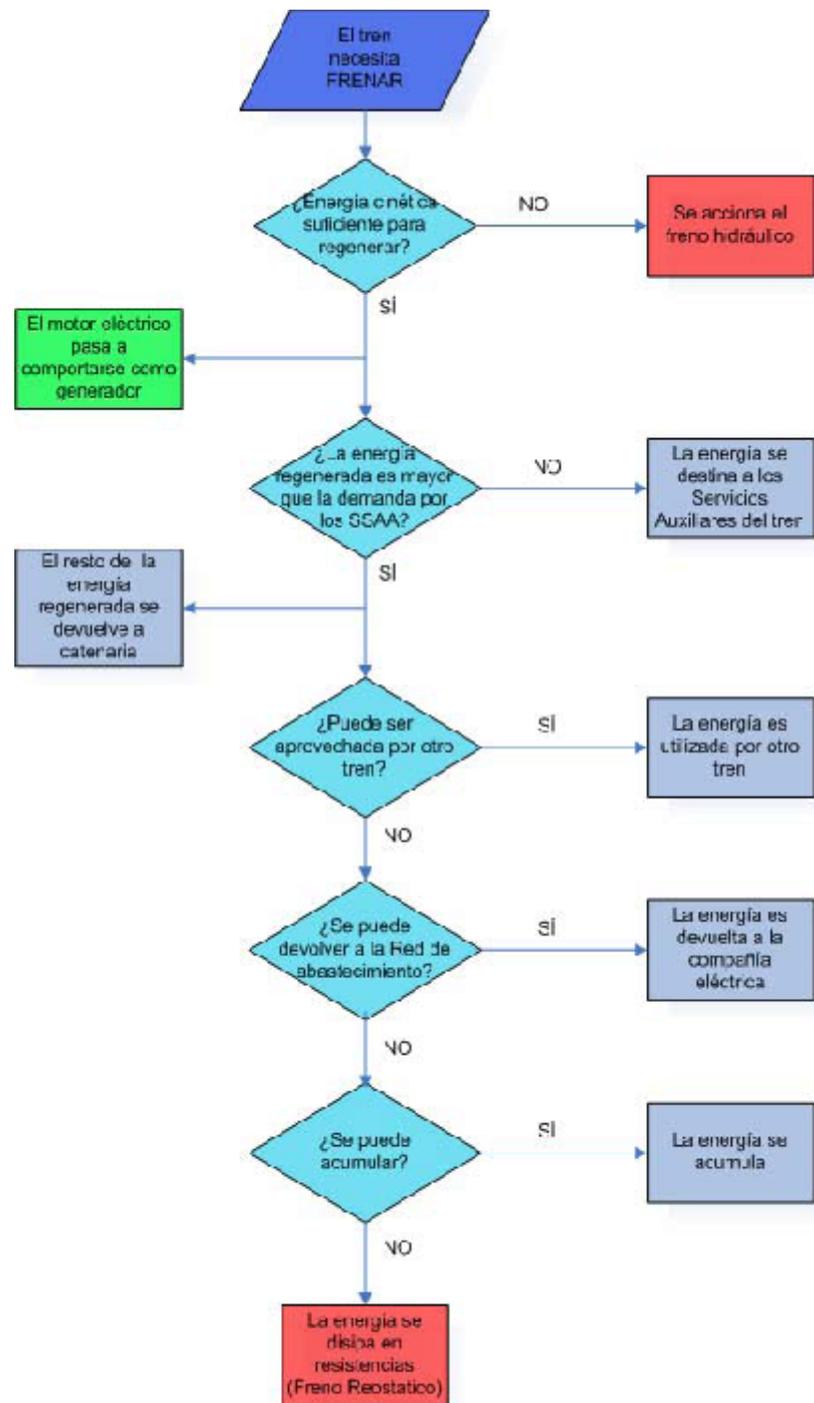


Figura N° 9: Diagrama de flujo de proceso de frenado Regenerativo
 Fuente: Estudio del aprovechamiento de la energía regenerada por los trenes:
 Diego Lopez Duran

Se diferencian de las subestaciones de corriente alterna que dentro del equipamiento tienen un puente de diodos rectificador situado tras el transformador reductor que se encarga de realizar cambio de corriente alterna a continua para alimentar la catenaria.

Además de ser de considerable potencia están refrigerados por radiadores de calor de aluminio. Éste dispositivo sólo admite la circulación de corriente en un solo sentido, aguas abajo. Por consiguiente, para que las subestaciones de corriente continua sean reversibles es necesario instalar equipos de inversores de cuatro cuadrantes, cuyo dimensionamiento estará relacionado con el volumen de energía que esté previsto recuperar ver siguiente figura:

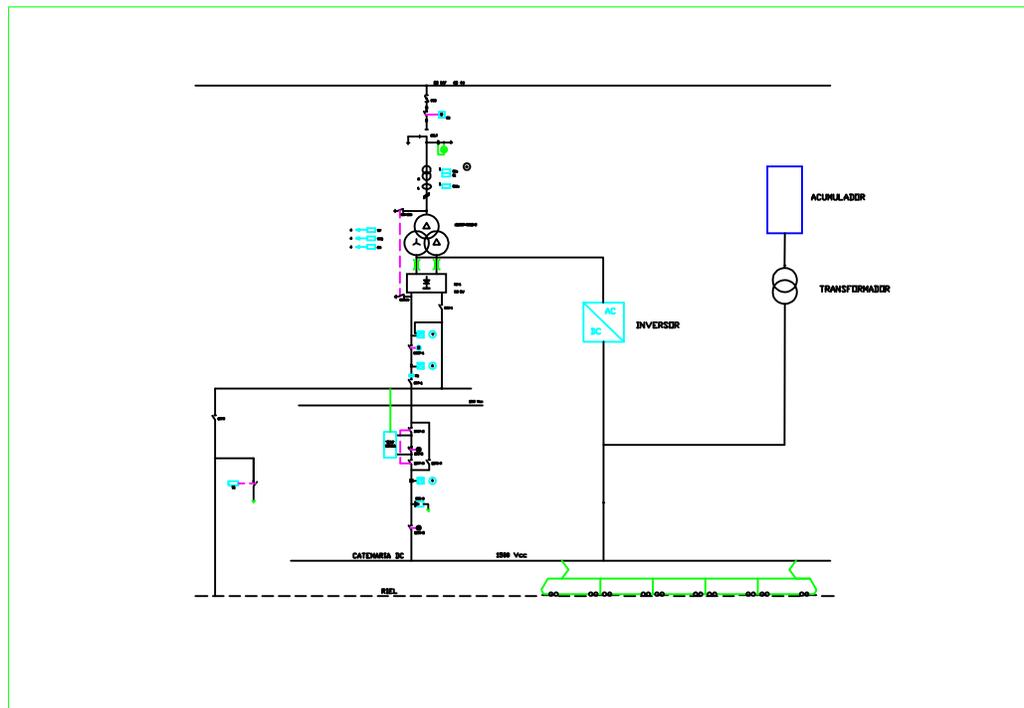


Fig N° 10, Esquema de la Subestacion Reversible , Fuente Elaboración propia.

4.3 NORMAS RELACIONADAS

En presente acápite mencionaremos algunas normas relaciones con la eficiencia energetica tanto nacionales como internacionales:

4.3.1 Normas Nacionales de Eficiencia Energética

4.3.1.1 Normas generales:

- *Ley N° 27345 (08/09/2000):* Ley de Promoción del Uso Eficiente de La Energía.

Esta ley declara de interés nacional la promoción del Uso Eficiente de la Energía (UEE) para asegurar el suministro de energía, proteger al consumidor, fomentar la competitividad de la economía nacional y reducir el impacto ambiental negativo del uso y consumo de los energéticos. Además señala las facultades que tienen las autoridades competentes para cumplir con este objetivo.

- *D.S. N° 053-2007-EM (23/10/2007)* Reglamento de la Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía

La presente norma tiene por objeto reglamentar las disposiciones para promover el uso eficiente de la energía en el país contenidas en la Ley N° 27345, Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía.

El uso eficiente de la energía contribuye a asegurar el suministro de energía, mejorar la competitividad del país, generar saldos exportables de energéticos, reducir el impacto ambiental, proteger al consumidor y fortalecer la toma de conciencia en la población sobre la importancia del Uso Eficiente de la Energía (UEE).

El Reglamento es de aplicación a la producción, transporte, transformación, distribución, comercialización y consumo de energía.

4.3.1.2 Normas específicas

- *D.S. N° 034-2008-EM(19/06/2008)*

Se dictan medidas para el ahorro de energía en el Sector Público.

Mediante el cual se define el Uso Eficiente de la Energía, como la utilización de los energéticos en las diferentes actividades económicas y de servicios, mediante el empleo de equipos y tecnologías con mayores rendimientos energéticos y buenas prácticas y hábitos de consumo y la

Necesidad de determinar las características técnicas que deben cumplir los equipos eficientes que tienen que utilizar las entidades del sector público para fines de iluminación.

- *R.M. N° 038-2009-MEM/DM (21/01/2009)*

Se aprueban los Indicadores de Consumo Energético y la Metodología de monitoreo de los mismos para que el Ministerio de Energía y Minas pueda desarrollar planes y acciones energéticas para los próximos años para los diferentes sectores económicos.

- *R.M. N° 469-2009-EM/DM (26/10/2009)*

Aprueban el Plan Referencial del Uso Eficiente de la Energía 009-2018 con el objetivo es reducir el consumo en un 15% hasta el año 2018 en relación a la demanda base proyectada hasta ese año, sin afectar la producción o servicios de los diversos sectores económicos ni el confort del sector residencial.

4.3.2 Normas internaciones de Eficiencia Energética.

4.3.2.1 Normas Gestión de Energía

- **ISO 50001**

Esta Norma Internacional especifica los requisitos de un sistema de gestión de la energía (SGEN) a partir del cual la organización puede:

- Desarrollar e implementar una política energética
- Establecer objetivos, metas, y planes de acción que tengan en cuenta los requisitos legales
- información relacionada con el uso significativo de la energía. y los recursos

La implementación de esta Norma Internacional está destinada a conducir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, de los costos de la energía y de otros impactos ambientales relacionados, a través de una gestión sistemática de la energía.

Esta Norma Internacional es aplicable a organizaciones de todo tipo y tamaño, independientemente de sus condiciones geográficas, culturales o sociales.

Las principales ventaja de implementar de implementación de la Norma para una organización interesad en elevar la eficiencia energética de sus procesos son:

- Proporciona a las organizaciones la forma de integrar la eficiencia energética a las prácticas actuales de gestión.
- Proporciona una metodología lógica y coherente para la identificación y la aplicación de mejoras de la eficiencia energética que contribuyan a la mejora continúa de la misma en las instalaciones de la organización.
- Ofrece orientación para definir la línea base, medir, documentar e informar las mejoras en los indicadores de desempeño energético y su impacto sobre las reducciones de las emisiones de GEI.

- Crea transparencia y normalización en la gestión energética donde actualmente no existe, facilitando el reconocimiento y generalización de las mejores prácticas de dicho tema.
- Proporciona un marco a las organizaciones para alentar los proveedores a gestionar su energía multiplicando la reducción de la intensidad energética de cada organización participante.
- Reduce los costos de producción relacionados con el consumo energético.
- Obliga a pensar y establecer la seguridad del suministro energético a mediano y largo plazo.
- Reduce la exposición de la organización a las fluctuaciones de los costos energéticos.
- Ofrece a las organizaciones con operaciones en más de un país, una sola norma para la aplicación armonizada en toda la organización.
- Facilita el acceso a mercados voluntarios de reducción de GEI
- Permite demostrar a terceros el cumplimiento de un compromiso social organizacional con el medio ambiente.
- Establece un criterio homogéneo y efectivo en el mercado de servicios de eficiencia energética.

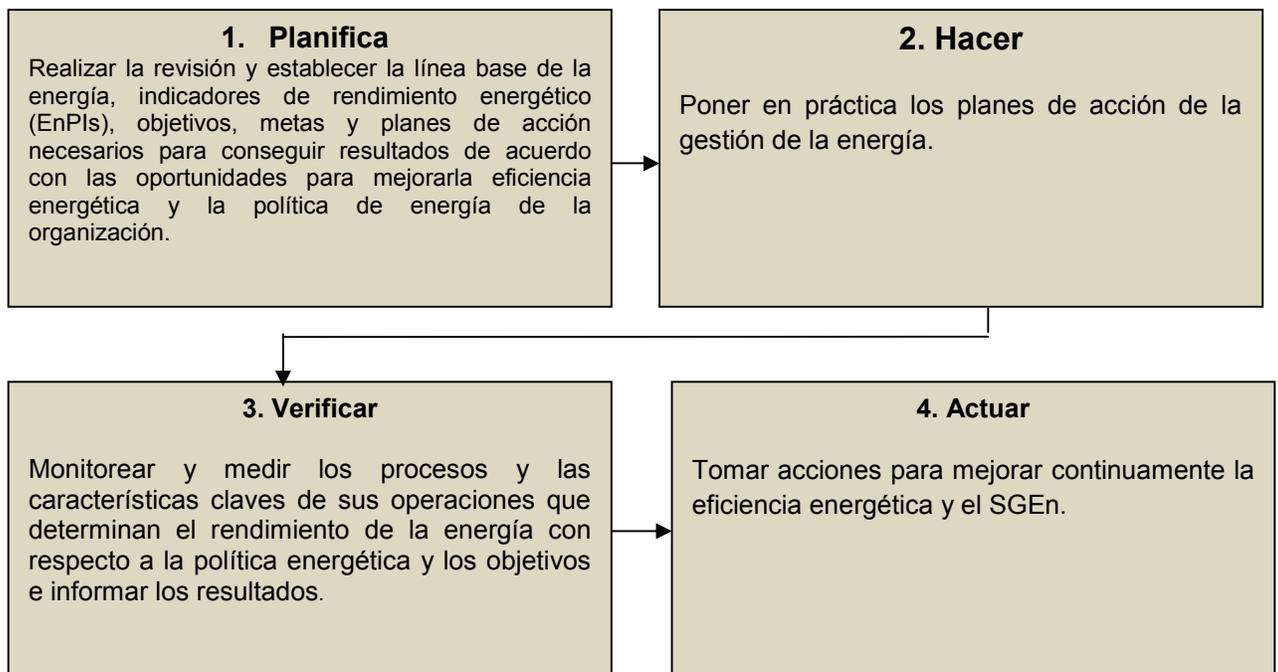
Como se menciono anteriormente la finalidad de esta norma es dotar a las empresas de sistemas y procesos necesarios para mejorar el rendimiento energético, incluyendo la eficiencia energética, uso y consumo y conducir a reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero, el costo de la energía, y otros impactos ambientales relacionados, a través de la gestión sistemática de la energía.

La norma ISO 5001 especifica los requisitos de un sistema de gestión de la energía (SGEN) de una organización para desarrollar e implementar una política energética, establecer objetivos, metas, y planes de acción que tengan en cuenta los requisitos legales y la información relacionada con

significativo consumo de energía. Un SGEN permite a una organización alcanzar sus compromisos de política, tomar las medidas necesarias para mejorar su eficiencia energética.

Esta Norma se basa en el marco de mejora continua **Planificar-Hacer-Verificar-Actuar** e incorpora la gestión de la energía en las prácticas cotidianas de la organización.

Esto puede ser descrito de la siguiente manera:



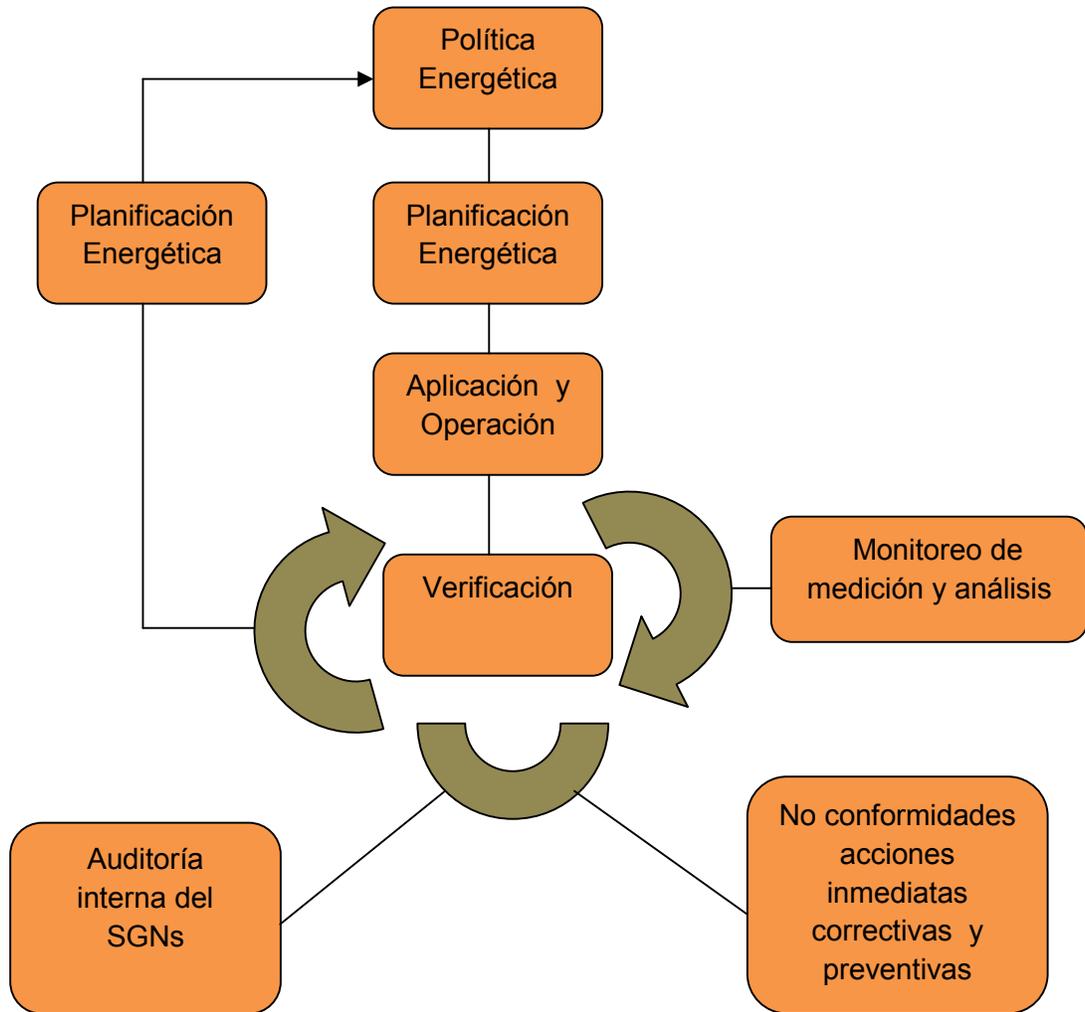


Fig. N° 11 Modelo de Gestión de Energía. Fuente norma 5001

4.4 MÉTODOS DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

Existen muchos métodos para la evaluación de proyectos, aunque los más difundidos en la actualidad, y los más confiables, son aquellos que toman en consideración el valor del dinero en el tiempo al analizar los beneficios y costos esperados durante la vida útil del proyecto

4.4.1 Valor Actual Neto (VAN)

El valor Actual Neto (VAN) llamado también Valor Presente Neto, es un técnica que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

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

$$VAN = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{F_{C_i}}{(1+D)^i}$$

Donde:

K_0 : Inversión o capital inicial.

F_{C_i} : Flujo de caja en el año i .

D : Tasa de Descuento.

n : número de periodos.

Si el resultado de la evaluación:

$VAN > 0$; el proyecto es aceptado

$VAN < 0$; el proyecto es rechazado

4.4.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR), es aquella tasa de descuento para a cual el Valor Actual Neto resulte ser igual a cero, es decir, es aquella tasa de retorno donde los costos igualan a los beneficios y por lo tanto representa el tipo de interés o rendimiento que los beneficios que se van obteniendo de haber realizado la inversión del proyecto, solamente cubren dicha inversión y por lo tanto no se obtiene ninguna utilidad.

$$0 = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{F_{C_i}}{(1+TIR)^i}$$

Como se puede observar, esta ecuación no se puede resolver directamente, sino que se requiere de un análisis iterativo para obtener el valor de la TIR. En nuestro caso se utilizará el paquete informático Excel.

El criterio general para saber si es conveniente realizar un proyecto es el siguiente:

- TIR > i, realizar el proyecto
- TIR < i, no realizar el proyecto
- TIR = i, el inversionista es indiferente entre realizar el proyecto o no.

4.4.3 Relación Beneficio / Costo (B/C)

La relación Beneficio / Costo (B/C), es el cociente del valor presente de los beneficios entre el valor presente de los costos (ambos a una misma tasa de descuento) generados por el proyecto o a lo largo de su horizonte. Se ecuación es la siguiente:

$$B/C = \frac{VPNB}{VPNC}$$

Donde:

VPNB: Valor Presente Netos de los Beneficios.

VPNC: Valor Presente Netos de los Costos.

Si el resultado de la evaluación:

B/C > 1; el proyecto es rentable

B/C < 1; el proyecto no es rentable

CAPITULO 5

5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DEL PROYECTO

5.1 LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS LINEA 1 DEL METRO DE LIMA

5.1.1 Ubicación

La Línea 1 de la Red Básica de Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao, Perú (SETMLC) se encuentra ubicada en el departamento de Lima y la Provincia constitucional del Callao, en la costa central del país, con un recorrido de 35 km, integrando a su paso los distritos de Villa El Salvador, Villa María del Triunfo, San Juan de Miraflores, Santiago de Surco, Surquillo, San Borja, San Luis, La Victoria, Cercado de Lima y San Juan de Lurigancho. (Figura N° 2)

Es la primera de las cinco líneas del metro que conforman dicha Red, constituye un sistema ferroviario de tipo urbano, con línea de doble vía y preferencial que interconecta de sur a norte la Ciudad de Lima. Por ser un sistema de transporte rápido y masivo, beneficia a más de 3 millones de personas, que representa al 41% de la población total de Lima Metropolitana.

5.1.2 Descripción de las instalaciones.

La Línea 1 está conformada por 2 tramos que actualmente están en operación. El tramo 1 tiene una extensión de 22 km y cuenta con un total de 16 estaciones de pasajeros: 6 en superficie y 10 en elevado, 3 subestaciones eléctricas de alimentación, 7 subestaciones eléctricas de tracción, 16 cabinas eléctricas de estaciones y un patio taller para el mantenimiento y estacionamiento de los trenes. (Figura 3); El tramo 2 tiene una extensión de 13 km y cuenta con un total de 10 estaciones de pasajeros todas en elevado, una subestación eléctrica de alimentación, 4 subestaciones eléctricas de tracción, 10 cabinas eléctricas de estaciones y un patio de maniobras.

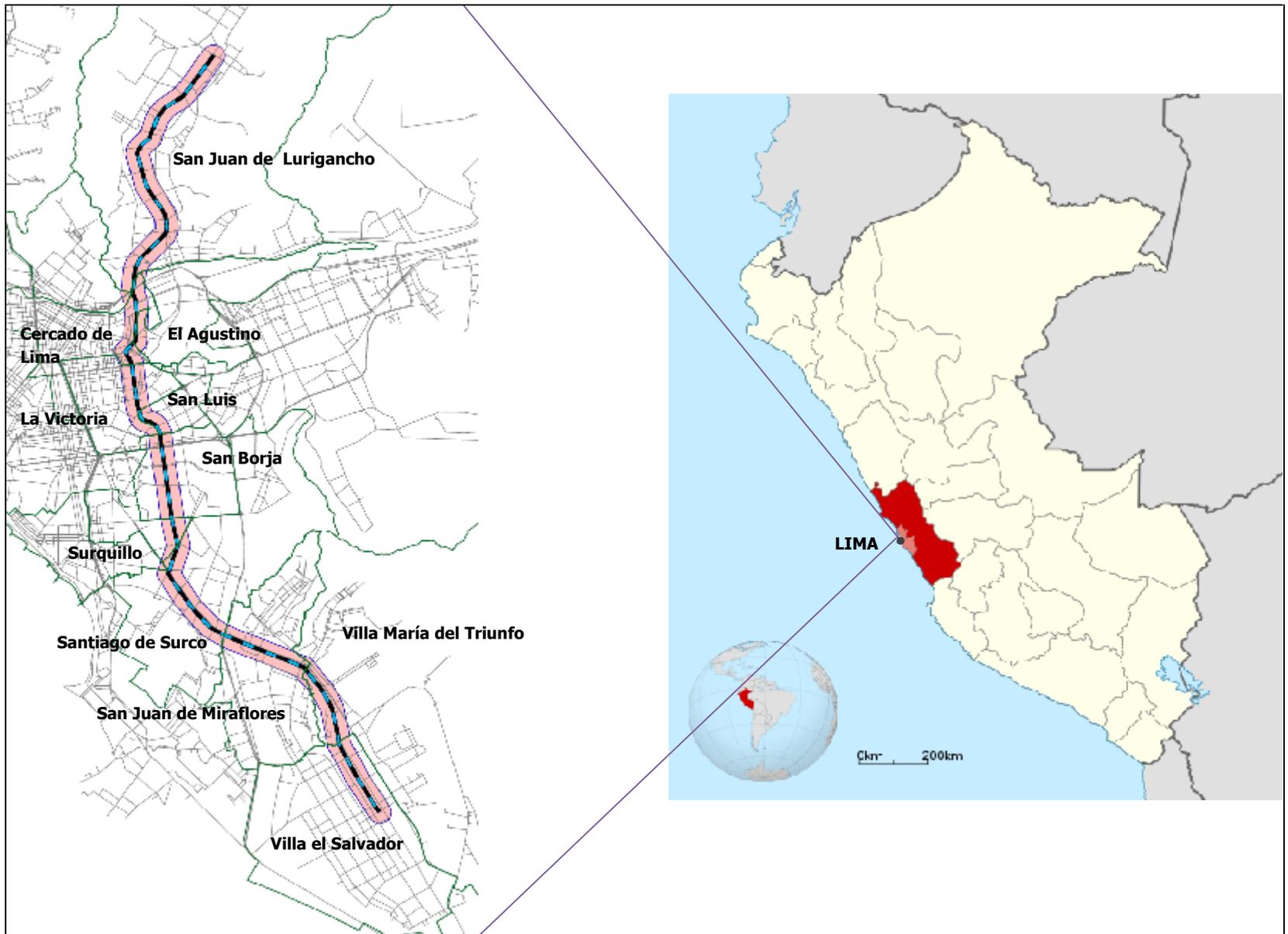


Figura N° 12. Ubicación de la Línea 1 de la Red Básica de Transporte masivo de Lima y Callao, Perú, Elaboración propia



Figura N° 13. Vista Panorámica de la Línea 1 de la Red Básica de Transporte masivo de Lima y Callao, Perú

5.1.3 Características del equipamiento

5.1.3.1 Características del trazado.

- Línea de doble vía completamente en superficie (nivel y viaducto) protegida en sede propia.
- Pendiente máxima 35%
- Radio mínimo de las curvas 200 m
- Longitud de la línea entre los puntos inicial y final 35 km
- Número total de estaciones 26
- Número de estaciones a nivel 6
- Número de estaciones viaducto 30

5.1.3.2 Características de las Instalaciones Electromecánicas.

a. Superestructura de vía

- Ancho de vía (trocha): 1435mm
- Riel tipo 115 RE sección 57kg/m
- Durmientes monobloque con unión elástica de riel y apoyados sobre balasto.
- Cambiavías tipo UNI 50 , tangente 0.12 y radio 170m

b. Alimentación Eléctrica de tracción

- Tensión nominal de la Línea de contacto 1500 V c.c.
- 11 Subestaciones eléctricas de rectificación (20kV c.a. /1500 V c.c.) equipadas con grupos rectificadores de silicio.
- Potencia instalada en cada SEE 3500 kW nominales con completa reserva funcional.
- Línea de contacto de tipo “catenaria” con suspensión longitudinal y regulación automática.

c. Instalaciones de señalización y automatización.

- Bloqueo automático para el distanciamiento de los trenes en línea del tipo de audiofrecuencia.
- Sistema Automático Train Protección del tipo Discontinuo, para la protección Automática de marcha de los trenes.
- Aparatos centrales eléctricas de itinerarios (ACEI) en las estaciones
- Control Centralizado de circulación de trenes.
- Control centralizado de la alimentación eléctrica del Sistema (tracción eléctrica y alimentación Eléctrica del Sistema (tracción eléctrica y alimentación estaciones).

d. Instalaciones de Telecomunicaciones.

- Red telecomunicaciones
- Red telefónica automática
- Red telefónica de emergencia
- Instalaciones de radio tierra tren y de mantenimiento difusión sonora e instalación de televisión a circuito cerrado en las estaciones.

e. Características del Material Rodante (tren)

- La composición máxima del tren es (M1+M2) +R+R+(M2-M1) cada (M1-M2) forma una unidad de Tracción con una sola cabina de conducción.
- Velocidad Máximo de explotación 80km/h
- Peso en vacío 165.5t +/- 3%
- Peso de Pasajeros 91.92 t
- Largo de Tren 107.04m
- Numero de motores 8
- Potencia continua de cada motor 250kW

- Tipo de accionamiento eléctrico de tracción Full chopper
- Caja en aleación Ligera, longitud 17,840mm
- Ancho de la Caja 2.850mm
- Sistema de frenado electrodinámico y neumático de mando eléctrico.

5.1.4 Características Operativas

5.1.4.1 Configuración del sistema

La red de distribución de energía Eléctrica para el tren es alimentada desde tres subestaciones transformadoras, SEAT (subestación eléctrica de alta tensión) Patio Taller de Villa el Salvador, SEAT Grau y la SEAT de Bayovar y están equipadas con dos transformadores de relación 60/21.6 KV con una potencia de 20MVA cada uno, dichas subestaciones son alimentadas desde 3 puntos de suministro independientes del concesionario mediante líneas de transmisión áreas y subterráneas en 60kV.

Desde estas subestaciones se distribuye la energía eléctrica mediante dos circuitos independientes conformando dos mallas de dos anillos abiertos uno para alimentar a las subestaciones de tracción (rectificadoras) y el otro para alimentar a las cabinas eléctricas de estaciones y patios.

En las Subestaciones Rectificadoras la energía eléctrica disponible en 21.6 kV se transforma y rectifica para obtener la tensión de 1500Vcc para alimentación de la catenaria de cual se alimentan los trenes.

En las cabinas eléctricas de estaciones la tensión disponible de 21.6 kV se transforma a 380/220V, 60 Hz para los servicios auxiliares de las estaciones y alimentación a los edificios de los patios, igualmente en las cabinas cuentan con sistemas de 110Vcc y de 24 Vc.c para realizar las funciones de control de manera independiente y alimentar equipos que requieran esas tensiones y contarán con grupos de continuidad eléctrica (UPS) para el caso de falta de

suministro eléctrico normal y están alimentados por un banco de baterías.
(Figura N° 14)

5.1.4.2 Operación del sistema Eléctrico

El sistema de alimentación eléctrica de la línea 1 está en la capacidad de operar condiciones normales y en caso de emergencias a la falta de una subestación.

El sistema está conformado por dos mallas con dos circuitos uno para las subestaciones y cabinas, la energía en 60 kV se suministra a red alimenta a cada malla de 2 puntos distintos, permitiendo la alimentación redúndante de la red en caso que una de las subestación de alta tensión saliera fuera de servicio la carga será trasferida a la otra subestación mediante un cambio de los interruptores de los amillos correspondientes de los circuitos de 21.6 kV y la tercera subestación alimenta al otro sector en forma independiente de tal forma que tanto las subestaciones y cabinas siempre contarán con energía eléctrica ya que cuyos interruptores poseen 2 líneas de entrada y salida respectivamente.

Así mismo en caso que falle una subestación Rectificadora la carga podrá ser asumida por las otras subestaciones vecinas cerrando los seccionadores de acoplamiento de la catenaria dando la continuidad del servicio en condiciones de operación restringida.

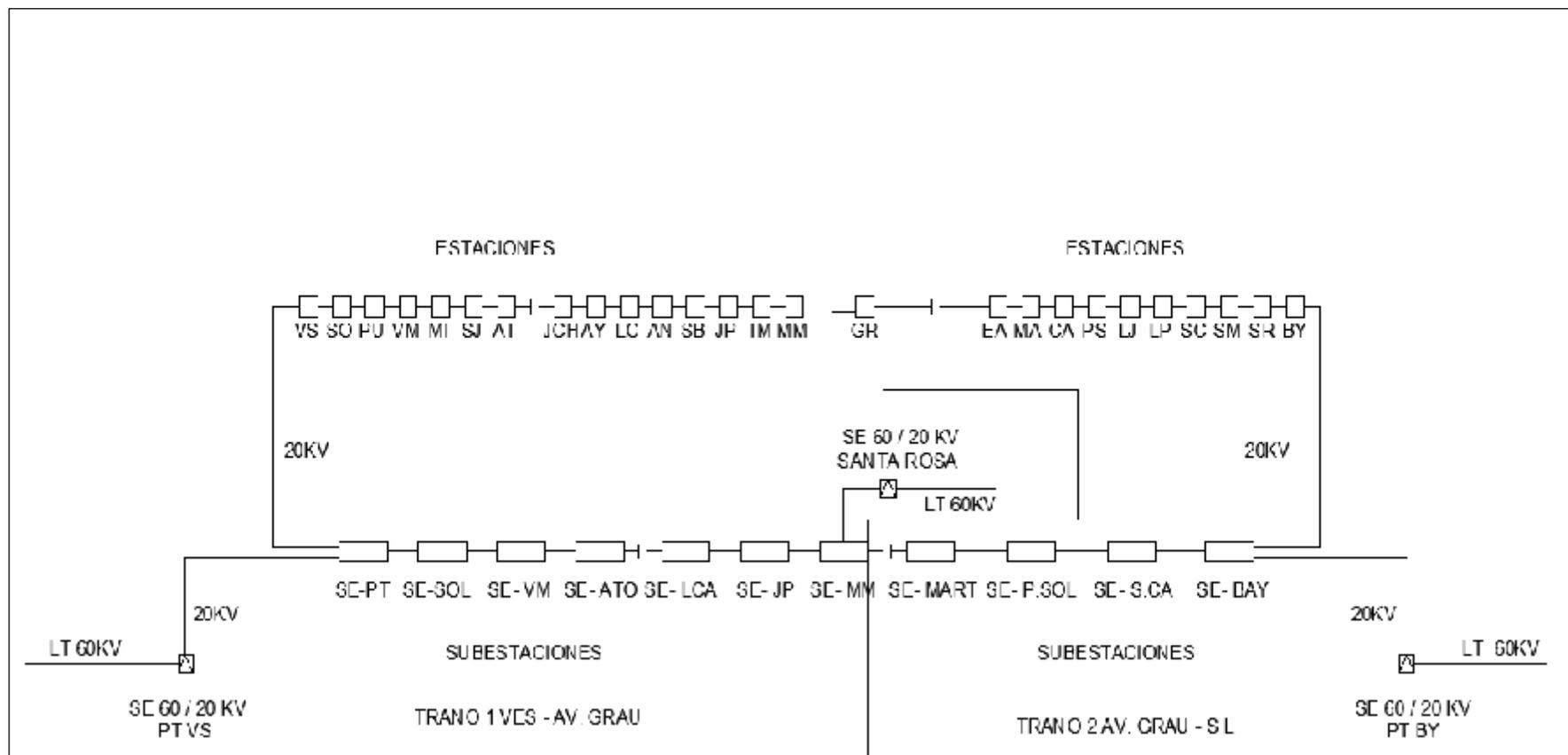


Figura N° 14. Diagrama general del Sistema Eléctrico – Línea1 de la Red Basica del Metro de Lima y Callao. Fuente Elaboración propia.

5.1.4.3 Análisis del Entorno y su impacto Ambiental

La Línea del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima, emplea como principal suministro para su operación, la energía eléctrica lo que ocasiona que no se generen emisiones de gases de combustión que afecten la calidad del aire local.

La reducción del empleo de las unidades de transporte público motorizados, como consecuencia indirecta de la operación del Tren Eléctrico, ocasionaría una reducción de las emisiones de gases de combustión (CO, NOx, SO2), situación que de manera progresiva permitiría la reducción de las concentraciones de estos gases en las zonas aledañas al trazado de la línea 1.

5.1.5 Organización de la Empresa Operadora de la Línea 1

El organigrama hornizacional de la Línea 1 del Metro de Lima esta conforma de la siguiente manera:

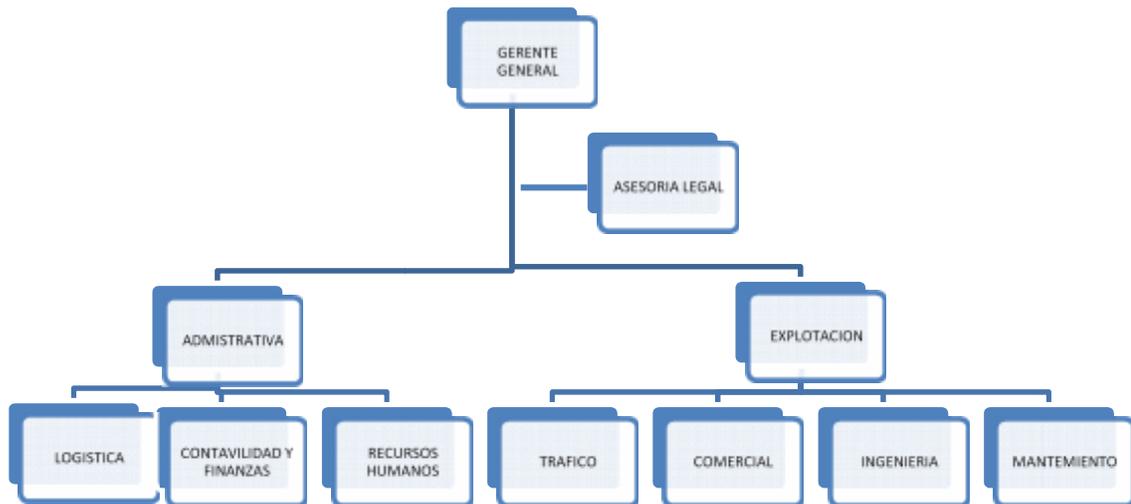


Figura N° 15, Organigrama de la Línea 1, Fuente : Empresa operadora

CAPITULO 6

6 EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL EQUIPAMIENTO

6.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Como paso previo a la realización del estudio energético detallado de la energía eléctrica de la Línea 1 del Metro de Lima, se realiza un reconocimiento preliminar de la situación actual del comportamiento del sistema eléctrico

6.1.1 Determinación de la Matriz FODA

El análisis FODA es una herramienta del análisis estratégico que permite analizar los elementos necesarios que se cuenta en Línea 1 del metro de Lima para la planificación estratégica, proporcionando la información necesaria para la implementación de acciones para establecer medidas necesarias para la optimización de la energía eléctrica.

Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none">• Uso de electricidad como fuente de suministro generando menor contaminación• Sistema de transporte masivo rápido y eficiente haciéndole más competitivo• Infraestructura eléctrica moderna permitiendo un menor consumo energético.• Cuenta con un sistema Centralizado de electrificación SCADA para un adecuado control de la energía.• Gran predisposición para implantar un Sistema de Gestión de energía.• Personal de profesional de mantenimiento capacitado.	<ul style="list-style-type: none">• Incorporación de nuevas tecnologías de eficiencia energética desarrollados en otros sistemas.• Leyes que favorecen la optimización de la energía eléctrica.• Existencia importante potencial para establecimiento de un plan de control energético.• El mejoramiento del ahorro energético mediante la optimización de la eficiencia energética y el establecimiento de un sistema de gestión energética dará un mejor valor agrado frente a otros medios de transporte.

Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Deficiente control del alumbrado • El sistema no dispone de un sistema para mejor aprovechamiento del frenado regenerativo. • Personal operativo con poca experiencia • No se cuenta con un plan de orientación al personal para el ahorro de energía. • Falta implementación de un sistema de gestión de energía 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento del consumo energético debido al crecimiento demanda pasajeros • Diminución de la disponibilidad de energía eléctrica por distorsiones en el sistema de generación debido al cambio climático. • Incorporación de nuevas medidas legislativas. • Aumento de tarifas eléctricas

Elaboración Propia

6.1.2 Distribución de cargas de energía Eléctrica.

La infraestructura de la Línea del tren cuenta desde el punto de vista de energía eléctrica con diversos sistemas y equipos que requieren el consumo de energía eléctrica que están repartidas en dos tipos :

- Carga de Alumbrado y fuerza motriz para las oficinas administrativas, estaciones de pasajeros, patios y talleres de mantenimiento dentro de los cuales se encuentran los servicios auxiliares.
- Cargas de tracción para la circulación de trenes que está en función de las características de los trenes (potencia y peso) y su intervalo de recorrido de acuerdo a la demanda pasajeros requeridos.

6.1.2.1 Cargas de alumbrado y fuerza motriz

a. Estaciones de Pasajeros:

- Descripción de las instalaciones

Las Estaciones pasajeros son en número 26 de están compuestas por 3 sectores definidos, estos son: el Área Técnica, el Área de Pasajeros, y el Andén de pasajeros. Las 2 primeras se ubican en el primer piso y son independientes. El Área Técnica es de acceso limitado solo al personal operador. El andén se encuentra ubicado en el segundo nivel, es la zona de embarque de pasajeros y se encuentra adyacente a la vía de circulación del tren.

Área tecnológica: Cabinas eléctricas de las estaciones, cuarto de bombas y salas de Automatización y telecomunicaciones, dentro de las cuales en algunos casos también se encuentran las subestaciones rectificadoras para la tracción eléctrica que son en número de 11.

Área de Pasajeros: Boleterías, Líneas de torniquetes, zona de maquinas expendedoras de boletos, salas para el personal de control y seguridad y baño para el público y para el personal.



Figura: N° 16 Vista de una Estación Típica de la Línea 1 de la Red Basica del MELICA

- Características de las instalaciones eléctricas de las estaciones.

Suministro de energía eléctrica:

Las estaciones son alimentadas de la red de 21.6KV que conecta todas las estaciones con la subestación principal de 60/21.6kV. Este alimentador de media tensión abastece de energía a los transformadores de servicios auxiliares 21.6/.38-.22kV localizados en la Cabina Eléctrica, los que a su vez proveen el suministro normal al Tablero General de Baja Tensión constituido por tres módulos para alimentación normal, emergencia y continuidad.

Alumbrado:

Para los diferentes ambientes de las estaciones se emplean diferentes equipos de acuerdo a las características de los ambientes y además representan un consumo eléctrico dentro las que podemos citar las más importantes y que se encuentran instaladas un mayor porcentaje las siguientes

En el área técnica se emplean artefactos de tipo hermético (IP-65) con 2 lámparas Fluorescentes de 36 W tanto en la cabina eléctrica de la estación, en las subestaciones eléctricas, salas de telecomunicaciones.

En la área de pasajeros en sala de boleterías, escaleras se utilizan lámparas del tipo high bay tipo colgante con 1 lámpara de de 70 W de halogenuro metálico.

En el andén de pasajeros que son dos con una longitud de 120m se emplean artefactos de iluminación con 2 lámparas de 54 W.

Para la iluminación exterior (plazoletas, zonas de acceso) se utilizaran reflectores y/o luminarias equipadas con lámpara de vapor de sodio alta presión.

Tomacorrientes y cargas especiales

Las estaciones cuentan un circuito de tomacorrientes tanto normales y los del tipo industrial de 380V y 220 V. que están distribuidos tanto en área de pasajeros como en la técnica.

Los servicios internos de las estaciones también cuentan con equipos especiales que también representan un consumo eléctrico que son alimentados desde el tablero de fuerza en el área de pasajeros, y desde el tablero de tomacorrientes en el área técnica. Estas cargas especiales son:

Área Técnica:

- Bombas de Agua Domestica
- Bombas de agua contra incendios
- Extractores de Aire Industriales en Techo
- Equipos de Aire Acondicionado

Área Pasajeros

- Ascensores
- Escaleras Mecánicas
- Equipos de Aire Acondicionado
- Puertas Enrollables

Maxima Demanda.

La demanda energía eléctrica del total de las 26 estaciones es **3,211.25 kW** de los cuales 1,057 kW corresponde a la carga de alumbrado y 775.09 kW a los tomacorrientes y 1.378.23.7kW a fuerza motriz o Cargas especiales.

En la grafica siguiente se muestra a manera de ilustración la demanda de potencia de las 26 estaciones por equipamiento.

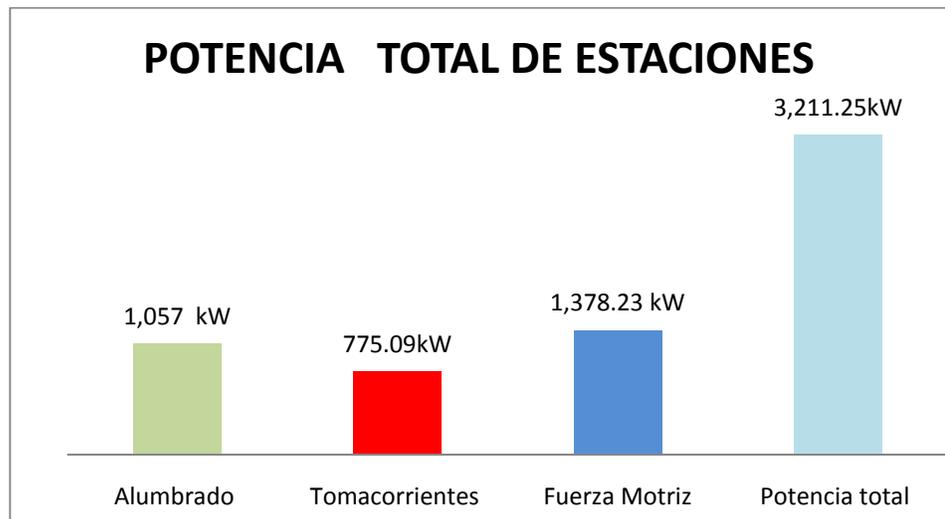


Figura N°1. Gráfica de Potencia Eléctrica en Estaciones de la Línea 1
Fuente : Elaboracion propia

b. Patios y oficinas

La infraestructura de la Línea 1 del metro de Lima cuenta con 2 patios uno denominado Patio Taller y otro Patio de Maniobras en donde están ubicados los talleres de mantenimiento, las oficinas el centro de control de tráfico y energía, los almacenes, las estaciones de bombeo contra incendios y de agua industrial , estación de Aire comprimido, vías de maniobra y estacionamiento y lavado de trenes cada uno de estos cuentan con un sistema de iluminación, tomacorrientes y fuerza motriz.

En cuanto al sistema de iluminación al igual que en las estaciones esta comprende de instalaciones de iluminación normal, de emergencia y una instalación de continuidad para lo cual se tienen instalado los siguiente tipos de equipos:

- En los taller de mantenimiento y almacenes lámparas del tipo high bay tipo colgante con 1 lámpara de de 250 W de halogenuro metálico.
- En las oficinas administrativos y laboratorios, gritas estaciones de bombeo y aire comprimido, fosas de inspección se utilizan luminarias hermeticas tipo industrial equipadas con lámparas fluorecentes 36 W y de 18 W
- Para la iluminación exterior dada la geometría de los patios se utilizaran reflectores y/o luminarias equipadas con lámpara de vapor de sodio alta presión de 400W instalados en postes altos que iluminan zonas donde se prevén actividades particulares (zona de lavado, fosas de inspección, etc)

En cuanto a las instalaciones de fuerza motriz alimentada por el circuito normal de trifásico 380V y con derivación fase neutro para 220V lo conforman el sistema agua industrial y contraincedio, instalaciones de aire comprimido y grupo de maquinas y equipos especiales.

Demanda máxima

La demanda energía eléctrica del total de los talleres y edificios administrativos es **1,171.72 kW** de los cuales 351.52 kW corresponde a la carga de alumbrado y 117,17.44 kW a los tomacorrientes y 703.03kW a fuerza motriz o Cargas especiales.

En la grafica siguiente se muestra a manera de ilustración la suma total de la demanda de potencia de los dos patios.

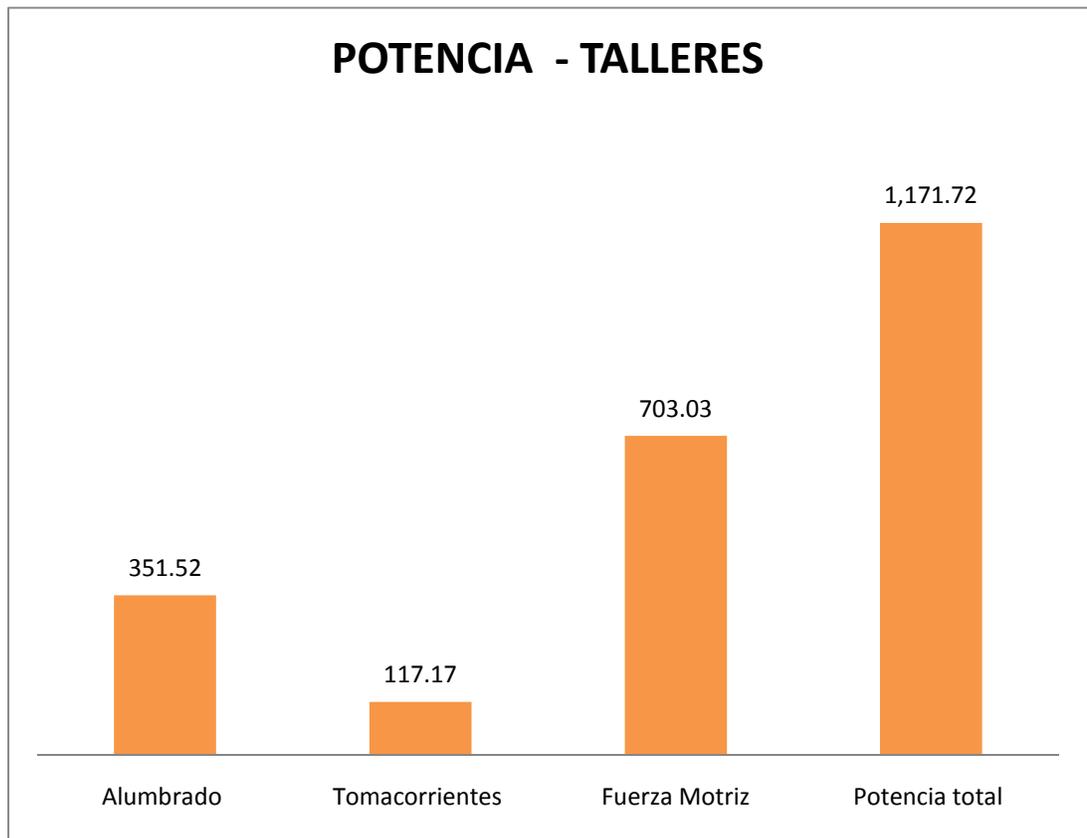


Figura N° 18 Gráfica de Potencia Eléctrica de los Talleres de la Línea 1
Fuente Elaboración Propia

La potencia del total de las instalaciones es **4,382.97 KW**

6.1.2.2 Cargas de tracción:

Estos valores están en función a las características de Material Rodante, y las condiciones de explotación, actualmente se encuentran operando a una frecuencia de 6 minutos en horas punta y 10 minutos en horas valle y se dispone de una flota de 24 trenes siendo sus parámetros los siguientes:

Cuadro N° 1 : Datos Técnicos del Material Rodante

Parámetros de Material Rodante	Tren Alstom
Peso de un Coche con 100 pasajeros (T)	38.7
Coches por Tren	5
Flota disponible	19
Consumo energía tracción (kWh/T-km)	0.09
Potencia requerida/coche (MW)	0.083
Potencia para tracción (kW)	6,250
Potencia total de tracción (kW)	8,750

Fuente : Datos de los fabricantes de los trenes correspondientes

La potencia total de tracción es **8,750 kW**

6.1.3 Consumo de Energía.

Como se menciona en capítulo 5 la línea 1 la red de distribución de energía eléctrica para la Línea 1 actualmente es atendida por dos suministradoras eléctricas que inyectan energía al sistema desde tres puntos de alimentación hacia las subestaciones de alimentación del tramo 1 ubicadas uno el Patio Taller de Villa el Salvador (SEAT PATIO) y la otra cercanías de la Estación Miguel Grau (SEAT GRAU) y la otra alimenta a tramo 2 que entro en operación en julio del año 2014 ubicadas en el Patio de Maniobras (SEAT BAYOVAR) . A la fecha se tiene contratado 7 MW de potencia en cada uno de ellas.

Para este caso del análisis se tiene dos tipos de consumos de Instalaciones (estaciones, oficinas administrativas y talleres) y consumo de tracción.

De acuerdo a los datos históricos registrados el año 2014 para esto dos tipos de consumo y teniendo en cuenta las condiciones de explotación actual contando con la disponibilidad de 24 trenes (5 trenes Ansaldo de 6 coches cada tren y 19 trenes Alstom de 5 coches cada tren) operando en el horario de 06:00 horas a las 22:00 horas con una frecuencia de 6 minutos en horas punta y 10 minutos en horas valle , considerando en el periodo de los Enero a Junio las instalacines del tramo 1 (16 estaciones y un patios taller) correspondientes tramo 1 con una distancia comercial 21.8 km y apartir del mes de julio a Diciembre 2014 que entro en opración el tramo 2 de 12 km en el cual se incluyeron 10 estaciones y 1 Patio de Maniobras, se ha preparado en siguiente cuadro.

Cuadro N° 2 : Consumo de Energia Electrica para Linea 1 – año 2014

AÑO	MES	KWH TOTAL	KWH INSTALACIONES	KWH TRACCION
2014	Ene	3,034,128.08	606,825.62	2,427,302.46
	Feb	2,845,082.16	569,016.43	2,276,065.73
	Mar	3,099,544.85	619,908.97	2,479,635.88
	Abr	2,951,800.74	590,360.15	2,361,440.59
	May	3,099,544.85	619,908.97	2,479,635.88
	Jun	2,992,926.38	598,585.28	2,394,341.10
	Jul	4,273,529.23	854,705.85	3,418,823.38
	Ago	4,273,529.23	854,705.85	3,418,823.38
	Sep	4,135,673.44	827,134.69	3,308,538.75
	Oct	4,273,529.23	854,705.85	3,418,823.38
	Nov	4,135,673.44	827,134.69	3,308,538.75
	Dic	4,273,529.23	854,705.85	3,418,823.38
	TOTAL	43,388,490.83	8,677,698.17	34,710,792.66

Fuente: elaboración Propia

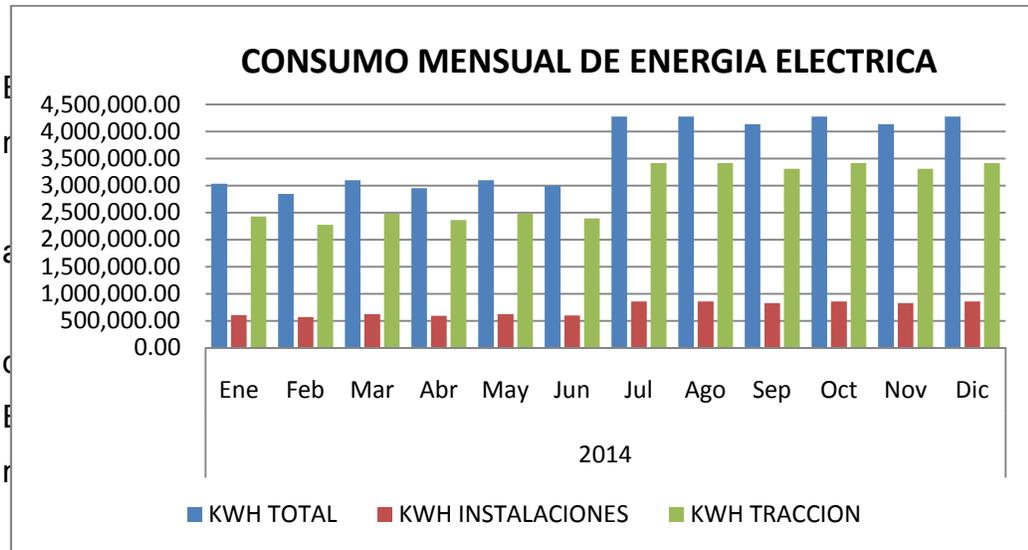


Figura N° 19 : Gráfica del Consumo de Energia Electrica por Sistemas,

Fuente: Elaboración propia

base a los datos anteriormente descritos de consumo anual de energía eléctrica del año 2014 para efectos de indentificar la estructura del consumo de energía eléctrica para la Línea 1 se ha elaborado el siguiente cuadro

Cuadro N° 3 Consumo Anual de Energía Eléctrica por sistemas- Año 2014

NUMERO	SISTEMA	CONSUMO (MWH)	% ACUM.	%
1	TRACCION	34,710.79	80.00%	80.00%
3	FUERZA MOTRIZ	4,120.63	89.50%	9.50%
4	ALUMBRADO	2,790.51	95.93%	6.43%
5	TOMACORRIENTES	1,766.56	100.00%	4.07%
	TOTAL	43,388.49		100.00%

Fuente: Elaboración Propia

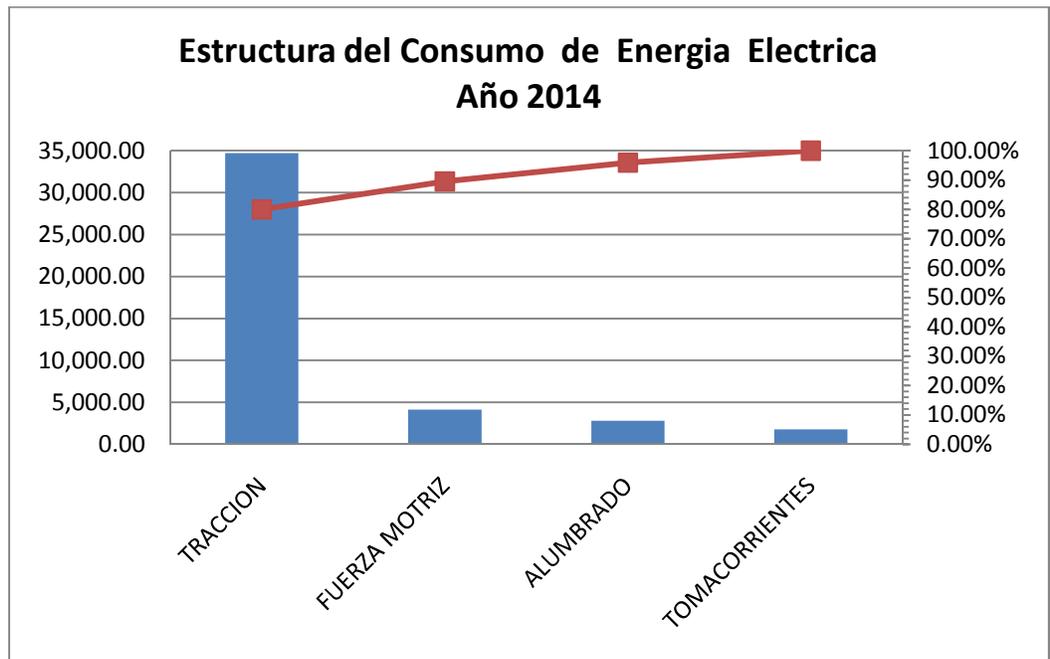


Figura N° 20: Gráfica de la Estructura del Consumo de Energía Eléctrica por sistemas de la Línea 1. Fuente Elaboración Propia

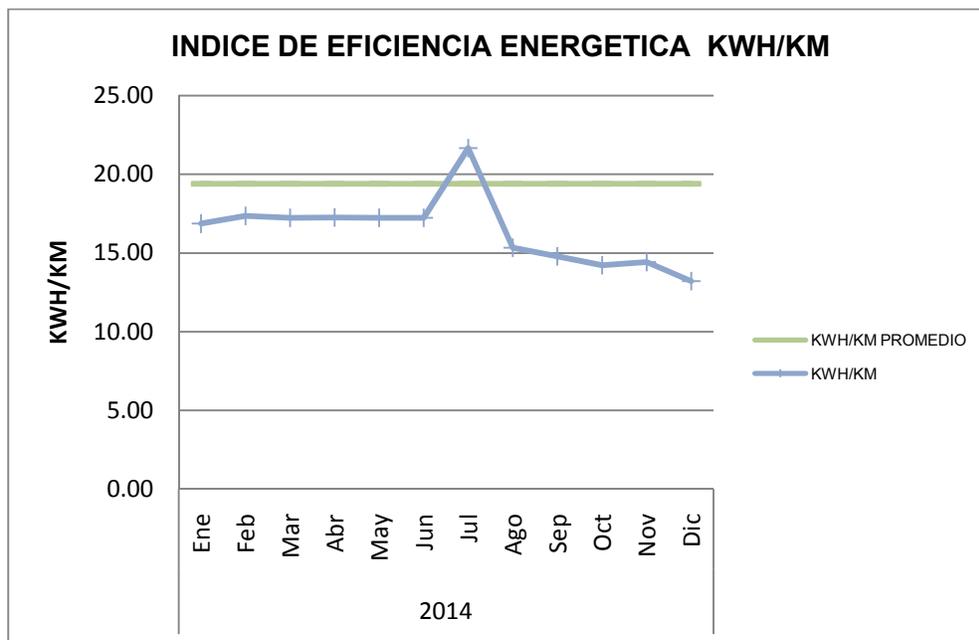
Como se observa en el cuadro y en el Diagrama de Pareto el Sistema de tracción es el de mayor consumo de energía eléctrica al ocupar un 80 % del total consumido el año 2014 , esto obedece a que los principales consumidores son los trenes, las subestaciones de tracción que alimentan a la cateneria , seguido por las instalaciones de fuerza motriz en la que se encuentran los sistemas de señalización , telecomunicaciones y equipos auxiliares) con un 10% del total anual consumido y con un menor porcentaje estan las instalaciones de iluminación y tomacorrientes.

6.1.4 Índice de Eficiencia de Energía Eléctrica

Siendo el principal consumidor de energía eléctrica el sistema de tracción se establece el siguiente Índice Energético (IE) con respecto a los kilómetros recorridos , ambos en el mismo periodo (mensual) para el año 2014:

INDICE	$\frac{\text{Consumo de energía eléctrica}}{\text{kilometro recorrido}}$	$\frac{\text{Kwh}}{\text{Km}}$
--------	--	--------------------------------

A continuación en la *Figura* se muestra el consumo específico de energía eléctrica mensual por kilometro recorrido ,. El promedio del indicador es de **19.40 KWh/km.**



Fig, N° 21 : Gráfica del indicador de Eficiencia Energética. Fuente elaboración propia

6.1.5 Proyección del Consumo de Energía Eléctrica por crecimiento de la demanda.

En vista que a partir del año 2016 debido al incremento de la demanda se tiene proyectado operar a un intervalo de 3 minutos en horas punta y 6 minutos en horas valle manteniendo la misma distancia comercial de recorrido, por consiguiente se aumentan el número de trenes a 20 sobre los 24 actualmente existentes haciendo un total de 84 trenes con lo que se tendría una potencia de tracción estimada en **17,083 KW**, respecto a las potencia de las instalaciones este se vería incrementada debido a la amplexión en un 20% más con la que la potencia en instalaciones anual **5, 260Kw**.

La estructura del consumo de energía eléctrica proyectado por sistema para la Línea 1, el cual servirá como nuestra línea base el mismo que se muestra en el cuadro siguiente:

Cuadro N° 4: Consumo de Energía Eléctrica proyectado por Sistema

SISTEMA	CONSUMO (MWH)	% ACUM.	%
TRACCION	76,608.93	86.16%	86.16%
FUERZA MOTRIZ	5,844.37	92.73%	6.57%
ALUMBRADO	3,957.84	97.18%	4.45%
TOMACORRIENTES	2,505.55	100.00%	2.82%
TOTAL	88,916.69		100.00%

Fuente Elaboración Propia

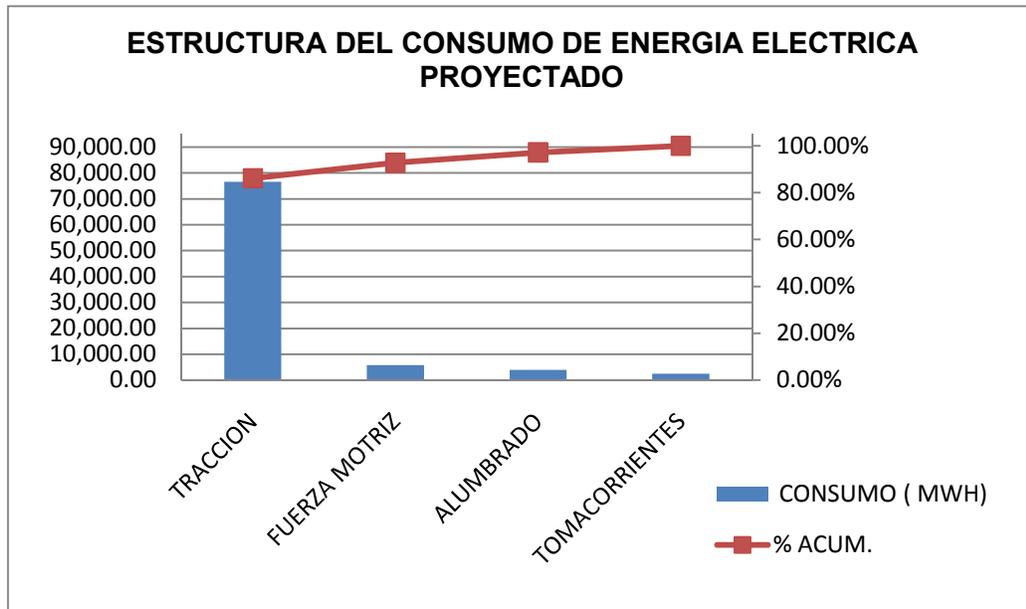


Figura N° 22 : Gráfica del Consumo de Energía Eléctrica proyectado de la Línea 1

Fuente : Elaboración Propia

6.1.6 Facturación de la energía Eléctrica.

Para determinación de la facturación de la energía eléctrica se tomara en cuenta la tarifa MT1, tarifa con doble medición de energía activa y contratación o medición de una potencia 2E1P. Los factores de costo son:

- Cargo por Potencia de Generación en hora punta
- Cargo por Potencia de Generación en hora fuera de punta
- Cargo por Potencia de Uso de Red en hora punta
- Cargo por Potencia de Uso de Red en hora fuera de punta
- Costo por kW-h consumido en hora punta
- Costo por kW-h consumido en hora fuera de punta

Cuadro N° 5. Tarifa del Consumo de Energía Eléctrica

TARIFA MT1:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y	Unidad	Costo
	CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P		
	Cargo Fijo Mensual	S/./mes	3.09
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S/./kW.h	20.97
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S/./kW.h	17.51
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S/./kW-mes	37.99
	Presentes Fuera de Punta	S/./kW-mes	25.89
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S/./kW-mes	10.63
	Presentes Fuera de Punta	S/./kW-mes	10.69
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S/./kVar.h	4.07

Fuente: Control Tarifario OSINERGMIN

En base a la estructura del consumo de energía eléctrica y a las condiciones de explotación estimadas se calcula los consumos de energía y las potencias requeridas para cada periodo de hora punta y hora fuera de punta.

En la tabla que sigue se presenta los valores calculados de la tarifa de energía eléctrica para un plan de servicio de la Línea 1, con intervalos de 6 minutos en hora punta y 10 minutos en hora valle.

Cuadro N° 6 : Línea Base del Consumo de Energía Eléctrica de la Línea 1

Descripción	Unidad	Subtotal mes	Subtotal año
Energía traccion	MWh	6,384.08	76,608.93
Energía de tracción en horas punta	MWh	1,703.23	20,438.76
Energía traccion hora fuera de punta	MWh	4,680.85	56,170.17
Energía en instalaciones	MWh	1,025.65	12,307.76
Energía en instalaciones hora punta	MWh	256.41	3,076.94
Energía en instalaciones hora f de punta	MWh	769.24	9,230.82
Consumo total de energía	MWh	7,409.72	88,916.69
Consumo total de energía en horas punta	MWh	1,959.64	23,515.70
Consumo total de energia en horas f punta	MWh	5,450.08	65,400.99
Costo Energía	S/. miles	1,228.72	14,744.66
Potencia para tracción	kW	17,083	
Potencia para instalaciones	kW	5,260	
Potencia del sistema	kW	22,343	
Costo de Potencia por Generación	S/. miles	1,427	17,127.17
Hora Punta	S/. miles	849	10,185.68
Hora Fuera de Punta	S/. miles	578	6,941.49
Costo de Potencia por uso de red	S/. miles	476	5,716.21
Hora Punta	S/. miles	238	2,850.06
Hora Fuera de Punta	S/. miles	239	2,866.15
Costo total de energía	S/. miles	3,132.34	37,588.04
<i>Costo promedio anual</i>	<i>S/./kWh</i>		0.4227

Fuente : Elaboración Propia

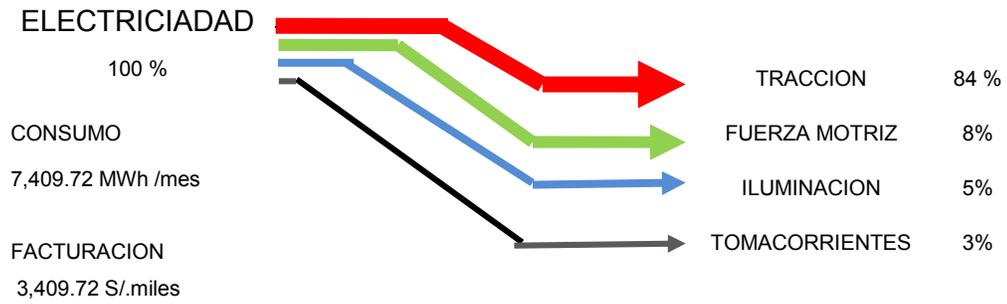


Figura :N° 23 Esquema del Consumo de Energía Eléctrica por sistemas
Fuente: Elaboración Propia

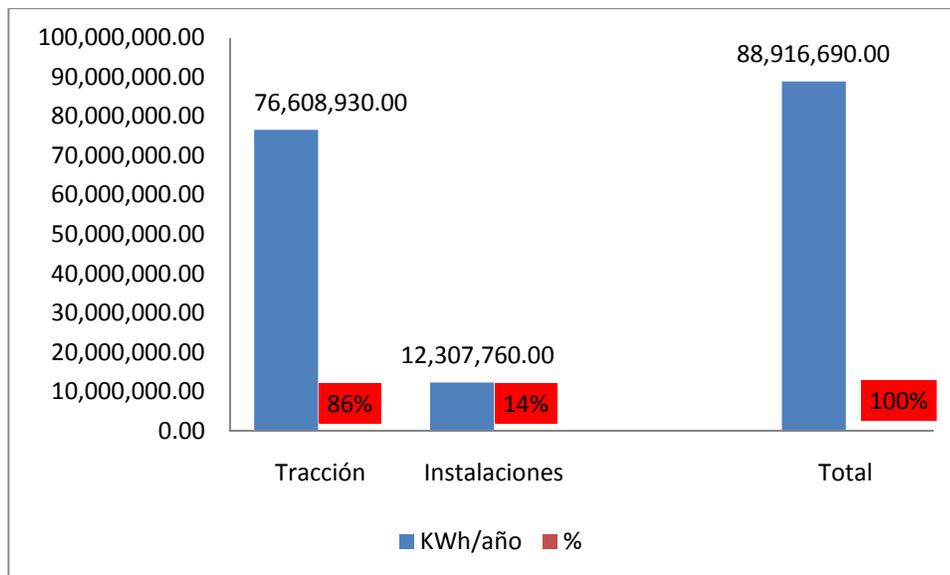


Figura N° 24 Gráfica del Consumo de Energía Eléctrica. Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO 7

7 PLAN DE MEJORAMIENTO ENERGÉTICO.

En términos de oportunidades de mejoramiento existen por un lado las buenas prácticas que requieren mínima inversión y, por otro es la optimización de equipamiento mediante mejoramiento de eficiencia energética mediante la incorporación y remplazo de equipos que requieren un grado de inversión y además la implementación de un sistema de gestión adecuado.

7.1 OPORTUNIDADES DE MEJORAMIENTO U OPTIMIZACIÓN

De acuerdo al diagrama de consumo de energía eléctrica de la Línea 1 se muestra como máximo consumidor a la carga de tracción, por lo que una de las oportunidades del mejoramiento u optimización es el aprovechamiento de la energía procedente del freno regenerativo de los trenes mediante la instalación de subestaciones reversibles cuyo principio de funcionamiento se indica en el parte del fundamento teórico con el fin de aprovechar la energía excedente que no es aprovechada por los trenes próximos y se disipa en forma de calor mediante su inyección a la red de media tensión de 20 kV para el aprovechamiento de equipos auxiliares,

De acuerdo a experiencias de otros sistemas ferroviarios se ha podido comprobar lo siguiente:

El 44% de la energía absorbida desde la catenaria por los trenes se consume, de media, en su desplazamiento (Incluyendo consumo de auxiliares).

El 56% de la energía total en la catenaria es susceptible de ser devuelta de nuevo a la catenaria o quemada en resistencias.

El 40% de la energía total en la catenaria se intercambia, según la experiencia, entre trenes (Este valor varía en función de la frecuencia de circulación, tensiones de catenaria y sincronismo entre trenes, pudiendo ser inferior).

El 16% restante de la energía total en la catenaria, absorbida por los trenes, es quemada en las resistencias del freno eléctrico

Ello supondrá un ahorro de consumo para tracción en subestación del 24 %

Otra de las posibilidades importantes de ahorro de energía es aumentar la eficiencia de sistema de iluminación mediante el replazo de las lámparas actuales por nuevas tecnologías de iluminación (LED, Inducción y/o Fluorescencia de Alto Rendimiento) en las estaciones, talleres y oficinas del Línea 1 del Metro de Lima.

7.2 MEJORAS SIN INVERSIÓN MEDIANTE BUENAS PRÁCTICAS

Existe la posibilidad mediante las buenas prácticas del uso eficiente de la energía que están asociadas a la utilización adecuada de los sistemas de:

7.2.1 Sistema de tracción

Uso adecuado en la conducción del material rodante mediante la aplicación de diversas marchas (tendida y económica) que gestionan el consumo energético mediante órdenes impartidas al conductor.

Establecer horarios de la prestación de servicio que permita optimizar los tiempos de recorrido.

7.2.2 Fuerza Motriz

Control adecuado de los tiempos de funcionamiento de los equipos de aire acondicionado, ventilación y de las bombas de agua industrial y contra incendio en particular en horas punta.

En los talleres controlar adecuadamente los compresores verificando la presión utilizando la más adecuada, evitando en lo posible que se opere en vacío.

Operar los ascensores y escaleras mecánicas solo en horarios de máxima afluencia de pasajeros

Cumplir adecuadamente el programa de mantenimiento preventivo de todos los equipos auxiliares de acuerdo a las indicaciones de fabricante en los periodos establecidos

7.2.1 Iluminación

- Realizar el mantenimiento adecuado a las luminarias, limpiar de polvo las lámparas.
- Controlar los niveles de iluminación
- Controlar las horas de operación, en particular en horas punta.
- Apagar las lámparas innecesarias y reducir al mínimo imprescindible la iluminación en exteriores en horario de la mañana.
- Separar los circuitos de iluminación para que su control no dependa de un solo interruptor y se ilumine solo sectores necesarios
- Se debe hacer el mantenimiento adecuado de las paredes y techos para mejor aprovechamiento del nivel luminoso.

7.2.2 Tomacorrientes.

Usar adecuadamente el uso de las tomas industriales realizar el mantenimiento y limpieza en horarios fuera de punta.

En las oficinas donde existen tomacorrientes debe hacerse un control adecuado de operatividad de los equipos conectados a estos como computadoras, impresoras fotocopiadoras etc, apagar cuando estos no se utilicen.

Todas estas medidas permitirán conseguir de manera óptima reducir el consumo de energía eléctrica aproximadamente en un 2.5 % el consumo de energía eléctrica de los sistemas señalados.

7.3 MEJORAS CON INVERSIÓN

7.3.1 Mejora en el Sistema de Iluminación.

La iluminación de las estaciones, patios y oficinas de la Línea 1 del metro de Lima constituye una parte importante consumo eléctrico por lo que una de las oportunidades de ahorro de energía es mejoramiento de eficiencia de las lámparas por unidades más eficientes sin alterar sus niveles de iluminación de la forma siguiente-

- a. En las estaciones y salas técnicas
 - Sustituir en los andenes y locales técnicos las luminarias de dos lámparas fluorescentes de TD-36 W por dos lámparas fluorescentes Master LED tube de 22 W de potencia con alto rendimiento luminoso de prolongada vida útil (más de 3 veces la vida útil de los fluorescentes tradicionales) y de respuesta rápida de encendido, apagado o cambio en la emisión de luz.

Lo que permitirá el ahorro de energía por luminaria:

$$\rightarrow \text{Ahorro} = \frac{2 \times (36\text{W}-22\text{W})}{1000} \times 360 \frac{\text{h}}{\text{mes}} = 10.08 \text{ kWh/mes}$$

Se tiene instalados 10,400 lámparas

$$\text{Ahorro} = 10.08 \times 10,400 = 104,832 \text{ kWh/mes}$$

$$\text{Ahorro} = 1,257,984 \text{ kWh/año}$$

- Sustituir en los andenes y locales técnicos las luminarias de dos lámparas fluorescentes de TD-18 W por dos lámparas fluorescentes Master LED tube de 10 W de potencia con alto rendimiento lumilnoso de prolongada vida útil (más de 3 veces la vida útil de los fluorescentes tradicionales) y de respuesta rápida de encendido, apagado o cambio en la emisión de luz. Lo que permitirá el ahorro de energía por luminaria de 61% y ahorro total de :

$$\rightarrow \text{Ahorro} = \frac{2 \times (18\text{W}-10\text{W})}{1000} \times 360 \frac{\text{h}}{\text{mes}} = 5.76 \text{ kWh/mes}$$

El numero de lámparas instaladas es 2,000 lamparas se

Tendrá un

$$\rightarrow \text{Ahorro} = 5.76 \times 2,000 = 11,520 \text{ kWh/mes}$$

$$\text{Ahorro} = 138,240 \text{ kWh/año}$$

b. Talleres y oficinas

- Sustituir las luminarias high bay tipo colgante con 1 lámpara de de 250 W de halogenuro metálico, campanas Led de 150 W de 1200 lumenes con eficiencia de 68 Lumen/W permitiendo un ahorro energético por luminaria de 60% y un total de:

$$\rightarrow \text{Ahorro} = \frac{(250\text{W}-150\text{W})}{1000} \times 360 \frac{\text{h}}{\text{mes}} = 36 \text{ kWh/mes}$$

Hay 1000 luminarias instaladas

$$\rightarrow \text{Ahorro} = 36 \times 1,000 = 36,000 \text{ kWh/mes}$$

$$\text{Ahorro} = 432,000 \text{ kWh/año}$$

- Sustituir en las oficinas y laboratorios las luminarias de dos lámparas fluorescentes de TD-36 W por dos lámparas fluorescentes Master LED tube de 22 W de potencia con alto rendimiento lumínico de prolongada vida útil (más de 3 veces la vida útil de los fluorescentes tradicionales) y de respuesta rápida de encendido, apagado o cambio en la emisión de luz. Lo que permitirá el ahorro de energía por luminaria 61% y un total :

$$\rightarrow \text{Ahorro} = \frac{2 \times (36\text{W}-22\text{W})}{1000} \times 360 \frac{\text{h}}{\text{mes}} = 10.08 \text{ kWh/mes}$$

Se tiene instalados 2,500 luminarias de dos lámparas fluorescentes

Ahorro = $10.08 \times 2,500 = 25,200$ kWh/mes

Ahorro = 302,400 kWh/año

Cuadro N° 7 Ahorro de Energía Eléctrica por instalación

INSTALACIONES	AHORRO OBTENIDO	
	KWh/Mes	KWh /año
ESTACIONES	116,352.00	1,396,224.00
TALLERES Y OFICINAS	61,200.00	734,400.00
TOTAL	177,552.00	2,130,624.00

7.3.2 MEJORAS EN EL SISTEMA DE TRACCIÓN.

De los 24 trenes que están operando actualmente 19 trenes tienen la capacidad de devolver energía durante el frenado (freno regenerativo el resto (5) para que cuenten con este equipamiento al cuales se les deberá hacer repotenciación respectiva y los 20 trenes adicionales que serán adquiridos contarán con esta capacidad regenerativa.

Debido a las características de la Línea 1 y a la filosofía de explotación durante el diario funcionamiento de este se presentan condiciones de receptividad variables. Cuando esta es inferior a máximo, la línea no puede aceptar toda la energía regenerada por el tren, luego este debe disiparla mediante el freno mecánico transformándolo en calor produciéndose porcentajes de regeneración menores.

Afin de aprovechar al máximo de esta energía del frenado de los trenes y potenciar al máximo el consumo energético, se debe optimizar las instalaciones de las subestaciones rectificadoras, haciéndolas reversibles a fin de aprovechar la energía no aprovechada por los trenes en circulación la misma que se disipa en forma de calor, mediante su inyección a red de distribución de 20 kV para alimentar los equipos auxiliares de las cabinas eléctricas de las estaciones en donde se encuentren.

Para lo cual se debe instalar un dispositivo de reversibilidad paralelo al equipamiento (transformadores y rectificador) en las 11 subestaciones actuales de acuerdo al esquema siguiente:

Para poder determinar la energía que se regenera mediante el frenado de los trenes, supongamos la red metro configurada como muestra siguiente figura :

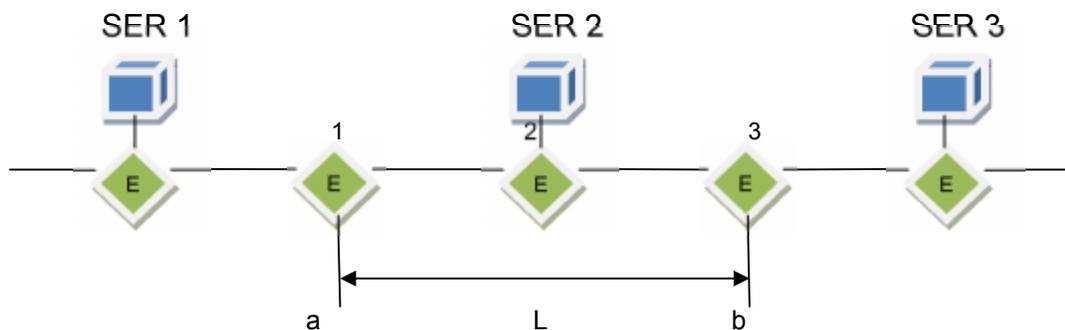


Figura N° 25 Configuración típica de red de metro, Fuente: Elaboración Propia

Es posible determinar la cantidad de trenes que circulan por el tramo a b , tramo que es alimentado por la subestación rectificadora (SER2), conociendo la velocidad comercial de los trenes V_s , el intervalo de explotación:

$$N = \left\lceil \frac{l}{v_s \cdot T} \right\rceil$$

Conociendo la cantidad de trenes necesarios en dicho tramo de la línea, es posible aproximar la energía regenerada mediante la siguiente fórmula:

$$E_g = 2 \cdot T_0 \cdot N \cdot (k - 1) \cdot E_1/T = E_t + E_r$$

En donde T_0 es el tiempo que opera la red, k el número de estaciones en el tramo I y E_1 corresponde a la energía que regenera un solo tren. Parte de la energía regenerada es reutilizada debido a, por ejemplo, partida de otros trenes dentro del tramo la cual se denominara E_t , y la otra parte, la cual denominaremos E_r , es la que hace que aumente la tensión en la catenaria o simplemente se disipa mediante resistencias de frenado.

Considerando las condiciones de operación explotación de la Línea 1 para las hora punta mañana, desde las 7:00 a.m. hasta las 9:00 a.m., con una velocidad comercial para la Línea 1 de 35 km/h ; y las características de los trenes respecto al consumo de energía Electrica asi como su capacidad de regeneración , intervalo explotación de 180 segundos en horas punta y 360 segundos en horas se muestran en la siguiente cuadro:

Cuadro N° 8 Regeneración de Energía en un intervalo de explotación

Item	SUBESTACIONES	PROGRESIVA	DISTANCIA (KM)	NUMERO ESTACIONES	NUMERO DE TRENES	ENERGIA CONSUMIDA KWH	ENERGIA REGENERADA KWH
HORAS PUNTA DE CIRCULACION							
1	SER 01 Patio Taller		1.410	2	1	12.351	4.1253
2	SER 03 Parque Industrial	1+768.901	1.410	2	1	19.026	4.1253
3	SER05 Villa Maria	5+059.143	3.290	4	2	67.256	28.8789
4	SER 08 Atocongo	8+965.557	3.906	4	2	94.806	34.2872
5	SER 13 Los Cabitos	12+605.897	3.640	4	2	82.331	31.9518
6	SER 16 La Cultura	17+188.813	4.583	4	3	130.486	40.2249
7	SER 18 Gamarra	19+889.823	2.701	4	2	45.324	23.7071
8	SER 23 Caja de Agua	24+441.570	4.552	4	3	128.717	39.9513
9	SER 26 Los Jardines	27+209.592	2.774	4	2	19.026	24.3478
10	SER 29 San Martin	31+330.592	4.121	4	2	55.061	36.1706
11	SER 31 Bayóvar	33+481.226	2.151	2	1	28.735	6.2921
TOTAL			33.128	CARRERA	20	683.12	274.06
				VUELTA	40	1,366.24	548.12

HORAS VALLE DE CIRCULACION							
1	SER 01 Patio Taller		1.410	2	1	15.330	2.0626
2	SER 03 Parque Industrial	1+768.901	1.410	2	1	15.330	2.0627
4	SER05 Villa Maria	5+059.143	3.290	4	1	33.628	14.4395
7	SER 08 Atocongo	8+965.557	3.906	4	1	47.403	17.1436
10	SER 13 Los Cabitos	12+605.897	3.640	4	1	41.165	15.9759
13	SER 16 La Cultura	17+188.813	4.583	4	1	65.243	20.1125
15	SER 18 Gamarra	19+889.823	2.701	4	1	22.662	11.8536
19	SER 23 Caja de Agua	24+441.570	4.552	4	1	49.487	19.9757
21	SER 26 Los Jardines	27+209.592	2.774	4	1	30.159	12.1739
24	SER 29 San Martin	31+330.592	4.121	4	1	44.804	18.0853
26	SER 31 Bayóvar	33+481.226	2.151	2	1	23.382	3.1461
TOTAL			33.128	CARRERA	11	388.59	137.03
				VUELTA	20	777.19	274.06

Fuente: Elaboración Propia

De las tablas tenemos horas punta el consumo por vuelta es 1,366.24 kWh y la energía regenerada es 548.12 kWh lo que represente una ahorro del

$$\text{Ahorro} = (548.12 / 1,366.24) \times 100 = 40.12 \% \text{ por vuelta}$$

Y en horas valle el consumo por vuelta es de 777.19 kWh y la energía regenerada es de 274.06kWh que represente un ahorro de:

$$\text{Ahorro} = (274.06/777.19) \times 100 = 35.26\% \text{ por vuelta}$$

Por lo tanto se obtendrá un ahorro total por regeneración el mostrado en la siguiente tabla :

Cuadro N°9 Ahorro por año para un intervalo completo de explotación

Energía de tracción	Unidad	Ahorro por regeneración	
		kWh/mes	kWh/año
Energía total	MWh	478.81	5,745.72
Energía de tracción en horas punta	MWh	127.74	1,775.49
Energía traccion hora fuera de punta	MWh	351.07	4,212.84

Fuente: Elaboración Propia

7.3.3 Resumen de mejoras de ahorro de energía eléctrica

A continuación se presenta un resumen de los ahorros mensual que pueden generarse por mejoras por sistemas en términos de energía eléctrica.

Cuadro N° 10 Consumo mensual de Energía Eléctrica por sistemas

SISTEMA	CONSUMO (MWH/MES)	AHORRO (MWH/MES)	CONSUMO CON AHORRO (MWH/MES)
TRACCION	6,384.08	478.81	5,905.27
FUERZA MOTRIZ	487.03	41.03	446.00
ALUMBRADO	329.82	152.27	177.55
TOMACORRIENTES	208.80	11.84	196.96
TOTAL	7,409.73	683.95	6,725.78

Cuadro N° 11 : Valores totales de Consumo de Energía eléctrica por instalación para Línea 1

Sistema	Consumo sin ahorro		Ahorro		Consumo con ahorro	
	MWh/mes	MWh/año	MWh/mes	MWh/año	MWh/mes	MWh/año
Energía de tracción	6,384.08	76,608.93	478.81	5,745.72	5,905.27	70,863.21
Energía en instalaciones	1,025.65	12,307.76	205.14	2,461.68	820.51	9,846.08
Consumo total de energía	7,409.73	88,916.69	683.95	8,207.40	6,725.78	80,709.29

Fuente: Elaboración Propia

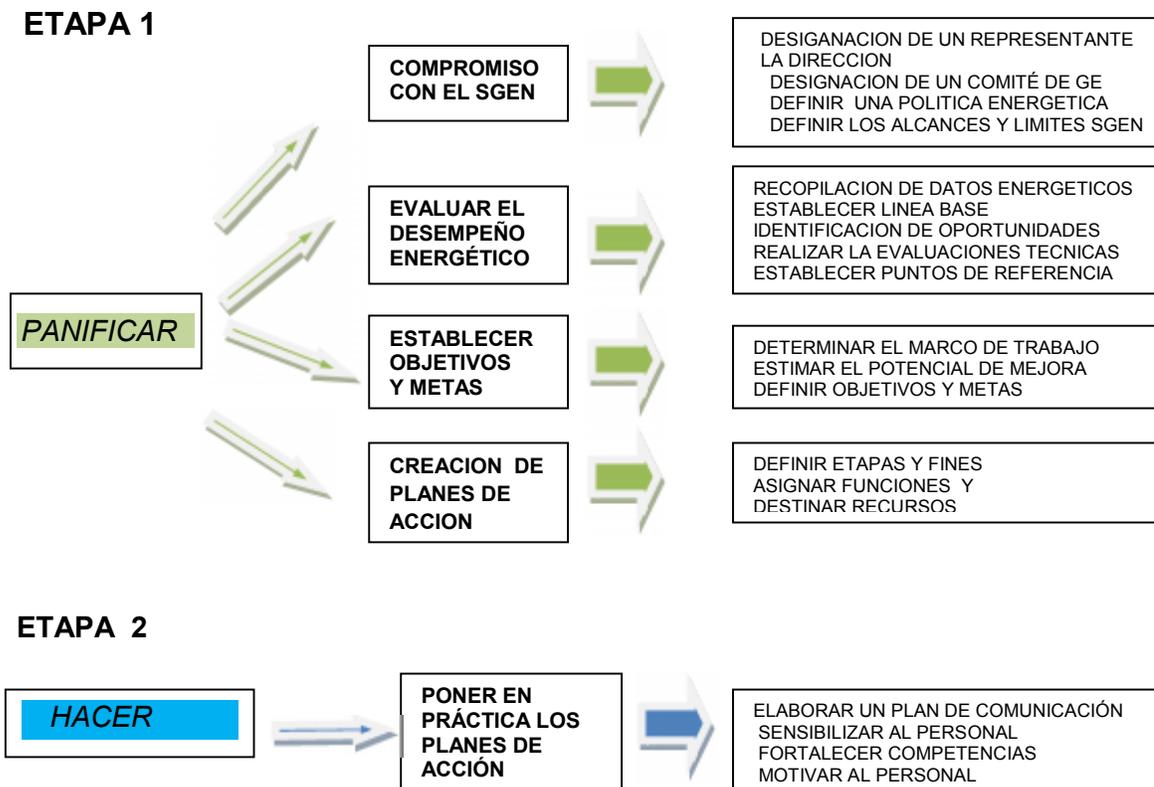
CAPITULO 8

8 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ENERGÍA DE ACUERDO CON LAS NORMA ISO 50001.

8.1 GENERALIDADES

Basados en modelo de sistema de mejora continua establecidas en la norma ISO 5001 que se enfoca en cuatro pasos para el diseño e implementación de un SGEN (PLANEAR ,HACER, VERIFICAR, ACTUAR) en base al ciclo de mejora continua que propone el ISO 50001 a través de sus estándares que mencionaron en la parte del fundamento teorico.

Para la implementación del Sistema de Gestion de Energia (SGEN) seguiremos la siguiente estructura.



ETAPA 3



ETAPA 4



8.2 ETAPA DE PLANIFICACIÓN

8.2.1 COMPROMISO CON EL SISTEMA DE GESTIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Para la implementación del SGE de acuerdo a la estructura antes señalada dentro de la fase de planificación se debe comenzar con el compromiso de la alta gerencia, quien debe asegurar la disponibilidad de los recursos necesarios para la implementación y la mejora del desempeño para un adecuado control de energético de las instalaciones. El compromiso radica especialmente en dos elementos: asignar un representante como responsable del sistema y el establecimiento de una política energética para alcanzar los objetivos desados. La empresa Concesionario de la Línea 1 actualmente cuenta con certificación ISO 9001 relacionada a la prestación de servicio en cuanto a la calidad y seguridad. Este es uno de los medios de transporte más sostenibles respecto a la preservación del medio ambiente.

Por lo que su responsabilidad radica en asumir el compromiso de establecer, un SGE con un mejoramiento continuo en el manejo sostenible de los recursos. En particular, tiene como principio, hacer uso de la energía eléctrica lo más racionalmente posible con esto garantizar conservación de los recursos y la conservación del medio ambiente.

8.2.1.1 Elección del Representante de la alta Dirección y conformación del Comité de Gestión de energía-

Como parte del compromiso de la alta dirección consiste en designar un representante con la habilidad, competencias definidas y autoridad para asegurar que el SGEN se implemente y mantenga, y que se lleven a cabo acciones de mejora continua y además de contar con un equipo para el control de adecuado de la energía mediante la conformación del Comité de uso eficiente de la energía.

a. Designación de representante de la Alta Dirección.

La alta gerencia debe asignar a un responsable para liderar el SGE con las habilidades y competencias adecuadas y con un nivel de responsabilidad y autoridad para asegurar el correcto funcionamiento del SGE con la finalidad llevar a cabo sus funciones de forma adecuada y aumentará la probabilidad de que la implementación del SGEN sea exitosa.

Funciones.

- Identificar al personal que integrará el equipo de gestión de la energía.
- Coordinar y dirigir al comité de gestión de la energía en la Línea 1 del metro de Lima .
- Establecer la comunicación entre las partes interesadas y la alta dirección.
- Sensibilizar sobre el tema de gestión de la energía.
- Proponer una política energética.

- Evaluar las oportunidades de reducción identificadas como consecuencia de una adecuada gestión de la energía.
- Gestionar la obtención de recursos para la operación, mantenimiento y mejora del SGEN.
- Asegurar la calidad de la información generada a través del tiempo.
- Identificar las necesidades de capacitación del personal involucrado.
- Fortalecer las competencias del personal de la organización.
- Evaluar, analizar y comunicar los resultados del SGEN.

b. Conformación del Comité de Gestión de la Energía.

Su misión fundamental será de apoyar en la implementación del Sistema de gestión durante todas las etapas, con especial énfasis en la revisión energética, establecimiento de programas de ahorro de energía y de formación y concientización del personal, apoyo en la toma de decisiones.

– *Funciones.*

- Asesoramiento a la dirección en temas energéticos eléctricos
- Establecer una contabilidad energética eléctrica
- Establecer un sistema de auditorías eléctricas
- Participar en estudios y proyectos energéticos eléctricos
- Promoción de nuevas técnicas de gestión de la eficiencia energética
- Seguimiento y monitoreo de proyectos
- Establecimiento de manuales de operación energético eléctrico
- Intensificación del mantenimiento a las instalaciones eléctricas
- Preparar campañas de concientización
- Relacionarse con organismos oficiales del sector eléctrico.

- *Atribuciones*

- Podrá solicitar datos relacionados con la energía eléctrica que necesite a otros departamentos
- Podrá ordenar la realización de mediciones, toma de datos y análisis de los mismos.
- Tendrá personal colaborador a sus ordenes directas
- Contará con el presupuesto adecuado.

- *Composición.*

Se propone el siguiente organigrama (figura) en el cual se destaca la participación de los representantes de la alta gerencia (presidente del comité) y de las áreas de áreas administrativas , explotación (operaciones) y de oficina de Asesoría Legal, dentro del área administrativa se encuentra un representante finanzas y recursos humanos y la de Explotación se han considerado un representante de área tráfico, mantenimiento y ingeniería.



Figura N° 26: Diagrama de la Composición del Comité de gestión de Energía

Fuente: Elaboración Propia

8.2.1.2 Definir una Política Energética.

Como se mencionó en los párrafos anteriores la Linea 1 cuenta en con la calificación ISO 9001 de calidad y de seguridad en ámbito de su organización y de la prestación de servicio como empresa operadora de la Linea 1, en tal sentido dentro de su política de calidad y seguridad debe incorporar compromiso de utilizar eficientemente la energía en sus instalaciones y actividades con el propósito de preservar los recursos naturales, reducir las emisiones atmosféricas, contribuir a mitigar los efectos del cambio climático y mejorar su posicionamiento competitivo frente otros medios de transporte.

En cumplimiento medidas de ecoeficiencia impulsará los programas de eficiencia energética, asegurando que la organización trabaje de acuerdo con los principios establecidos en esta política.

Debera establecer objetivos y metas para la mejora del desempeño energético y la reducción de las correspondientes emisiones de GEI. Asimismo, se asegurará la disponibilidad de la información y los recursos necesarios.

Debera establecer de manera continua mejoras incentivar la implementación de las buenas practicas el uso de los recursos energéticos en sus instalaciones y actividades de explotación, optimizando la tecnología y diseño de los procesos, así como la operación de las instalaciones, y apoyando la adquisición de productos y servicios energéticamente eficientes

Asegurará el cumplimiento de los requisitos legales vigentes, así como de aquellos otros requisitos relacionados con el desempeño energético, incluyendo:

La eficiencia energética

El uso y consumo de la energía.

Promoviendo, además, la adaptación de sus operaciones a los cambios que se pudieran producir en el marco regulatorio vigente.

establecerá estándares comunes de gestión en materia de eficiencia energética en todas las áreas tanto en las administrativas como explotación.

8.2.1.3 Definición de los Alcances

Siendo el objetivo principal del Sistema de Gestión de energía de implementar un manejo adecuado de sus recursos en todas las actividades de la Línea 1 en particular, tiene como principio, promover el uso eficiente y lo más racionalmente posible con una mejora continua y sostenible de la energía eléctrica por lo que la extensión de la aplicabilidad del SGEN se extenderá en

- Actividades operacionales (tráfico, Mantenimiento) y las actividades administrativas
- La Infraestructura como las Estaciones, Áreas Técnicas, Oficinas y Talleres. Material Rodante.

8.2.1.4 Período de Planificación

Se pueden considerar los siguientes períodos de tiempo:

- De corto plazo: cubre un período de un año, permitirá cubrir un futuro inmediato
- De mediano plazo: cubre un período de cinco años, el plan estratégico a mediano plazo refleja las estrategias desarrolladas en el plan a largo plazo

8.2.2 Evaluación del Desempeño Energetico.

Este punto ha sido desarrollado en capitulos anterior en en donde sea definido la distribucion de cargas de energia electrica para las instalaciones de la Linea 1 por tipo de instalación, se han identificado los principales cargas mas representativas estableciendo una Linea base en con los a datos historicos reales y proyectados, abiendo encontrado la siguiente distribucion cargas mas representativas expresados en porcentaje la que se muestra en la siguiente figura.

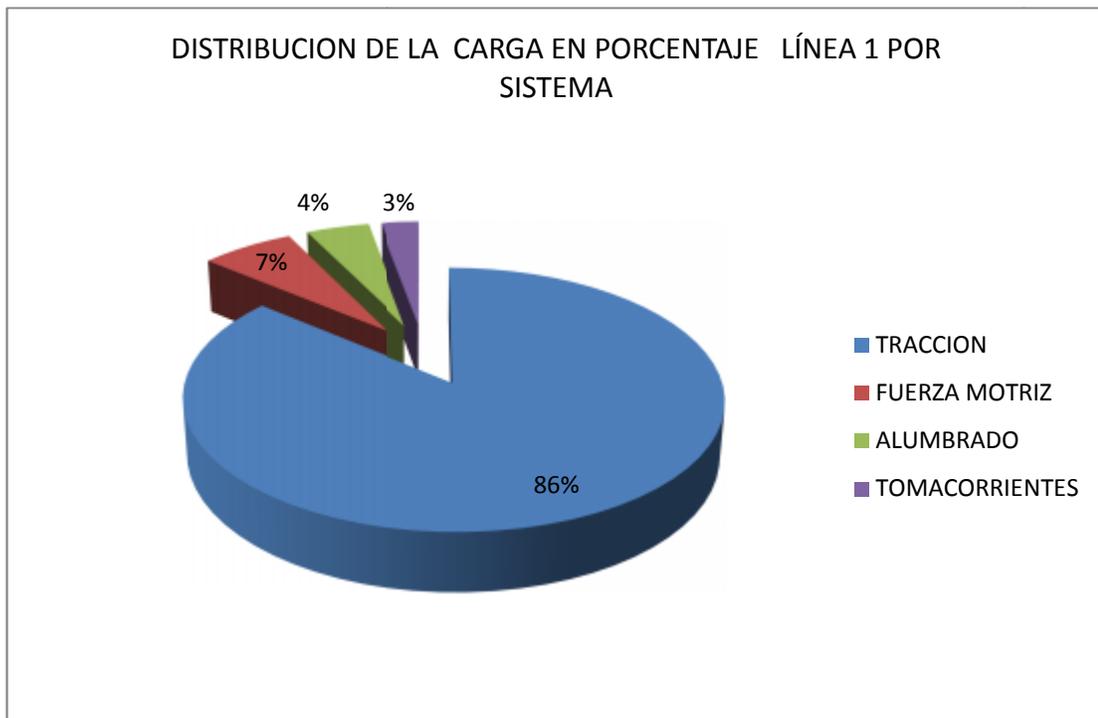


Figura N° 27: Grafico distribución de la carga en porcentaje, Fuente: Elaboración Propia

8.2.3 Establecimiento de objetivos y metas.

Los objetivos y metas de desempeño energético conducen las actividades de gestión de la energía y promueven la mejora continua..

El cumplimiento de los objetivos detalla y cuantifica en las metas para la mejora del desempeño energético, que se transforman en actividades diarias dentro de la organización en el marco de referencia de la política energética.

8.2.3.1 Objetivo General

Formular e implementar acciones encaminados a hacer una adecuado gestión del uso de la energía eléctrica en todas la actividades tanto operaciones (tráfico como mantenimiento) y las administrativas con fin de reducir consumo de energía, mejorar la eficiencia energética eléctrica, mejora del desempeño y conservación del medio ambiente.

8.2.3.2 Objetivos Específicos

Estos objetivos específicos se encuentran enunciados a nivel de los cumplimiento de programas encaminados a la reducción del consumo de energía eléctrica ,optimización de la eficiencia energética , mejora de desempeño , disminución del impacto ambiental.

8.2.3.3 Metas

Las metas propuestas se encuentran relacionadas en cada uno de los objetivos específicos, de manera tal que se pueda cuantificar y medir su cumplimiento.

8.2.4 Creación de los Planes de Acción

Para poder realizar los planes para el desarrollo de una adecuada gestión de la energía, los programas están basados de acuerdo a un conjunto de medidas tanto técnicas como administrativas donde también se contemplan aspectos relativos al comportamiento humano mediante la aplicación de las buena practicas orientados al uso eficiente de la energía eléctrica.



Figura N° 28 Medidas para el SGEN; Fluente: Elaboración propia

Para el consecución de de las objetivos y metas se establecen los siguientes planes y programas las mismas que se muestran en las siguientes cuadro:

Cuadro N° 12 : Programas de Sistema de Gestion de Energia

Gestión Energética Empresarial	Programas
Buenas Practicas	Uso racional y eficiente de la energía eléctrica
Medidas Técnicas	Reducción del consumo de energía eléctrica
Medidas Administrativas	Administración del sistema eléctrico

Fuente: Elaboración propia

Las acciones propuestas en cada plan están organizadas en los programas anteriormente establecidos, lo cual tiene coherencia con las medidas de gestión energética empresarial.

8.2.4.1 Uso racional y eficiente de la energía.

A través de este programa se desarrollan estrategias de capacitación y sensibilización al personal de la Línea 1 ligadas directa o indirectamente al problema del manejo inadecuado del recurso energético eléctrico que permita la aplicación adecuada de las buenas prácticas mediante mejoramiento del desempeño energético.

Los objetivos específicos, metas y recursos son:

Cuadro N°13 PLAN DE ACCION N° 1

FORTALECIMIENTO MANEJO ADECUADO DE LA ENERGÍA	
Capacitar y sensibilizar de manera permanente sobre el manejo racional de la energía eléctrica:	
Meta: Contar con una estrategia de educación continua.	
Responsables: Coordinador de comité energía	
Acciones	Tiempo
Diseñar presentaciones para los trabajadores y empleados de la empresa.	2 meses
Impartir charlas y talleres sobre la gestión energética en la empresa.	Trimestral
Realizar campaña de divulgación sobre el uso racional de la energía (pegar carteles, buzón de sugerencias, etc.).	Semestral
Asesoría en ingeniería de sistemas eléctricos	Semestral

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 14 PLAN DE ACCION N° 2

OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN	
Orientar la personal del área encarga de operación (trafico, Energía) la optimización en el manejo adecuado de los sistemas involucrados	
Meta: Mejorar el desempeño energético en la operación durante la prestación de servicio.	
Responsables: Area Trafico- Cordinador comité de energía	
Acciones	Tiempo
La aplicación de diversas marchas (tendida y economica) que gestionan el consumo energetico mediante ordenes impartidas al conductor.	Diario
Establecer horarios de la prestación de servicio que permita optimizar los tiempos de recorrido	Semanal
Operación de las subestaciones traccion mediante un control adecuado de la operación a fin de aprovechar la energia regenerada de los trenes.	Diario

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°15 PLAN DE ACCION N° 3

OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS DE ALUMBRADO Y FUERZA MOTRIZ	
Orientar la personal del área encarga de operación y mantenimiento de los encargada de la operación mantenimiento de los equipos la optimización en el manejo adecuado de los equipos.	
Meta: Optimizar operación y mantenimiento de los equipos alumbrado y fuerza motriz para un adecuado desempeño energético. Ahorro de 2.5 %	
Responsables: Area Mantenimiento- Cordinador comité de energía	
Acciones	Tiempo
Control adecuado de los tiempos de funcionamiento de los equipos de acuerdo a periodos horas punto y valle	Diario
Cumplir adecuadamente el programa de mantenimiento de todos los equipos auxiliares acurdo a las indicaciones de fabricante en los periodos establecidos	Mantenimiento preventivo
Implantar revisiones periodicas para verificar su comportamiento	2 semanas

Fuente: Elaboración propia

8.2.4.2 Reducción del Consumo de Energía Eléctrica

Este programa permite reducir los consumos de energía eléctrica mediante ejecución de mejoras con inversión y generaran en un futuro ahorros energía eléctrica y la reducción de su costo asociado

Los planes de acción son los siguientes.

Cuadro N° 16 PLAN DE ACCION N° 4

AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMA DE ILUMINACIÓN	
Sustitución de las lamparas de las luminarias actuales por otras de tecnología LED en las estaciones y talleres y oficinas	
Meta: Obtencion de un ahorro de energia del 20%	
Responsables: Gerencia - Coordinador de comité energía	
Acciones	Tiempo
Solicitar la cotizacion y remplazo de la lamparas recomendadas	2 meses
Sustitucion de las lamparas fluorecentes LED en las estaciones y talleres	6 meses
Sustituir las luminarias high bay tipo colgate con campanas Led	3meses
Sustituir las lamparas deterioradas o al final de su vida útil.	Mediano Plazo

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 17 PLAN DE ACCION N° 5

AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMA DE TRACCIÓN	
Aprovechar al máximo la energía del frenado de los trenes y potenciar al máximo el consumo energético mediante la optimizar las instalaciones de las subestaciones rectificadoras	
Meta: Obtención de un ahorro de energía mediante la regeneración en un 6 % del Sistema de tracción	
Responsables: Gerencia – Área Ingeniería - Coordinador de comité energía	
Acciones	Tiempo
Solicitar cotizaciones para la reversibilidad de las 11 subestaciones rectificadoras.	2 meses
Implementación de las subestaciones reversibles	12 meses

8.2.4.3 Administración del Sistema Eléctrico

Este programa permite mantener los consumos y los costos de energía eléctrica bajo control. Los costos de operación, índices energéticos y otros parámetros de medición nos darán los elementos necesarios para la toma de decisiones con tiempo y de manera sencilla con el fin de cuidar todos los elementos que intervienen en el sistema energético eléctrico de la Línea 1.

Cuadro N° 18 PLAN DE ACCION N° 6

ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA DE MONITOREO	
Control de los parametros de consumo electrico y los indicadores energeticos.	
Meta: Optimizacion de control y registro de Consumos electricos	
Responsables: Gerencia - Coordinador de comité energía - área Explotacion-Ingenieria	
Acciones	Tiempo
Control adecuado de los registros reales de consumo de energia electrica	mensual
Seguimiento y monitoreo de los Indicadores energéticos	mensual
Implentacion de sistemas de un grupo registradores de energia en cada medicion en las subestaciones de traccion	3meses

Fuente: Elaboración propia

8.3 ETAPA DE HACER

8.3.1 Poner en práctica los planes de acción.

Esta etapa corresponde a la operación día a día del SGEN. Incluye la implementación, la evaluación y seguimiento de las acciones orientadas a mejorar el desempeño energético de la operación de la Línea 1. Para asegurar el logro de los objetivos es importante contar con el apoyo y la cooperación de todas las personas involucradas en los diferentes niveles de la organización (Gerencia, área administrativa, área explotación) esta etapa está relacionada con el primer programa de acción señalada en la etapa de planificación. Al momento de poner en práctica los planes de acción, se debe seguir los siguientes pasos:



Figura N° 29 Esquema de Puesta en Práctica los Planes Acción del SGEN.

8.3.1.1 Elaborar un plan de comunicación.

Se debe establecer un mecanismo para dar a conocer la información relevante del SGE en forma interna a todas las áreas involucradas de la organización de la Línea 1 con el fin de reforzar el compromiso de todo el personal con la política energética a fin de motivarlos para el logro de los objetivos señalados en sección anterior.

En cuanto a la comunicación externa se refleja en cumplimiento de las disposiciones y de los requisitos legales

Dicho plan reflejará, de manera transparente, los logros obtenidos por la organización. Para asegurar una comunicación eficiente, deben considerarse los siguientes aspectos:

- Definición de los medios adecuados y relevantes de difusión.
- Identificación de la información necesaria a comunicar.
- Los mensajes a transmitir deberá ser de acuerdo a cada nivel de la organización (Gerencial, Administrativo, Tráfico, Mantenimiento y Ingeniería, etc.).

8.3.1.2 Sensibilizar al personal.

Con el fin de generar una visión compartida en todos los niveles de la organización, facilitando la puesta en marcha de los planes de acción y el cumplimiento de los objetivos establecidos.

Es importante precisar que todos los integrantes de la organización de la Línea 1 tienen algo que aportar a la gestión de la energía, por lo que conviene elaborar campañas de sensibilización y de participación de todos ellos. Al desarrollar una estrategia de sensibilización, es recomendable centrarse en los aspectos clave del SGE los mismos que han sido mencionados anteriormente dentro de los alcances y objetivos. :

8.3.1.3 Fortalecer competencias.

Impulsar el desarrollo del personal de toda la Linea 1 involucrado en la operación del SGEEn a través de las capacitaciones los cuales deben estar orientados al reforzamiento de todas actividades relacionadas a uso adecuado de la energía eléctrica con el fin de mejorar el desempeño energético para contribuir al logro de los objetivos definidos por la organización.

El programa de capacitación debe incluir al menos lo siguiente:

- Entrenamiento técnico y operativo: proporciona información sobre los nuevos métodos de operación o procedimientos diseñados para mejorar el desempeño energético.
- Capacitación administrativa: incluye información sobre procesos de comunicación, recopilación, consolidación, transformación, revisión y reporte de resultados asociados al SGEEn.
- Formación especializada: ofrece información sobre instrucciones específicas relacionadas con el uso y mantenimiento de equipos o herramientas consideradas dentro del control operativo del SGEEn.

8.3.1.4 Motivar al personal,

Através de la creación de mecanismos que lo alienten a mejorar el desempeño energético de la organización para el logro de los objetivos establecidos.

Entre los que debemos citar :

- Concursos internos: a través de bitácoras de seguimiento, se compara el desempeño entre instalaciones similares.
- Reconocimientos: resaltan y reconocen logros individuales, en departamentos e instalaciones.
- Bonos económicos: otorgan premios económicos por sugerencias o proyectos que han logrado sus objetivos.

8.4 ETAPA DE VERIFICAR

8.4.1 Evaluar el Progreso.

En esta etapa se deben consolidar los datos y la información que previamente se ha generado para evaluar el progreso de un SGE_n, tomando en consideración dos aspectos:

- Los datos de uso y consumo de la energía (Tracción , estaciones, talleres etc.)
- Las actividades realizadas bajo el marco de los planes de acción (Mejores Practicas , ahorro de energia eléctrica)

Lo anterior, con la finalidad de comparar los resultados obtenidos en función de los objetivos establecidos de mejora en el desempeño energético.

Los resultados de dicha evaluación permitirán :

- Crear nuevos planes de acción.
- Identificar las mejores prácticas.
- Establecer nuevas metas de desempeño.

En términos generales, a continuación se describen los pasos para realizar la evaluación del progreso:

8.4.1.1 Dar seguimiento y control:

Que incluye el desarrollo de sistemas enfocados a facilitar la evaluación periódica de los planes de acción ejecutados.

En esta etapa es importante mencionar al monitoreo que es un proceso que se debe realizar periódicamente y permite que las personas involucradas en la implementación del plan de gestión realicen un seguimiento programado para valorar el cumplimiento o las variaciones en las acciones planificadas. Además, permite identificar los avances específicos y generales con relación al cumplimiento de los objetivos trazados.

Es importante documentar los resultados y presentarlos a los interesados junto con las recomendaciones, para esto debe asegurarse la elaboración de guías para la recolección de la información que permita recoger de forma completa la

información aportada en el monitoreo, ya que sólo de esta manera, se puede llevar un control riguroso de los avances.

A continuación se presenta una guía que puede ser instrumento útil para realizar esta labor de monitoreo y seguimiento sobre las acciones planificadas del presente plan de gestión los cuales se presentan en los siguientes cuadros:

CUADRO N° 19 SEGUIMIENTO A LOS PLANES DE CAPACITACION

N° Plan	Acciones	Responsable	Meta	Indicador	Nivel de Cumplimento
1	Diseñar presentaciones para los trabajadores y empleados de la empresa.	Coordinador de comité energía y Area de Recursos Humanos	Contar con una estrategia de educación continua.	N° actividades educativas diseñadas e implementadas	Actividades ejecutadas
	Impartir charlas y talleres sobre la gestión energética en la empresa.				
	Realizar campaña de divulgación sobre el uso racional de la energía (pegar carteles, buzón de sugerencias, etc.).				
	Asesoría en ingeniería de sistemas eléctricos				

Fuente: Elaboración propia

CUADRO N°20 . SEGUIMIENTO DEL BUEN DESEMPEÑO ENERGÉTICO EN ACTIVIDADES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

N° Plan	Acciones	Responsable	Meta	Indicador	Nivel de Cumplimento
2	La aplicación de diversas marchas (tendida y económica) que gestionan el consumo energético mediante órdenes impartidas al conductor.	Área Tráfico y el Coordinador Comité de energía	Mejorar el desempeño energético en la operación durante la prestación de servicio	Parámetros de seguimiento	Indicador de desempeño
	Establecer horarios de la prestación de servicio que permita optimizar los tiempos de recorrido				
	Operación de las subestaciones de tracción mediante un control adecuado del nivel de tensión a fin de aprovechar la energía regenerada de los trenes.				

Fuente: Elaboración propia

N° Plan	Acciones	Responsable	Meta	Indicador	Nivel de Cumplimento
3	Control adecuado de los tiempos de funcionamiento de los equipos de acuerdo a periodos horas punto y valle	Área Mantenimiento y el Coordinador Comité de Energía	Optimizar operación y mantenimiento de los equipos alumbrado y fuerza motriz para un adecuado desempeño energético.	Parámetros de seguimiento	Indicador de desempeño
	Cumplir adecuadamente el programa de mantenimiento de todos los equipos auxiliares de acuerdo a las indicaciones de fabricante en los periodos establecidos				
	Implantar revisiones periódicas para verificar su comportamiento				

CUADRO N° 22 SEGUIMIENTO AL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA EMERGETICA

N° Plan	Acciones	Responsable	Meta	Indicador	Nivel de Cumplimento
4	Solicitar la cotizacion y remplazo de la lamparas recomendadas	Gerencia y el Coordinador de Comité Energía	Obtencion de un ahorro de energia del 20%	KWH Iluminacion	N° lamparas remplazadas
	Sustitucion de las lamparas fluorecentes LED en las estaciones y talleres				
	Sustituir las luminarias high bay tipo colgate con campanas Led				
	Sustituir las lamparas deterioradas o al final de su vida útil.				

Fuente : Elaboración Propia

N° Plan	Acciones	Responsable	Meta	Indicador	Nivel de Cumplimento
5	Solicitar cotizaciones para la revesivilidad de las 11 subestaciones rectificadoras .	Gerencia y el Coordinador de Comité Energía	Obtencion de un ahorro de energia del 20%	KWH Traccion	Actividad ejecutada
	Implementación de las subestaciones reversibles				

Fuente : Elaboración Propia

CUADRO N° 22 SEGUIMIENTO Y CONTROL DE LOS INDICADORES ENERGETICOS

N° Plan	Acciones	Responsable	Meta	Indicador	Nivel de Cumplimento
6	Control adecuado de los registros reales de consumo de energia electrica	Gerencia y el Coordinador de Comité Energía	Optimizacion de control y registro de Consumos electricos	KWH	Actividad ejecutada
	Seguimiento y monitoreo de los Indicadores energéticos			KWH /km	kilometros recorridos
	Implentacion de sistemas de un grupo registradores de energia en cada medicion en las subestaciones de traccion			N° medidores instalados	Actividad ejecutada

8.4.1.2 Medir los resultados

De acuerdo a los cuadros anteriores se debe medir los resultados comparando el desempeño alcanzado con los objetivos establecidos.

Los aspectos clave en la medición de resultados son:

Recopilar datos sobre el consumo de energía y los costos asociados.

Comparar el desempeño energético con la línea de base energética.

Comparar el desempeño contra los objetivos establecidos.

Comparar los resultados entre pares (*benchmarking*) y, si es posible, con otras líneas de metro para establecer un entendimiento sobre el nivel de desempeño energético en el que se encuentra la Línea 1.

Con esto se debe lograr de un desempeño energético mejorado como resultado del análisis del desempeño energético actual y del diseño, además de la aplicación y seguimiento a los planes de acción elaborados.

8.4.1.3 Revisar los planes de acción,.

Después de revisar los datos sobre el desempeño energético, el siguiente paso consiste en entender los factores que afectan los resultados obtenidos, así como analizar los beneficios adicionales detectados.

Esta revisión debe enfocarse en analizar la efectividad de los planes de acción. Cuando las actividades y los proyectos resultan positivos, se recomienda documentar las mejores prácticas para compartir con todo el personal involucrado .

En caso contrario, es importante que las organizaciones determinen las causas y definan los pasos a seguir para la toma de acciones correctivas y, en consecuencia, preventivas que minimicen el riesgo de incurrir en la misma falla dos veces.

La revisión de los planes de acción permite identificar áreas de oportunidad para el diseño o actualización de futuros planes, así como la detección de buenas prácticas para análisis y documentación y debe incluir:

- Analizar los planes de acción: solicitar la retroalimentación del equipo de gestión de la energía y de todos los involucrados con la aplicación de estos planes.
- Identificar los factores críticos asociados al cumplimiento o incumplimiento de los objetivos y metas.
- Cuantificar los beneficios adicionales, tales como confort de los empleados, mejoras la operatividad sistemas , impacto en servicio , gastos de operación y mantenimiento, entre otros.

Por su parte, la revisión de los planes de acción permitirá :

- Crear una visión hacia la aplicación de nuevas acciones (tecnologías, prácticas, programas).
- Evitar repetir errores mediante la identificación de las actividades que no eran tan efectivas como se esperaba.
- Evaluar la efectividad de los recursos utilizados para la ejecución de los planes de acción (sistemas, herramientas, etc.).
- Proporcionar al personal de la Linea 1 la oportunidad de contribuir y entender el proceso de gestión de la energía. Generar aprendizajes que impulsan la mejora continua del SGEEn.

8.5 ETAPA DE ACTUAR

8.5.1 Reconocer logros.

En esta etapa se se deber considerar dos aspectos importantes:

- *Proporcionar reconocimiento interno*, dirigido al personal, equipos e instalaciones dentro de la organización de la Linea 1 .

- *Recibir el reconocimiento externo*, en el ámbito de la cadena de valor y ante la autoridad (Ministerios Transportes, Misterio del Ambiente) y otras instituciones encargadas del control y fiscalización del uso adecuado de la energía) el cual contribuirá a mejorar las ventajas competitivas de la organización llegando a ser un medio de transporte eficiente en todos los aspectos y obtener la *Certificación del SGEN*, como elemento que brinde respaldo y sustento ante partes interesadas.

8.5.2 Asegurar la Mejora Continua del SGEN.

El aspecto final para evaluar los resultados consolidados del sistema corresponde a la alta dirección. Los pasos claves para el éxito de esta etapa se mencionan a continuación:

- *Realizar revisiones por la Dirección*. Sus propósitos son: observar la forma en que opera el SGEN, reportar las áreas en las que se han identificado barreras para la óptima implementación del SGEN; identificar los recursos necesarios para apoyar la mejora continua del SGEN; y definir planes de acción y objetivos para años futuros.
- *Tomar decisiones para mejorar el SGEN*; consiste en dar seguimiento a las decisiones y acciones, derivadas de la revisión por la dirección, para asegurar las mejoras y ajustes pertinentes al SGEN, de manera que se aporte valor a la organización.

Todos estos procedimiento también está dentro del marco del ciclo de mejoramiento continuo que propone la ISO 50001 y debe describir los responsables, plazos y secuencia de cada actividad, y cerrarse por la revisión de la alta gerencia.

También es recomendable definir un tipo de registro o reporte de las conclusiones que tome la alta gerencia frente a su revisión.

Cuadro N° 23 Cronograma de Implementación de un Sistema de Gestion de Energia SGEN para la Linea 1 basado en la ISO 50001

Implementación de ISO 50001 en la Linea 1		Mes																																																
		1				2				3				4				5				6				7				8				9				10				11				12				
		Semana																																																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	
Preparación																																																		
Diseño del SGEN	Compromiso de la alta gerencia	Responsabilidad de la alta gerencia																																																
		Representante de la alta gerencia																																																
		Política Energética																																																
	Planificación Energética	Requisitos legales																																																
		Evaluación energética																																																
		Línea base																																																
	Operación	Indicadores de desempeño																																																
		Control operacional																																																
		Objetivos, metas y planes de acción																																																
		Monitoreo, medición y análisis																																																
	Soporte	Diseño de proyectos y proceso de adquisición de																																																
		Documentación y registro																																																
		Comunicación																																																
		Competencia, entrenamiento y sensibilización.																																																
Auditoría interna, no conformidades, correcciones, Revisión de la alta gerencia																																																		
Implementación del SGEN	Planificación Energética	Requisitos legales																																																
		Evaluación energética																																																
		Línea base																																																
	Operación	Indicadores de desempeño																																																
		Control operacional																																																
		Objetivos, metas y planes de acción																																																
		Monitoreo, medición y análisis																																																
	Soporte	Inversión de proyectos y proceso de adquisición de																																																
		Documentación y registro																																																
		Comunicación																																																
		Competencia, entrenamiento y sensibilización.																																																
		Auditoría interna, no conformidades, correcciones, Revisión de la alta gerencia																																																

CAPITULO 9

9 EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA DEL PROYECTO

9.1 EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA

9.1.1 Evaluación del ahorro de energía.

De acuerdo al plan de mejoramiento energetico se han recomendado una serie de mejoras sin inversion atribuibles a las buenas practicas y mejoras con inversion relacionadas a mejoramiento de la eficiencia energia electrica tanto en los sistemas de iluminación en las instaciones y el sistema de tracción y la implementación del Sistema de Gestión de acuerdo a la norma ISO 5001 los cuales generaran un ahorro del consumo de energía eléctrica y una reducción de la demanda eléctrica en las instalaciones las mismas se muestran en siguiente cuadro.

Cuadro N° 24 Ahorro de Energía Eléctrica

	Consumo sin ahorro	Ahorro		Consumo con ahorro
	KWh/año	KWh/año	Porcentaje	KWh/año
Energía de tracción	76,608,930.00	5,745,720.00	6%	70,863,210.00
Energía en instalaciones	12,307,760.00	2,461,680.00	3%	9,846,080.00
Implementación SGEN		1,778,333.80	2%	(-1,778,333.8)
Total	88,916,690.00	9,985,733.80		78,930,956.20

9.1.2 Evaluación del beneficio económico.

El beneficio económico esta relacionado con el ahorro generado por consumo de energía eléctrica tanto sistema de tracción mediante el aprovechamiento de la de freno regenerativo de las unidades de tracción y en las instalaciones por la reducción de la demanda potencia en las instalaciones producto del mejoramiento de la eficiencia energética en el alumbrado.

Cuadro N° 25 Beneficio Económico por Ahorro de Energía Eléctrica

Sistema	Unidad	Ahorro	Beneficio económico Nuevos soles / año
Ahorro energía en tracción	kwh/año	5,745,720.00	2,428,906.59
Ahorro energía en Instalaciones	Kwh/año	2,461,680.00	1,166,695.78
Reducción de potencias en Instalaciones	Kw/año	5,918.40	126,061.92
Ahorro por implementación del SGEN	Kwh/año	1,778,333.80	751,760.73
Total			4,347,363.10

9.2 EVALUACIÓN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN Y RETORNO DE LA INVERSIÓN.

Partiendo de costos actuales y tomando en cuenta los costos energéticos actuales, se determina la inversión necesaria para la implementación de la mejora; dicha inversión se cuantifica sobre la base de presupuestos facilitados por distintos fabricantes.

A continuación se presenta de manera esquemática las acciones que se propone de acuerdo a los planes establecidos, y la inversión requerida en cada caso.

9.2.1 Inversiones

Cuadro N° 26 Inversión del Plan de Acción N° 1

CAPACITACIÓN	
Acciones	Inversión Nuevos soles
Diseñar presentaciones para los trabajadores y empleados de la empresa.	S/C
Impartir charlas y talleres sobre la gestión energética en la empresa.	S/. 20,000.00
Realizar campaña de divulgación sobre el uso racional de la energía (pegar carteles, buzón de sugerencias, etc.).	S/. 20,000.00
Asesoría en ingeniería de sistemas eléctricos	S/.200,000.00
Total	S/.240,000.00

Fuente : Elaboración Propia

Cuadro N° 27. Inversión del Plan de Acción N° 2

OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN	
Acciones	Inversión Nuevos soles
La aplicación de diversas marchas (tendida y económica) que gestionan el consumo energético mediante órdenes impartidas al conductor.	S/C
Establecer horarios de la prestación de servicio que permita optimizar los tiempos de recorrido	S/C
Operación de las subestaciones de tracción mediante un control adecuado de la operación a fin de aprovechar la energía regenerada de los trenes.	S/C

Fuente : Elaboración propia

Cuadro N° 28. Inversión Plan de Acción N° 3

OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS DE ALUMBRADO Y FUERZA MOTRIZ	
Acciones	Inversión Nuevos soles
Control adecuado de los tiempos de funcionamiento de los equipos de acuerdo a periodos horas punto y valle	S/C
Cumplir adecuadamente el programa de mantenimiento de todos los equipos auxiliares de acuerdo a las indicaciones de fabricante en los periodos establecidos	S/C
Implantar revisiones periódicas para verificar su comportamiento	S/C

Fuente : Elaboración propia

Cuadro N° 29 Inversión del Plan de Acción N° 4

REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMA DE ILUMINACIÓN	
Acciones	Inversión Nuevos soles
Solicitar la cotización y remplazo de la lamparas recomendadas	S/C
Sustitucion de las lamparas fluorecentes LED en las estaciones y talleres	300,000,00
Sustituir las luminarias high bay tipo colgate con campanas Led	200.000,00
Sustituir las lamparas deterioradas o al final de su vida útil.	100,000.00
Total	600,000.00

Fuente : Elaboración propia

Cuadro N° 30. Inversión del Plan de Acción N° 5

REDUCCIÓN DEL SISTEMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SISTEMA DE TRACCIÓN	
Acciones	Invesión Nuevos soles
Solicitar cotizaciones para la reversibilidad de las 11 subestaciones rectificadoras.	S/C
Implementación de las subestaciones reversibles	5,000,000.00
Total	5,000,000.00

Fuente : Elaboración propia

Cuadro N° 31. Inversión del Plan de Accion N° 6

ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA DE MONITOREO	
Acciones	Inversión nuevos soles
Control adecuado de los registros reales de consumo de energia electrica	S/C
Seguimiento y monitoreo de los Indicadores energéticos	S/C
Implentacion de sistemas de un grupo registradores de energia en cada medicion en las subestaciones de traccion	200,000,00
Total	200,000.00

Fuente : Elaboración propia

Cuadro N° 32 Resumen de Inversiones

Detalle	Monto (nuevos soles)
Asesoría y Capacitación para uso adecuado de la energía	240,000.00
Reducción del consumo de energía eléctrica en el sistema de iluminación	600,000.00
Reducción del consumo de energía eléctrica en el sistema de tracción	5,000,000.00
Establecimiento del Sistema de Monitoreo	200,000.00
Total de Inversiones	6,040,000,00

Fuente : Elaboración propia

9.2.2 Retorno de la inversión.

Cuadro N° 33 Periodo de Retorno

Detalle	Inversion (Nuevos soles)	Beneficio Economico (Nuevos soles/año)	Periodo de retorno (años)
Reducción del consumo de energía eléctrica en el sistema de iluminación	600,000.00	1,166,695.78	1
Reducción del consumo de energía eléctrica en el sistema de tracción	5,000.000.00	2,428,906.59	2
Acesoria e Implementación del SGEN	440,000.00	751,760.73	1
Total	6,040,000,00	4,347,363.10	2

Fuente : Elaboración propia

9.2.3 Análisis Económico del proyecto de mejoramiento

El primer incentivo para implementar el proyecto de mejoramiento y la implementación del sistema de gestión de energía SGEN para la Línea 1 y la ejecución de sus programas y/o planes de ahorro de energía eléctrica; es el aspecto económico. El grado en el que las inversiones de capital son tomadas, estas deben ser consistentes con criterios económicos. Todos los costos y beneficios deberían reflejar la situación económica al tiempo cero, donde arranca el proyecto.

Los resultados que se obtienen al actualizar los valores del Flujo Económico mediante el uso de las tasas de descuento, generalmente se concentran en tres tipos de indicadores: Valor Actual Neto, la Relación Beneficio /Costo y la Tasa Interna de Retorno.

Para el presente proyecto se tiene los siguientes parámetros

Cuadro N° 34. Parámetros para la Evaluación Económica

Descripción	Datos Financieros
Tasa de descuento	10%
Costo Mantenimiento Anual	S/. 120,000,00
Inversión	S/. 6,040,000,00
Vida útil del proyecto (en años)	5

Fuente : Elaboración propia

Cuadro N° 35. DISTRIBUCIÓN DEL BENEFICIO ECONÓMICO EN EL PERIODO DE 5 AÑOS

Detalle	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Reducción del consumo de energía eléctrica en las instalaciones	1,166,695.78	1,166,695.78	1,166,695.78	1,166,695.78	1,166,695.78
Reducción del consumo de energía eléctrica en el sistema de tracción	2,428,906.50	2,428,906.50	2,428,906.50	2,428,906.50	2,428,906.50
Asesoría Implementación del SGEN	751,760.73	751,760.73	751,760.73	751,760.73	751,760.73

Fuente : Elaboración propia

CUADRO N° 36. DEPRECIACIÓN ANUAL DE ACTIVOS INTERVINIENTES EN EL PROYECTO

Elemento	Costo (Nuevos soles)	Vida Útil (Años)	Depreciación Anual (Nuevos soles)	Valor Residual (Nuevos soles)
Subestaciones reversibles	5,000,000.00	20	472,190.48	4,523,890.52
Registadores energéticos	200,000.00	15	25,000.00	175,000.00
Total Depreciación (S/.)			501,190.48	

Fuente : Elaboración propia

CUADRO N° 37. FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO

Descripción	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos						
Reducción del consumo de energía eléctrica en el las instalaciones		1,166,695.78	1,166,695.78	1,166,695.78	1,166,695.78	1,166,695.78
Reducción del consumo de energía eléctrica en el sistema de tracción		2,428,906.59	2,428,906.59	2,428,906.59	2,428,906.59	2,428,906.59
Asesoría e Implementación del SGEN		751,760.73	751,760.73	751,760.73	751,760.73	751,760.73
Egresos						
Inversiones						
Capacitación para uso adecuado de la energía	-240,000.00	-240,000.00	-240,000.00	-240,000.00	-240,000.00	-240,000.00
Reducción del consumo de energía eléctrica en el sistema de iluminación	-300,000.00	-300,000.00				
Reducción del consumo de energía eléctrica en el sistema de tracción	-3,000,000.00	-2,000,000.00				
Establecimiento del Sistema de Monitoreo		-200,000.00				
Mantenimiento		-120,000.00	-120,000.00	-120,000.00	-120,000.00	-120,000.00
Depreciación			-501,190.48	-501,190.48	-501,190.48	-501,190.48
Utilidad Bruta	-3,540,000.00	1,487,363.10	3,486,172.63	3,486,172.63	3,486,172.63	3,486,172.63
Impuestos			-1,045,852	-1,045,852	-1,045,852	-1,045,852
Utilidad Neta	-3,540,000.00	1,487,363.10	2,440,320.84	2,440,320.84	2,440,320.84	2,440,320.84
Valor residual						5,603,571.43
Flujo de caja	-3,540,000.00	1,487,363.10	2,440,320.84	2,440,320.84	2,440,320.84	8,043,892.27
Flujo acumulado	-3,540,000.00	-2,052,636.90	387,683.94	2,828,004.78	2,828,004.78	10,871,897.05

9.2.4 Indicadores economicos.

9.2.4.1 Valor Actual Neto:

El Valor Actual Neto para la tasa de descuento del proyecto es:

$$\mathbf{VAN = S/. 7,567,079.75}$$

El proyecto es rentable porque resulta un beneficio positivo de 1,527,079.75 nuevos soles, generando ganancias después de haber logrado cubrir todos los costos, esto significa que el proyecto propuesto es viable mediante las mejoras propuestas tanto de uso racional de energía y la mejora de la eficiencia energética eléctrica y la implementación de SGEN de acuerdo a la norma 50001.

9.2.4.2 Tasa Interna de Retorno:

Para el presente proyecto la Tasa Interna de Retorno es:

$$\mathbf{TIR = 61.00\%}$$

Para el presente proyecto la Tasa Interna de Retorno es de 61,00% que es mayor al costo del capital del 10%, por ende la mejora de la eficiencia energética eléctrica genera beneficios, mayores al costo, lo cual va a significar un aumento de la rentabilidad.

9.2.4.3 Relación Beneficio / Costo:

La relación Beneficio / Costo del proyecto es:

$$\mathbf{B/C = 1.46}$$

. la relación beneficio costo de 1.46 > 1 lo significa que por cada nuevo sol invertido obtiene una rentabilidad de 0.76 nuevos soles, es decir que recupera su inversión y obtiene una rentabilidad adicional para el proyecto.

9.2.5 Análisis de Sensibilidad.

Cuadro N° 38. Análisis de Sensibilidad

Variación de la inversión	VAN
0.25	9,080,495.70
0.20	8,702,141.71
0.15	8,323,787.72
0.10	7,945,433.74
0.05	7,567,079.75
0.00	7,567,079.75
-0.05	7,188,725.76
-0.10	6,810,371.77
-0.15	6,432,017.79
-0.20	6,053,663.80
-0.25	5,675,309.81

9.2.6 Resumen de la evaluación económica

A continuación se presenta un cuadro resumen de valores de los indicadores económicos, la inversión y el ahorro anual del proyecto.

Cuadro N° 39. Resumen de la Evaluación Económica del Proyecto

Descripción	Valor
Inversión (2015-2020)	S/ 6,040,000,00
Ahorro (2015-2020)	S/. 4,347,363.10
Valor Actual Neto	S/. 7,567,079.75
Tasa Interna de Retorno	61%
Relación B / C	1.46
Periodo de Recuperación	2

CAPITULO 10

10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

10.1 CONCLUSIONES.

De acuerdo a las características de consumo estimado y las oportunidades de mejora, que fueron analizadas en el presente trabajo a parte de las medidas sin inversión relacionadas a las buenas practicas y uso adecuado de la energía la primera relacionado con el modo operativo seguimiento y control, la otra corresponde al mantenimiento se muestran como principales potenciales de ahorro en el Proyecto de Mejoramiento las medidas con inversión siendo las siguientes:

- La evaluación de las características del rendimiento de las lámparas utilizadas en el sistema de alumbrado en las oficinas, estaciones de pasajero y talleres, mediante el remplazo de las lámparas existentes con otras más eficientes, consiguiendo un potencial de ahorro energía anual del 2% al 4% y un beneficio económico del 3 % en la facturación por este concepto.
- La recuperación de la energía en sistema de tracción para ser devuelta a la red producto del aprovechamiento de energía de frenado de los trenes y el mejoramiento del rendimiento de las características de los trenes logrando un ahorro entre el 2% y 6% en la facturación eléctrica.
- La implementación de la Gestión de la energía de acuerdo a la Norma ISO 50001 permitirá garantizar gradualmente el ahorro y mejoramiento continuo del control y la reducción de los costos de la empresa contribuyendo con el cuidado del ambiente por la disminución de la emisión de CO₂ producida por las centrales de generación eléctrica.

- Todas estas medidas recomendados en presente proyecto permitirá a la Línea 1 obtener un beneficio económico del 12 % de la facturación de energía eléctrica.
- El periodo de recuperación notamos que recuperamos la inversión en 2 años obteniéndose un TIR de 61%, el VAN estimado es de S/ 7,567,079.75 y Beneficio/Costo resulto 1.46. Por lo tanto podemos concluir y afirmar que la propuesta es factible económicamente.

10.2 RECOMENDACIONES

La implementación de un Comité de Gestión de Energía en la Línea 1 requerira de un gran compromiso por parte la alta gerencia y todo los involucrados, siendo uno de los primeros pasos de crear en el personal la consciencia de ahorro de energía eléctrica , incentivando atravez de las buenas practicas el uso adecuado en manejo sus equipamientos.

Las acciones propuestas para mejorar la eficiencia energética eléctrica y las nuevas tecnologías se deben implementar con la debida orientación y capacitación de los usuarios por profesionales especialistas en el tema.

Es de gran relevancia que las personas involucradas en la implementación cuenten con las habilidades, competencias, entremamiento y/o para el desarrollo de cada uno de las actividades. Por ello es de importancia la formación de un equipo de implementación que potenciará las habilidades competencias , nivel de entrenameinto y/o experiencia de las diferentes personas que la integren.

El aporte del presente trabajo permitirá iniciar futuras investigaciones relacionadas al uso eficiente de la energía eléctrica en los diferentes medios de transporte en búsqueda de una mejor competitividad y la preservación del medio ambiente.

11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE), (2012). Guía de Implementación de Sistema de Gestión de la Energía Basada en la Norma ISO 50001. Dirección General de Electricidad, Ministerio de Energía y Minas (2009) Plan Referencial de la Energía 2009-2018-
- Centellas García, I. (2008), Subestaciones de tracción en corriente continua.
- Conrado Martínez, J. (2003), GIF. Documentos de Formación Ferroviaria. La Electrificación Ferroviaria.
- Dirección General de Electricidad, Ministerio de Energía y Minas (2008). Guía N° 14 de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnósticos Energéticos Edificios Públicos,
- Dirección General de Electricidad, Ministerio de Energía y Minas (2009), Guía N°15 de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnósticos Energéticos en transporte.
- Estrada Gómez, R. (2006), Transparencias sobre Ferrocarriles. Centro Politécnico Superior Universidad de Zaragoza. Departamento de Ingeniería Mecánica. Área de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes.
<http://www.cps.unizar.es/~transp/Ferrocarriles/INDICE.html>
- García Álvarez, A (2008). "Análisis sistemático del consumo energético en líneas ferroviarias metropolitanas, de cercanías y de alta velocidad, con valoración del impacto energético y del resultado económico, incluyendo el desarrollo y contraste de modelos y simuladores parametrizables (ELECRAIL). Fundación de los Ferrocarriles Españoles.
- García Álvarez, A. (2008): "Cuantificación del consumo de energía eléctrica del ferrocarril y línea de trabajo para su reducción". Monografías ElecRail.
- García Álvarez, A. (2010): "Energía y emisiones en el transporte por ferrocarril". Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

- Hernández, JL. (2010), Web de Tecnología Eléctrica “Tu verás” <http://www.tuveras.com/maquinaselectricas.htm>
- López Duran, D. (2010) Estudio del Aprovechamiento de la Energía regenerada por los trenes, Madrid.
- Matínez Iglesias, E. (2012): Aprovechamiento de la energía de frenado regenerativo de los trenes de cercanías en las estaciones La Serna y Parque Polvoranca; , Proyecto fin de carrera Universidad Carlos III Madrid, Leganés.
- Secretaria de Estado de Energía, Ministerio de Industria, Energía y Turismo Español (2014) Plan de Acción de la Eficiencia Energética.
- Soublette Castro, GA (2011): Sistemas de Recuperación de Energía para la Línea 1 del Metro de Santiago : Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista Santiago de Chile.

12 ANEXOS

Anexo 1- Cuadro de Cargas de las Estaciones

NÚMERO	ESTACIONES	POTENCIA (kW)
1	Villa El Salvador	121.53
2	Parque Industrial	127.60
3	Pumacahua	112.26
4	Maria Auxiliadora	126.30
5	Villa Maria	127.60
6	San Juan	121.53
7	Atocongo	139.29
8	Jorge Chavez	111.84
9	Ayacucho	115.59
10	Los Cabitos	124.54
11	Angamos	121.19
12	San Borja	117.68
13	La Cultura	132.78
14	Nicolas Arriola	116.55
15	Garmarra	112.95
16	Grau	130.48
17	El Angel	114.66
18	Presvitero	115.20
19	Caja de Agua	131.27
20	Piramides del Sol	125.74
21	Jardines	132.40
22	Los Poste	114.66
23	San Carlos	130.13
24	San Martin	139.29
25	San Rosa	117.69
26	Bayobar	130.50
TOTAL		3,211.25

Fuente : Elaboracion propia

Anexo 2 - Cuadro de cargas Edificios y Talleres

DESCRIPCION DE LA INSTALACION	POTENCIA (kW)		
	NORMAL	EMERGENCIA	TOTAL
PATIO TALLER			
Taller de Mantenimiento	510.00	21.20	531.20
Taller de Instalaciones fijas	18.36	8.86	27.22
Taller de Material rodante Auxiliar	11.17	9.23	20.41
Almacén General	28.20	4.94	33.14
Oficinas administrativas	16.80	4.20	21.00
Torre de control	34.01	18.32	52.33
Sistema de agua de servicio		5.10	5.10
Sistema contra incendio	10.00		10.00
Central de Aire comprimido	64.00		64.00
Torno en Fosa	26.15		26.15
Iluminación Exterior	25.28	8.12	33.40
Garita de conductores	8.85	2.21	11.06
Lavadero de trenes	21.00		21.00
Cabina Eléctrica	6.06	2.42	8.48
Subestación Eléctrica	7.35	5.88	13.23
Reservas	56.00	24.00	
Total			877.71
PATIO DE MANIOBRAS			
Bloque A: Caseta de Control		3.42	3.42
Bloque B: Oficinas administrativas	16.24	3.01	19.25
Bloque C: Facilidades diversas- Vestuario	61.29	23.19	84.48
Almacén General	28.88	3.72	32.6
Cabina Eléctrica	8.4	5.64	14.04
Sistema contra incendio	3.88		3.88
Sistema de agua de servicio		6.41	6.41
Central de aire comprimido	61.55		61.55
Lavadero de trenes	27.99		27.99
Iluminación exterior	27.84	12.55	40.39
Reservas			0
Total			294.01

Axeso 3 - Indicadores de Operación

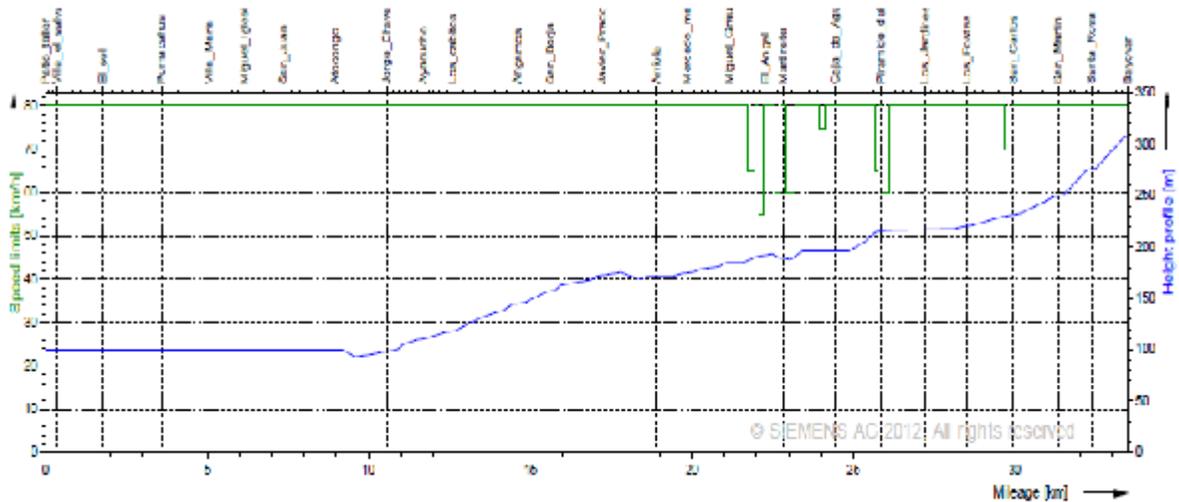
AÑO	MES	Total Pasajeros transportados	Kilómetros Tren Recorridos	Cantidad de Carreras	ENERGIA KWH (*)	KWH/KM	KWH/PAS	KWH/KM PROMEDIO
2014	Ene	3,587,285	143,945	7,091	2,427,302.46	16.86	0.68	19.40
	Feb	3,398,026	131,138	6,460	2,276,065.73	17.36	0.67	19.40
	Mar	3,791,663	143,909	7,091	2,479,635.88	17.23	0.65	19.40
	Abr	3,743,077	136,814	6,740	2,361,440.59	17.26	0.63	19.40
	May	4,162,892	143,885	7,091	2,479,635.88	17.23	0.60	19.40
	Jun	3,996,297	138,970	6,846	2,394,341.10	17.23	0.60	19.40
	Jul	4,715,500	157,851	6,930	3,418,823.38	21.66	0.73	19.40
	Ago	7,854,761	222,902	6,814	3,418,823.38	15.34	0.44	19.40
	Sep	8,399,600	223,817	6,784	3,308,538.75	14.78	0.39	19.40
	Oct	9,001,714	240,472	7,292	3,418,823.38	14.22	0.38	19.40
	Nov	8,800,912	229,388	7,047	3,308,538.75	14.42	0.38	19.40
	Dic	9,822,366	258,676	7,813	3,418,823.38	13.22	0.35	19.40

(*) Fuente Datos de la Empresa Operadora

Anexo 4 - Datos Caracteristicos del Perfil de la Via de la Linea 1

La Linea 1 tiene una extensión total de aprox. 34km. El tramo de la extensión entre “El Angel” y “Bayovar” tiene una longitud de aprox. 12km. Las pendientes y los radios de curvatura de esta extensión fueron tomadas del documento [RD5], limitaciones de velocidad y ubicación de las curvas son las indicadas en el documento [RD4].

La figura mostrada abajo permite obtener una visión general del perfil longitudinal, la ubicación de las estaciones y los límites de velocidad a lo largo de la línea.



Fuente : Estudio De simulación eléctrica Línea 1 Metro de Lima , Reporte Siemens

Anexo – 5 Datos característicos de los trenes

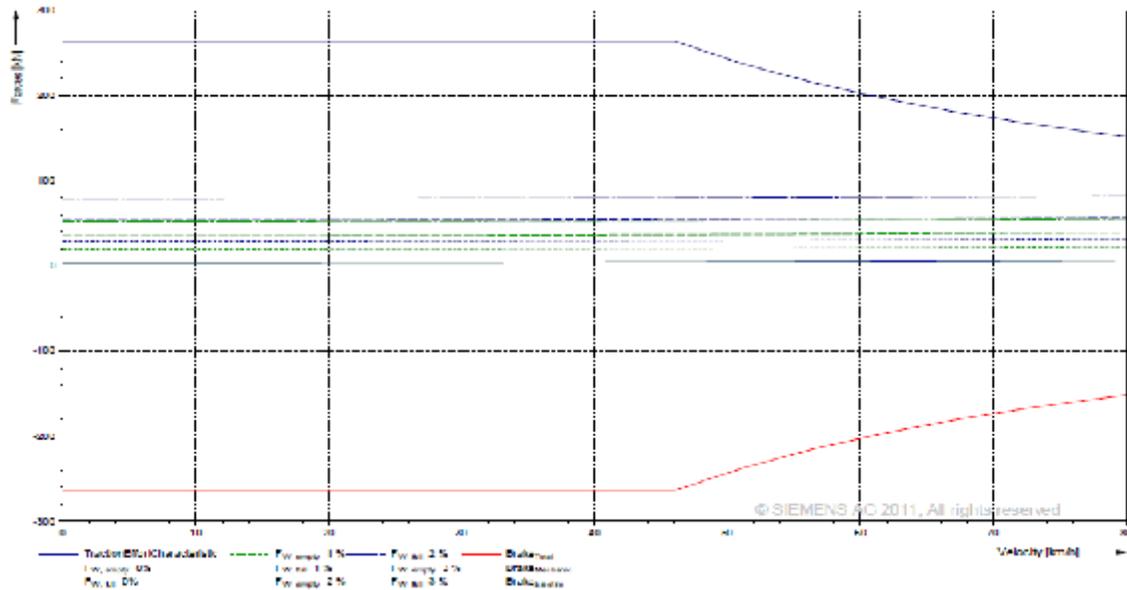
Diferentes modos de conducción

Report

Date	Reference Number	Pages	Appendices
21.06.12	IC SG RE EN TP SE/687.002/SB	8 of 23	-



Fuerzas de tracción, de frenado y resistencia al avance del tren



Fuente : Estudio De simulación eléctrica Línea 1 Metro de Lima , Reporte Siemens

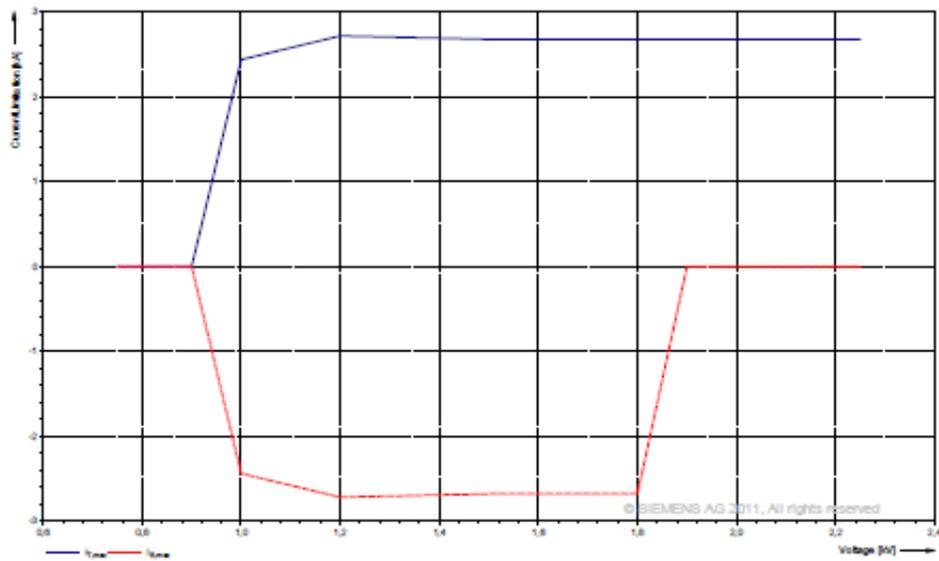


Figura 5-6: Corrientes de tracción y de frenado

Resistencia al avance del tren

$$F_W = k_0 + k_1 * v + k_2 * m_{train} + k_3 * m_{train} * v + k_4 * f_{tunnel} * v^2 + k_5 * m_{train} * f_{tunnel} * v^2$$

Donde:

- $k_0 = 3,2 \text{ kN};$
- $k_1 = 0 \text{ kg/s}$
- $k_2 = 0 \text{ N/kg}$
- $k_3 = 0 \text{ 1/s}$
- $k_4 = 6,4 \text{ kg/m}$
- $k_5 = 0 \text{ 1/m}$

F_W = Resistencia del tren en kN

v = velocidad en m/s

m_{train} = masa del tren en kg

f_{tunnel} = factor túnel

Fuente : Estudio De simulación eléctrica Línea 1 Metro de Lima , Reporte Siemens

Anexo -7 Luminaria Fluorecente Led propuesta para la reducción de consumo de energía eléctrica

MASTER LED Tube

Catálogo de productos ▶ Lámparas ▶ Tubos LED ▶ MASTER LED Tube

El tubo Philips MASTER LEDtube, integra una fuente de luz de LED con un diseño de cobertura opaco, como el del tubo fluorescente tradicional. La nueva fuente de luz ofrece colores de luz naturales, y además, consumiendo 22W de energía, cuando se reemplaza un tubo T8 de 36W con balasto electromagnético, resulta hasta un 50% de ahorro de energía. La prolongada vida del producto (más de 3 veces la vida útil del tubo fluorescente estándar), y el excelente mantenimiento del flujo luminoso, minimizan el problema del cambio de tubo, y reduce el costo de mantenimiento. Gracias a las características de completa seguridad del tubo MASTER LEDtube, no hay riesgo de que el usuario sufra una descarga eléctrica, problema que puede existir con alternativas de menor costo que se encuentran en el mercado. El protector EMP050 añade mayor seguridad al sistema, en caso que ocurra una utilización incorrecta del mismo. Certificados aprobados garantizan que el tubo MASTER LEDtube sea el tubo de LED 'Más Confiable' para trabajar. Posee portafolio completo para la sustitución de tubos T8 de 500mm, 900mm, 1200mm y 1500mm.



Fuente : Philips