

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Evaluación de la eficiencia energética del transformador  
eléctrico de 10 MVA que alimenta a las palas  
eléctricas del Centro Minero Las Bambas de la región  
Apurímac**

Emerson Dante Rivas Soriano

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

# Evaluación de la eficiencia del transformador de 10 MVA de Las Bambas

## INFORME DE ORIGINALIDAD

43%

INDICE DE SIMILITUD

42%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Fuente de Internet	6%
2	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	6%
3	<a href="http://edoc.pub">edoc.pub</a> Fuente de Internet	3%
4	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	3%
5	<a href="http://biblioteca.usac.edu.gt">biblioteca.usac.edu.gt</a> Fuente de Internet	2%
6	<a href="http://kupdf.net">kupdf.net</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://ifhe.info">ifhe.info</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://energiminas.com">energiminas.com</a> Fuente de Internet	1%
9	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	

1 %

10

[pt.scribd.com](https://pt.scribd.com)

Fuente de Internet

1 %

11

[pdfcoffee.com](https://pdfcoffee.com)

Fuente de Internet

1 %

12

[repositorio.uncp.edu.pe](https://repositorio.uncp.edu.pe)

Fuente de Internet

1 %

13

[www.iaf.es](http://www.iaf.es)

Fuente de Internet

1 %

14

[www.coursehero.com](https://www.coursehero.com)

Fuente de Internet

1 %

15

[repositorio.uaustral.edu.pe](https://repositorio.uaustral.edu.pe)

Fuente de Internet

1 %

16

[goodmanconveyor.com](https://goodmanconveyor.com)

Fuente de Internet

1 %

17

[tesis.ipn.mx](https://tesis.ipn.mx)

Fuente de Internet

1 %

18

[www.losarrecifes.com.mx](http://www.losarrecifes.com.mx)

Fuente de Internet

<1 %

19

[www.scribd.com](https://www.scribd.com)

Fuente de Internet

<1 %

20

[electricosonline.com](https://electricosonline.com)

Fuente de Internet

<1 %

21	<a href="https://sustainableearth.com">sustainableearth.com</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="https://dokumen.site">dokumen.site</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="https://vsip.info">vsip.info</a> Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="https://repositorio.ucsg.edu.ec">repositorio.ucsg.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="https://ribuni.uni.edu.ni">ribuni.uni.edu.ni</a> Fuente de Internet	<1 %
26	<a href="https://tesis.ucsm.edu.pe">tesis.ucsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
27	<a href="https://hermanalugar-aceptar.fun">hermanalugar-aceptar.fun</a> Fuente de Internet	<1 %
28	<a href="https://prezi.com">prezi.com</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
30	<a href="https://repositorio.unj.edu.pe">repositorio.unj.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
31	<a href="https://repositorio.usmp.edu.pe">repositorio.usmp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
32	<a href="https://repositorio.upla.edu.pe">repositorio.upla.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

33	<a href="http://documents.mx">documents.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
34	<a href="http://bibliotecavirtualoducal.uc.cl">bibliotecavirtualoducal.uc.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
35	<a href="http://www.dielectroindustrial.es">www.dielectroindustrial.es</a> Fuente de Internet	<1 %
36	<a href="http://repositorio.unesum.edu.ec">repositorio.unesum.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="http://unicrom.com">unicrom.com</a> Fuente de Internet	<1 %
38	<a href="http://manual-del-desgaste-del-palas.peatix.com">manual-del-desgaste-del-palas.peatix.com</a> Fuente de Internet	<1 %
39	<a href="http://www.iesasl.es">www.iesasl.es</a> Fuente de Internet	<1 %
40	<a href="http://repositorio.ujcm.edu.pe">repositorio.ujcm.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
41	<a href="http://repositorio.ulasamericas.edu.pe">repositorio.ulasamericas.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
42	<a href="http://repositorio.unsa.edu.pe">repositorio.unsa.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
43	<a href="http://revistaenergia.cenace.gob.ec">revistaenergia.cenace.gob.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
44	Borghetto, J., F. Barberis, R. Berti, and R. Passaglia. "Comparative life cycle assessment	<1 %

of a MV/LV transformer with an amorphous metal core and a MV/LV transformer with a grain-oriented magnetic silicon steel core", IET Conference Publications, 2009.

Publicación

45

[repositorio.utc.edu.ec](http://repositorio.utc.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

46

[www.emb.cl](http://www.emb.cl)

Fuente de Internet

<1 %

47

[cybertesis.unmsm.edu.pe](http://cybertesis.unmsm.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

48

[dspace.ucuenca.edu.ec](http://dspace.ucuenca.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

49

[repository.lasalle.edu.co](http://repository.lasalle.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %

50

[dokumen.pub](http://dokumen.pub)

Fuente de Internet

<1 %

51

[repositorio.unheval.edu.pe](http://repositorio.unheval.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

52

[repositorio.uns.edu.pe](http://repositorio.uns.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

53

[repositorio.untels.edu.pe](http://repositorio.untels.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

54

Alvarado López Carlos Raúl, Menchaca García Edgar Othón, Rojas Lara Alfredo

<1 %

Desiderio,Serafin Sanchez Porfirio Baudelio.  
"Manual de mantenimiento de subestaciones  
de distribución del campus universitario,  
U.N.A.M.", TESIUNAM, 2009

Publicación

55

[repositorio.ug.edu.ec](http://repositorio.ug.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

56

Escobedo Gomez Miguel Angel. "Sistema  
computacional para la reduccion de perdidas  
tecnicas en el sistema de distribucion  
electrica", TESIUNAM, 1997

Publicación

<1 %

57

[repositorio.unap.edu.pe](http://repositorio.unap.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

58

[repositorio.unjbg.edu.pe](http://repositorio.unjbg.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

59

[promo2010lenguayliteraturaunfv.blogspot.com](http://promo2010lenguayliteraturaunfv.blogspot.com)

Fuente de Internet

<1 %

60

[repositorio.unajma.edu.pe](http://repositorio.unajma.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

61

[www.semanticscholar.org](http://www.semanticscholar.org)

Fuente de Internet

<1 %

62

Rojas Morales Juan Trigo Salvador,Vega  
Novoa Eder Omar. "Supervisión, control y  
adquisición de datos por medio de fibra  
óptica como medio de transporte entre la

<1 %



unidad terminal remota (UTR) y equipos primarios, dentro de una subestación eléctrica de potencia, utilizando el sistema integral y control local de estación (SICLE)", TESIUNAM, 2014

Publicación

63

[dspace.lib.ntua.gr](http://dspace.lib.ntua.gr)

Fuente de Internet

<1 %

64

[nanopdf.com](http://nanopdf.com)

Fuente de Internet

<1 %

65

[www.listindiario.com.do](http://www.listindiario.com.do)

Fuente de Internet

<1 %

66

[agradecimientos.net](http://agradecimientos.net)

Fuente de Internet

<1 %

67

[listas.losverdesdeandalucia.org](http://listas.losverdesdeandalucia.org)

Fuente de Internet

<1 %

68

[nagaokaut.repo.nii.ac.jp](http://nagaokaut.repo.nii.ac.jp)

Fuente de Internet

<1 %

69

[www.liderazgoymercadeo.com](http://www.liderazgoymercadeo.com)

Fuente de Internet

<1 %

70

[www.maquinariaspesadas.org](http://www.maquinariaspesadas.org)

Fuente de Internet

<1 %

71

[documentop.com](http://documentop.com)

Fuente de Internet

<1 %

72

[idoc.pub](http://idoc.pub)

Fuente de Internet

<1 %

73

[repositorio.autonoma.edu.pe](http://repositorio.autonoma.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

74

[repositorio.uancv.edu.pe](http://repositorio.uancv.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

75

[repositorio.utn.edu.ec](http://repositorio.utn.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

76

[www.umh.es](http://www.umh.es)

Fuente de Internet

<1 %

77

Perez Navarrete Juan Carlos. "Calidad de energía y correlación del factor de potencia", TESIUNAM, 2006

Publicación

<1 %

78

[dspace.ups.edu.ec](http://dspace.ups.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

79

[graduados.uprrp.edu](http://graduados.uprrp.edu)

Fuente de Internet

<1 %

80

[itcelaya.edu.mx](http://itcelaya.edu.mx)

Fuente de Internet

<1 %

81

[mining.komatsu](http://mining.komatsu)

Fuente de Internet

<1 %

82

[pesquisa.bvsalud.org](http://pesquisa.bvsalud.org)

Fuente de Internet

<1 %

83	redi.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
84	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
85	www.arrow.com Fuente de Internet	<1 %
86	www.clubensayos.com Fuente de Internet	<1 %
87	xdocs.net Fuente de Internet	<1 %
88	Barrera Chavarria Mario Alberto, Guerrero Machuca José Gabriel. "Diagnostico energetico en el edificio del Centro de Computo y anexos de la Facultad de Estudios Superiores Aragon", TESIUNAM, 2005 Publicación	<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

# Evaluación de la eficiencia del transformador de 10 MVA de Las Bambas

---

INFORME DE GRADEMARK

---

NOTA FINAL

**/0**

COMENTARIOS GENERALES

**Instructor**

---

PÁGINA 1

---

PÁGINA 2

---

PÁGINA 3

---

PÁGINA 4

---

PÁGINA 5

---

PÁGINA 6

---

PÁGINA 7

---

PÁGINA 8

---

PÁGINA 9

---

PÁGINA 10

---

PÁGINA 11

---

PÁGINA 12

---

PÁGINA 13

---

PÁGINA 14

---

PÁGINA 15

---

PÁGINA 16

---

PÁGINA 17

---

PÁGINA 18

---

PÁGINA 19

---

## **DEDICATORIA**

A mi esposa y a mis hijos,  
porque me brindaron su apoyo, me comprendieron  
y tuvieron tolerancia y paciencia para que papá estudie  
y pueda cumplir su meta personal.  
A ellos, mi eterno amor y gratitud.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios,  
por haberme otorgado una familia maravillosa que ha creído en mí siempre  
y me dio ejemplos de superación, humildad y sacrificio,  
enseñándome a valorar todo lo que tengo.

A la Escuela Académica Profesional de Ingeniería de la Universidad Continental,  
por haberme permitido formarme en sus aulas.

A mis padres, Florencio Rivas Soriano y Modesta Soriano Villalva,  
por haberme dado su apoyo incondicional durante todos estos años.

A mi asesor, Ing. Rosario Jesús Márquez,  
por sus acertadas sugerencias y orientaciones en el campo metodológico de la  
Ingeniería Eléctrica,  
y porque con su destreza y sus habilidades me condujo al éxito de la investigación.

A los ingenieros de la empresa Las Bambas,  
por permitirme obtener datos importantes de las pruebas en sus instalaciones  
para la presente investigación.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	1
1.1 Planteamiento y formulación del problema .....	1
1.1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema.....	2
1.2.1 Problema general.....	2
1.2.2 Problemas específicos.....	2
1.3 Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Justificación e importancia .....	3
1.4.1 Justificación social.....	3
1.4.2 Justificación técnica.....	4
1.4.3 Justificación económica.....	4
1.4.4 Justificación teórica.....	5
1.5 Hipótesis y variables.....	5
1.5.1 Hipótesis general.....	5
1.5.2 Hipótesis específicas.....	6
1.6 Descripción de variables .....	6
1.7 Operacionalización de las variables.....	7
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	8
2.1 Antecedentes de la investigación.....	8

2.1.1 Nacionales.....	8
2.1.2 Internacionales.....	10
2.2 Bases Teóricas.....	12
2.2.1 Energía eléctrica.....	12
2.2.2 Eficiencia eléctrica.....	12
2.2.3 Eficiencia de un transformador eléctrico.....	13
2.2.4 Potencia nominal.....	15
2.2.5 Potencia activa.....	15
2.2.6 Factor de potencia.....	17
2.2.7 Potencia reactiva.....	19
2.2.8 Palas eléctricas.....	19
2.2.9 Sistema eléctrico.....	34
2.2.10 Transformador eléctrico.....	36
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	41
3.1 Método, tipo y nivel de la investigación.....	41
3.1.1 Método de la investigación.....	41
3.1.2 Tipo de investigación.....	41
3.1.3 Nivel de investigación.....	42
3.2 Diseño de la investigación.....	42
3.2 Población y muestra de la investigación.....	42
3.3.1 Población.....	42
3.3.2 Muestra.....	43
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	43
3.4.1 Técnicas.....	43
3.4.2 Instrumentos.....	43



3.5 Técnica de análisis de datos .....	43
3.5 Obtención de la información.....	44
3.6.1 Subestación de potencia.....	44
3.6.2 Pérdidas técnicas en el transformador de potencia.....	47
3.6.3 El factor de potencia del transformador de 10 MVA.....	48
3.6.4 Palas eléctricas del Centro Minero "Las Bambas".....	48
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	60
4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	60
4.1.1 Análisis de la información.....	60
4.1.2 Resultados del tratamiento.....	62
4.1.3 Cálculos eléctricos de rendimiento del transformador.....	65
4.1.4 Cálculo de la relación del transformador.....	69
4.1.5 Cálculos de pérdidas en el transformador.....	70
4.1.6 Discusión de resultados.....	71
4.1.7 Resultados de cálculos de caída de tensión.....	78
4.2 Análisis de resultados .....	88
4.3 Prueba de Hipótesis.....	89
CONCLUSIONES .....	90
RECOMENDACIONES.....	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Transformador eléctrico de distribución. ....	13
Figura 2. Elementos principales del transformador eléctrico .....	14
Figura 3. Triángulo de potencia .....	15
Figura 4. Onda senoidal para una carga resistiva .....	16
Figura 5. Onda senoidal para carga inductiva.....	16
Figura 6. Forma de onda del voltaje y la corriente para carga capacitiva .....	17
Figura 7. Pala eléctrica empleada en los centros mineros .....	20
Figura 8. Personal profesional y técnico del centro minero "Las Bambas" .....	21
Figura 9. Componentes de las palas eléctricas.....	23
Figura 10. Componentes de la base de las palas eléctricas.....	24
Figura 11. Componentes de la parte superior de las palas eléctricas.....	25
Figura 12. Componentes adicionales de las palas eléctricas.....	26
Figura 13. Componentes del balde.....	27
Figura 14. Componentes de estructura de la pala eléctrica.....	34
Figura 15. Sistemas eléctricos del centro minero "Las Bambas" .....	35
Figura 16. Transformador eléctrico que alimenta a la pala eléctrica.....	36
Figura 17. Transformadores de distribución 02 y 03 .....	36
Figura 18. Datos de placa de transformadores .....	37
Figura 19. Palas eléctricas en funcionamiento.....	37
Figura 20. Prueba de operación de las palas eléctricas .....	38
Figura 21. Infraestructura de la pala eléctrica del Centro Minero "Las Bambas" .....	38
Figura 22. Base de las palas eléctricas el Centro Minero "Las Bambas" .....	39
Figura 23. Tablero de distribución del sistema eléctrico .....	39
Figura 24. Componente superior de las palas eléctricas .....	40

Figura 25. Cables de conexión de las palas eléctricas .....	40
Figura 15. Transformador eléctrico que alimenta a la pala eléctrica .....	44
Figura 26. Transformador de Potencia de 10 MVA .....	46
Figura 27. Esquema eléctrico de la instalación del transformador .....	47
Figura 28. Movimientos principales de las palas eléctricas.....	48
Figura 29. Sistema de empuje del motor .....	50
Figura 30. Sistema de levante .....	50
Figura 31. Conjunto Mango-Balde .....	51
Figura 32. Sistema de empuje del motor de transmisión .....	51
Figura 33. Motores de las palas eléctricas .....	53
Figura 34. Sistema de giro .....	53
Figura 35. Componentes de la corona de giro .....	54
Figura 36. Sistema de levante-motor (2) de la pala eléctrica.....	54
Figura 37. Sistema de propulsión de la pala eléctrica.....	55
Figura 38. Componentes del sistema de propulsión .....	56
Figura 39. Cabina de transferencia .....	57
Figura 40. Cabina del operador.....	57
Figura 41. Parte interna de la cabina del operador.....	58
Figura 42. Cabina de control de la pala eléctrica.....	58
Figura 43. Esquema eléctrico del transformador .....	60
Figura 44. Infraestructura de las palas eléctricas .....	61
Figura 45 Pala eléctrica del centro minero .....	62
Figura 46. Conexión de las bobinas del transformador .....	62
Figura 47. Tablero general del transformador .....	63
Figura 48. Devanados primarios y secundarios del transformador.....	63
Figura 49. Cables de conexión al sistema eléctrico .....	64

Figura 50. Esquema eléctrico del motor de la pala eléctrica .....	64
Figura 51. Pérdida en el transformador.....	66
Figura 52. Conexión Y y 6 de los devanados del transformador.....	69
Figura 53. Bobinado de BT y AT del transformador.....	70
Figura 54. Ubicación del sistema de pre carga en la sala de máquinas .....	71
Figura 55. Medición de corriente con transformador de corriente .....	72
Figura 56. Medición de corriente con transformador de corriente de dos devanados	73
Figura 57. Dimensiones del transformador de corriente.....	73
Figura 58. Configuración de un transformador de corriente tipo exterior .....	75
Figura 59. Medición de voltaje con un transformador de potencia .....	76
Figura 60. Diagrama unifilar del sistema eléctrico de la Mina "Las Bambas" .....	77
Figura 61. Datos técnicos de los transformadores eléctricos.....	78
Figura 62. Características técnicas del transformador de 10 MVA.....	78
Figura 63. Conexiones del capacitor de acoplamiento y el transformador de potencial .....	81
Figura 64. Diagrama esquemático de la unidad de potencia .....	82
Figura 65. Diagrama esquemático del módulo de potencia IGBT.....	82
Figura 66. Sistema de potencia .....	83
Figura 67. Distribución de potencia de alta tensión.....	84
Figura 68. Desconector de alta tensión .....	84
Figura 69. Pararrayos de A.T. ....	85
Figura 70. Fusibles del transformador principal .....	85
Figura 71. Fusibles del transformador auxiliar .....	86
Figura 72. Fusibles del transformador auxiliar .....	86
Figura 73. Contactor del transformador principal (MTC) .....	87
Figura 74. Relés de falla a tierra del transformador principal .....	87

Figura 75. Esquema eléctrico del transformador y la pala eléctrica .....	88
Figura 76. Esquema eléctrico del transformador y dos palas eléctricas .....	88

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de variables .....	7
Tabla 2	Especificaciones técnicas del Transformador de 10MVA.....	46
Tabla 3	Componentes de las palas eléctricas .....	52
Tabla 4	Datos para transformadores de potencia.....	68
Tabla 5	Dimensiones de transformador de corriente .....	74
Tabla 6	Relación entre voltaje, corriente y capacidad de carga en kVA .....	80
Tabla 7	Datos de placa del transformador de potencia .....	83

## RESUMEN

El presente estudio de investigación trata sobre la evaluación de la eficiencia energética del transformador de 10MVA,22.9/7.62 KV que alimenta a las palas eléctricas del Centro Minero “Las Bambas”, ubicado a 3800 m.s.n.m., en la provincia de Cotabambas, región Apurímac, al suroeste de la ciudad imperial del Cusco. Se desarrolló sobre la base de una metodología que utiliza el método descriptivo, el cual permitió la obtención de la información requerida y el método analítico, en el que se analizó la eficiencia energética del transformador de 10 MVA. El tipo de investigación es básica con un nivel correlacional y de diseño no experimental. La eficiencia energética del transformador con las dos palas eléctricas es de 99 %, con una relación de transformación de 3.18, concluyendo que el transformador eléctrico de 10MVA, que alimenta a las palas eléctricas del centro minero de “Las Bambas”, de la región Apurímac, tiene una alta eficiencia energética, ya que, según el autor Cristián Guevara Vicuña, profesional acreditado en el registro de consultores INN del área Eficiencia Energética, cualquier transformador de potencia debe estar por encima de 95 %.

**Palabras clave:** Eficiencia energética, transformador eléctrico, palas eléctricas.

## ABSTRACT

The present research study deals with the evaluation of the energy efficiency of the 10MVA,22.9/7.62 KV transformer that feeds the electric shovels of "Las Bambas" Mining Center located at 3800 m.a.s.l. in the province of Cotabambas, Apurimac Region, southwest of the imperial city of Cusco. It was developed based on a methodology with a descriptive method which allowed obtaining the required information, analytical method in which the energy efficiency of the 10 MVA transformer was analyzed, the type of research is basic with a correlational level and non-experimental design. The energy efficiency of the transformer with the two electric blades is 99% with a transformation ratio of 3.18, concluding that the 10 MVA electric transformer, which feeds the electric blades of "Las Bambas" mining center in the Apurimac region, has a high energy efficiency.

**Key words:** Energy efficiency, electric transformer, electric shovels.



## INTRODUCCIÓN

El centro minero “Las Bambas”, sobre el cual se realiza el presente trabajo de investigación, está ubicado a 3,800 m.s.n.m., en la región Apurímac - Perú, es uno de los tres proyectos más importantes a nivel mundial de producción de cobre. Ubica al Perú en el segundo lugar de los productores de este mineral.

El presente trabajo de investigación ha sido desarrollado en los siguientes capítulos:

El capítulo I, explica el planteamiento del problema.

El capítulo II, determina el marco teórico de la investigación.

El capítulo III, describe la metodología aplicada al estudio de investigación.

El capítulo IV, comprende los resultados y la discusión del trabajo de investigación.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones del autor.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1 Planteamiento y formulación del problema

#### *1.1.1. Planteamiento del problema.*

La minería proporciona insumos para otros sectores industriales que son vitales para sostener el bienestar de la población y el funcionamiento de las economías globales. Al mismo tiempo, puede generar impactos sociales y ambientales, lo que podría comprometer la aceptación pública del sector. Dado este doble papel en la sociedad humana, la mejora del rendimiento de la sostenibilidad es un objetivo muy importante tanto para la industria como para la política de cada país que la presenta (1). Asimismo, la energía es considerada una de las claves para el desarrollo de un estado, es por ello que el crecimiento social y económico impone la integración de aspectos medioambientales para aparecer un sazon sostenible en la política energética (2).

El Perú es uno de los países más importantes que exportan minerales en todo el mundo, por ejemplo, es el tercer productor de zinc, sexto productor de oro, cuarto productor de plomo, segundo productor de cobre y tercer productor de plata. Además, de las exportaciones que se realizan en el país, el 60% corresponden a las exportaciones mineras (3).

En el Centro Minero Las Bambas, emplazado en la Región Apurímac, se evidencia una producción minera de gran magnitud, la producción de cobre antes de la crisis por COVID 19 era de 4,800 toneladas por hora. Durante la crisis por COVID-19 bajo la producción de mineral a 4,000 toneladas por hora, esperando recuperar gradualmente la producción de mineral después de la crisis por COVID-19. La energía

eléctrica es fundamental para el funcionamiento y producción en el Centro Minero Las Bambas, por tal motivo es evaluar la eficiencia del transformador eléctrico de 10 MVA el cual alimenta a las palas eléctricas, las cuales son máquinas eléctricas que realizan excavaciones y cargan material en las minas de superficie.

## **1.2 Formulación del problema**

### ***1.2.1 Problema general.***

¿Cómo se realizará la evaluación de la eficiencia energética del transformador eléctrico de 10MVA, que alimenta a las palas eléctricas del centro minero de “Las Bambas” de la región Apurímac?

### ***1.2.2 Problemas específicos.***

- ¿Determinar de qué manera la evaluación de la eficiencia **energética** del transformador eléctrico de 10MVA del Centro minero “**¿Las BAMBAS**” de **la Región Apurímac, influye en la determinación del incremento de potencia activa?**
- ¿Cuál será el rendimiento del transformador con las dos palas eléctricas?
- ¿Cómo influye la relación de transformación en la eficiencia?

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### ***1.3.1 Objetivo general.***

Evaluar la eficiencia energética del transformador eléctrico de 10MVA, que alimenta a las palas eléctricas del centro minero de “Las Bambas” de la región Apurímac.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos.***

- Determinar los datos técnicos de los transformadores y las palas eléctricas del centro minero “Las Bambas”.
- Determinar el rendimiento del transformador con las dos palas eléctricas.
- Establecer la relación de transformación en el transformador.

### **1.4 Justificación e importancia**

#### ***1.4.1 Justificación social.***

El presente trabajo de investigación se justifica socialmente por el requerimiento de garantizar la continuidad de producción del mineral, que, al mismo tiempo, contribuye de manera directa con el desarrollo social de la región Apurímac y del país, lo que se consolidará mediante la “Evaluación de la eficiencia energética del transformador de 10 MVA que alimenta a las palas eléctricas del Centro Minero “Las Bambas” de la Región Apurímac”.

#### ***1.4.2 Justificación técnica.***

Es indispensable efectuar la evaluación de la eficiencia del transformador de 10 MVA para continuar brindando una excelente calidad de servicio eléctrico y mantener el cumplimiento de todas las normas técnicas, como lo exigen las leyes emitidas por el Ministerio de Energía y Minas y reglamentos vigentes.

Osinergmin fiscaliza también el buen funcionamiento de los transformadores, con el fin de prevenir la sobrecarga de estos equipos y garantizar un buen nivel de eficiencia en su operación, en cumplimiento del Procedimiento N.º 091-2006-OS/CD vigente, de acuerdo con la norma técnica de calidad de los servicios eléctricos, actualizada con el Decreto Supremo N.º 020-97-EM, del 13 de setiembre de 2010, el desarrollo de las actividades de generación (centrales hidroeléctricas), transmisión,(mediante cables ) distribución y comercialización de la energía eléctrica (minerías,industrias etc) tienen que asegurar un buen nivel de calidad de servicios eléctricos, garantizando a los consumidores un suministro eléctrico continuo, adecuado, confiable y oportuno.

Las normas vigentes, desde el año 2016, exigen el cumplimiento de una eficiencia energética mayor al 80%, considerando pérdidas nominales en vacío y pérdidas debidas al 100 % de la carga.

#### ***1.4.3 Justificación económica.***

Es importante evaluar la eficiencia del transformador de 10 MVA para contribuir, de manera óptima, con el incremento económico en el sector minero de la región Apurímac, en función de la productividad anual, que influye de mucha importancia en el desarrollo y mejorar la económico de la población de Apurímac.

El transformador de potencia es un dispositivo electromagnético pasivo, que se caracteriza por estar siempre conectado a la red y por tener una vida útil muy larga, por eso es una inversión importante dentro de cualquier instalación de tipo minero, industrial, comercial o sanitaria. Sus pérdidas de energía tienen una gran importancia, desde el punto de vista económico y medio ambiental. Una mejora en la eficiencia de la máquina eléctrica estática, debido a su larga vida útil, puede generar un gran ahorro. En este trabajo de investigación, se han considerado los tipos de pérdidas muy importantes que se producen en el transformador y los factores que afectan el rendimiento de la máquina.

#### ***1.4.4 Justificación teórica.***

Se plantea como justificación teórica que, al realizar la evaluación de la eficiencia energética, se puede especificar cuál es el consumo energético que produce la utilización de las palas eléctricas, así como verificar cuál será el número de las mismas que se podrán agregar para incrementar la producción, sin incidir en un gasto energético excesivo.

### **1.5 Hipótesis y variables**

#### ***1.5.1 Hipótesis general.***

El transformador eléctrico de 10MVA, que alimenta a las palas eléctricas del centro minero de “Las Bambas” de la región Apurímac tendrá una alta eficiencia.

### **1.5.2 Hipótesis específicas.**

- Los datos técnicos de los transformadores y las palas eléctricas del centro minero “Las Bambas” serán obtenidos de las fichas técnicas.
- El rendimiento del transformador con las dos palas eléctricas será el adecuado.
- La relación de transformación en el transformador se determinará mediante los voltajes de salida y de entrada.

### **1.6 Descripción de variables**

#### **Variable dependiente:**

Eficiencia energética del Transformador eléctrico (%).

#### **Variable independiente:**

Potencia activa de la pala eléctrica. (MW).

## 1.7 Operacionalización de las variables

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

<b>VARIABLES</b>	<b>Características de las variables</b>	<b>Definición</b>	<b>Dimensiones o Categorías</b>	<b>Indicador</b>	<b>Instrumento</b>
<b>Eficiencia energética del transformador eléctrico</b>	Dependiente. Cuantitativa. Simple.	Rendimiento eléctrico del transformador en condiciones normales de operación.	Capacidad de potencia eléctrica entregada a la red eléctrica.	Factor de utilización (%)	Analizador de Redes
<b>Potencia activa de la pala eléctrica</b>	Independiente. Cuantitativa. Simple.	Producto del nivel de tensión por intensidad de corriente y factor de potencia del sistema eléctrico.	Capacidad de potencia útil, consumida por la carga.	Potencia consumida (MW)	Analizador de Redes



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

En los siguientes antecedentes, se muestran algunos estudios, tanto nacionales como internacionales, con respecto al tema de tesis.

##### 2.1.1 Nacionales.

Machaca y Coila (4), en su investigación titulada “*Estudio y análisis experimental de la calidad del suministro eléctrico de la Universidad Nacional del Altiplano, utilizando un analizador de redes-2016*”, tienen como objetivo principal realizar un análisis de la calidad del suministro energético de la Universidad Nacional del Altiplano, la investigación es descriptiva de tipo aplicada, dentro de los resultados se tiene que el transformador del campus llega a un voltaje de 231.83, por otro lado, la energía reactiva es de 0.75 con una frecuencia de 60 Hz y tiene unos armónicos con THDs de 2.4 9%, esto es un 5 % por debajo de lo acordado de NTCSE. Por lo que se tiene como conclusión que existen ciertas mejoras que se tiene que hacer a las instalaciones, puesto que tiene ciertos registros por debajo de la normativa NTCSE, a pesar su voltaje y frecuencia se encuentran dentro lo indicado.

Reginaldo (5), en su investigación titulada “*Evaluación de eficiencia energética de máquinas herramientas en el taller automotriz del IESTP Mario Gutiérrez López, Orcotuna-Concepción*”, tiene como principal objetivo evaluar la eficiencia energética de las máquinas herramientas del taller de mantenimiento automotriz. La investigación es tipo básica descriptiva simple, teniendo como resultado que ciertas máquinas cuentan con una eficiencia del 79 %, esto se traduce en una pérdida de potencia de hasta 4.98

kW; otras llegan a valores menores, como 0.39kW. Como conclusión, se tiene que ciertos motores de alta eficiencia mejoran los sistemas, logrando reducir las pérdidas de potencia hasta en un 75 %, así como un ahorro económico, llegando a S/ 192.33 mensuales de lo que se tenía inicialmente, S/ 212.57.

Chávarry (6), en su trabajo de investigación que lleva por título “*Eficiencia energética como factor de rentabilidad en las instalaciones de la Central Hidroeléctrica Callahuanca Lima-Perú*”, tuvo como objetivo principal realizar una implementación de mejoras para tener eficiencia energética y, de esta forma, aumentar la rentabilidad de las instalaciones. La investigación es de tipo aplicada exploratoria, por lo que se presenta como resultados que la central tiene una generación aproximada de 612GWh anualmente, por otro lado, la potencia efectiva llega hasta 84.165MW. Con la instalación de ciertas mejoras como casetas de protección o pararrayos, se obtuvo un ahorro energético de 191,635 kWh y dentro de la evaluación económica realizada se estimó un TIR de 73.91 %, con un costo beneficio de 2.78. Por lo que se concluye que la utilización de estrategias para incrementar la eficiencia energética siempre trae múltiples beneficios económicos, así como una reducción de los contaminantes por producción.

Supo (7), en su trabajo de investigación titulado “*Eficiencia energética del sistema de suministro de energía eléctrica en una planta minera de cobre del sur oriente peruano aplicando la norma ISO 500001*”, tuvo como principal objetivo hallar las formas relevantes para mejorar la eficiencia energética de una empresa del sector minero. La investigación es de tipo aplicada descriptiva, dentro de sus resultados se tiene que, con la propuesta de mejora, se llegaría a un ahorro de aproximadamente \$ 123,092.4 por año, asimismo, se llegó a un ahorro energético mensual de 3,718.54

MWh. Como conclusión, se tiene que, utilizando la normativa ISO 50001, se brindaron mejoras dentro de la evaluación de la eficiencia energética.

### **2.1.2 Internacionales.**

Potes, Jiménez, Proaño y Pesantez (8), en su investigación titulada *“Evaluación energética del sistema eléctrico para mejorar los indicadores de desempeño IDEn en la finca “La Cordillera” perteneciente al cantón Mejía, provincia de Pichincha”*, tienen como principal objetivo realizar una evaluación de la industria ganadera y, de esta manera, brinda una mejora en los indicadores de desempeño. La investigación es de tipo aplicada, donde se tiene como resultado que la utilización de energía reactiva procontactor ayudó a incrementar el factor de potencia hasta un 97.6 %, a la vez, se llegó a una cargabilidad del transformador de 21.66 %. Asimismo, el análisis económico demostró que se cuenta con TIR de 8.38 % y un costo beneficio de 1,04. Se concluye que la utilización de componentes para reducir la potencia reactiva, ayudan a incrementar el factor de potencia.

Holguín y Gomezcoello (9), en su investigación titulada *“Análisis de calidad de energía eléctrica en el “Nuevo Campus” de la Universidad Politécnica Salesiana”*, tienen como objetivo principal brindar una solución para corregir las variaciones de voltaje, así como los disturbios. La investigación es de tipo aplicada con un diseño no experimental, por lo que tuvo como resultado que el transformador alimentador es de 500 kVA y su máximo consumo llega hasta 210 kW, por otro lado su consumo promedio llega hasta 160kW. Asimismo, la variación de tensión está dentro de lo establecido de un  $\pm 10$  %. Se tiene como conclusión que la universidad cuenta con unas instalaciones eléctricas en un buen estado, puesto que los parámetros eléctricos hallados están bajo las condiciones esperadas.

Saldívar (10), en su trabajo de investigación titulado *“Estudio de niveles de eficiencia en transformadores de distribución en función del perfil de carga”*, tiene como principal objetivo brindar perfiles de carga que se encuentren estandarizados, considerando los perfiles reales dependiendo del tipo de transformador. La investigación es de tipo aplicada con un diseño no experimental, por lo que se tiene como resultado que la utilización de otro tipo de materiales en la parte activa., así como ciertos aspectos técnicos ayudan a incrementar la eficiencia de los transformadores. Sin embargo, el uso de este tipo de materiales genera un aumento en el precio de venta de los transformadores, por lo que puede producir pérdida de clientes en el mercado. Se concluye que el uso de materiales magnéticos que ayudan a incrementar la eficiencia puede traer grandes mejoras a pesar del incremento de precios.

Mora y Cevallos (11), en su investigación titulada *“Estudio y análisis de calidad de energía enfocada en nivel de armónicos en el sistema eléctrico de la subestación enfriadora 1 de HOLCIM Ecuador planta Guayaquil”*, tienen por objetivo principal identificar los problemas energéticos, considerando los armónicos de potencia. La investigación es de tipo aplicada descriptiva. Dentro de los resultados, se tiene que en los problemas encontrados se tiene variación de frecuencia en los ventiladores, calentamiento, generación de armónicos y pérdidas de transformador. Como conclusión, se tiene que es necesario realizar una revisión general, así como cambiar variadores, transformadores o incluir filtros de armónicos para evitar que los problemas se extiendan más.

Cajamarca y Sigua (12), en su investigación titulada *“Cargabilidad en transformadores de potencia, incidencia en la vida útil, pérdidas de energía y condiciones operativas”*, tienen como principal objetivo realizar un estudio en los transformadores, teniendo en cuenta sus características, así como la influencia que

tienen al ser sobrecargados. La investigación es descriptiva de tipo aplicada. Como resultado, se tiene que el TR1 tiene una capacidad de 12 MVA en horas picos, sin embargo, a fin de año llega a 11.07, por lo que es necesario la utilización de una refrigeración permanente, por otro lado, la normativa indica que la pérdida de vida útil es igual a la pérdida de capacidad nominal. Por lo que se concluye que no es recomendable superar la capacidad nominal de los transformadores, puesto que estos pierden vida útil, lo que se traduce en gastos.

## **2.2 Bases Teóricas**

### ***2.2.1 Energía eléctrica.***

Gómez, Tarlea y Gil (13), mencionan que la energía eléctrica es la intensidad de corriente que se produce por la diferencia de potencial entre dos puntos, consistente en la transmisión de electrones por un metal u otro material conductor, desde el punto de generación hasta el punto de consumo, el cual puede ser un punto de iluminación, una energía mecánica o térmica o cualquier otro tipo de consumo.

### ***2.2.2 Eficiencia eléctrica.***

La eficiencia eléctrica es un requisito importante de la calidad de servicio eléctrico, es directamente proporcional a la continuidad del servicio. Para lograr una continuidad de servicio del 100%, las condiciones de funcionamiento deben estar preparadas para soportar las fallas accidentales, del sistema como aquellas que se presentan en forma externa (13).

### 2.2.3 Eficiencia de un transformador eléctrico.

La eficiencia energética del transformador eléctrico se define sobre la base de la fórmula del rendimiento. El rendimiento de una máquina eléctrica ( $\eta$ ) es la relación existente entre la potencia aprovechada por la máquina (Potencia útil) y la potencia total que se le entrega (Potencia útil+ Pérdidas de potencia) (14).

$$\text{Rendimiento (\%)} = (P_u \times 100) / P_a$$

#### Figura 1.

*Transformador eléctrico de distribución.*

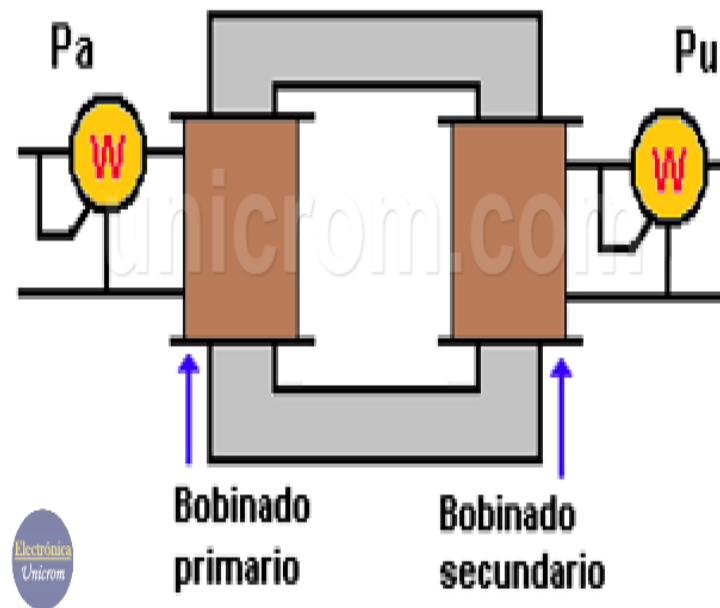


Cuanto mayor es el rendimiento , menores seran las pérdidas.

En el caso del transformador, el rendimiento es la potencia útil o del secundario dividida entre la potencia total entregada en el primario (15).

**Figura 2.**

*Elementos principales del transformador eléctrico*



*Nota:* Tomado de Trashorras, Jesús (15).

Fórmulas para el cálculo de la eficiencia energética

$$n = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{total}}}$$

$$n = \frac{P_{\text{útil}}}{P_u + P_p}$$

$$n = \frac{U_2 I_2 \cos \phi}{U_2 I_2 \cos \phi + P_{fe} + P_{cu}}$$

- $P_u$  = potencia útil (potencia de salida – bobinado secundario)
- $P_a$  = potencia absorbida. (potencia de entrada – bobinado primario)

Una forma más precisa de obtener el rendimiento de un transformador es tomar la potencia de salida ( $P_u$ ) y la suma de las potencias de: la entrada ( $P_a$ ,  $P_u$  en la fórmula), las pérdidas en el cobre ( $P_{cu}$ ) y las pérdidas en el hierro ( $P_{fe}$ ) (15).

- $\eta$  = Eficiencia energética

### 2.2.4 Potencia nominal.

Es la capacidad total consumida por la carga y es igual a la suma de vectores de la capacidad activa más la reactiva, su unidad es en (VA) (16).

- Para circuitos monofásicos:

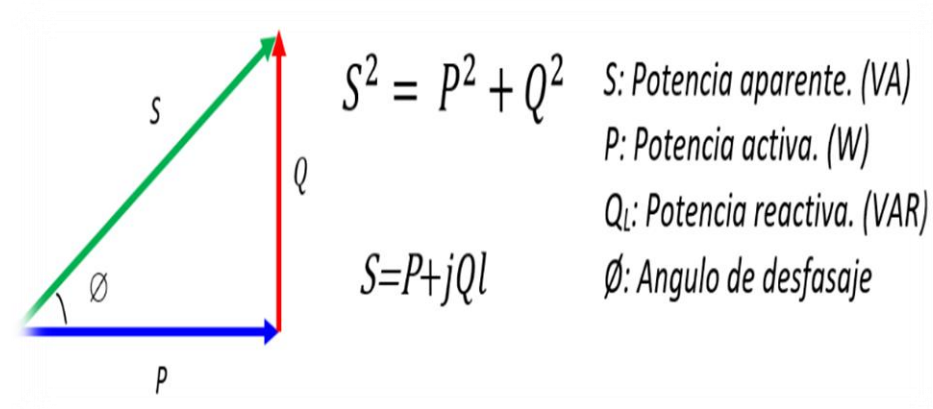
$$P = I.V$$

- Para circuitos trifásicos:

$$P = \sqrt{3}.I.V$$

**Figura 3.**

*Triángulo de potencia*



### 2.2.5 Potencia activa.

#### **Tipos de carga**

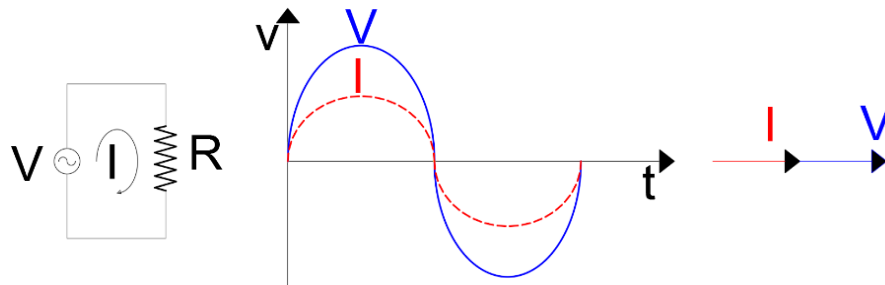
- Cargas resistivas

En este tipo de cargas, el ángulo de desfase de la onda senoidal del voltaje respecto de la corriente es cero, quiere decir que está en fase (16).



**Figura 4.**

*Onda senoidal para una carga resistiva*

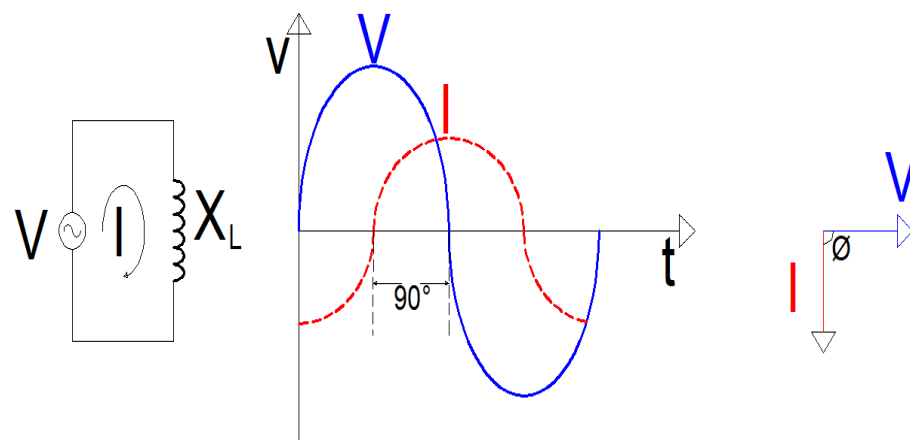


- Cargas inductivas

En este tipo de cargas comúnmente bobinas, la corriente es atrasada respecto al voltaje en  $90^\circ$ , este efecto se produce porque la bobina requiere crear un campo magnético en un material (16).

**Figura 5.**

*Onda senoidal para carga inductiva*

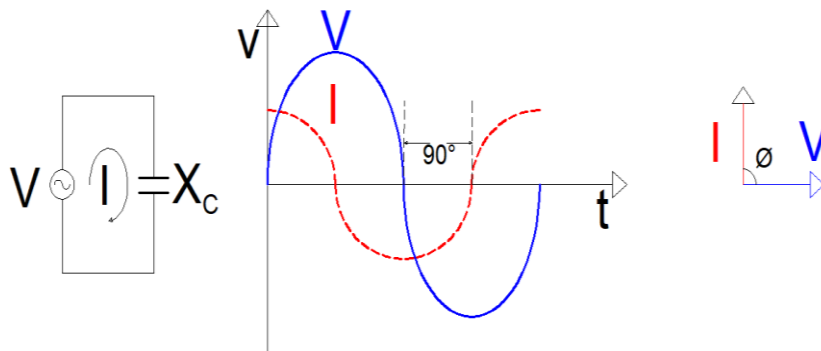


- Cargas capacitivas

Generalmente se utilizan capacitores para este tipo de carga, la corriente es adelantada respecto al voltaje en  $90^\circ$ , este efecto se produce porque el capacitor recolecta energía en forma de campo eléctrico (16).

**Figura 6.**

*Forma de onda del voltaje y la corriente para carga capacitiva*



**2.2.6 Factor de potencia.**

También conocido como coseno “fi” si en el sistema no presenta armónicos, que viene hacer la relación entre la potencia activa (P) con la potencia aparente (S) Ya que se trata del coseno de fi puede tomar valores desde -1 hasta 1 (17).

Formula de factor de potencia:

$$f.p. = \cos\phi = \frac{P}{S}$$

Para realizar el cálculo del factor de potencia de un sistema eléctrico se puede determinar mediante dos propuestas.

### Propuesta 1:

Aplicando los valores de Energía Activa y Energía Reactiva a la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Si: } \tan\theta &= Q/P \Rightarrow \theta = \tan^{-1}(Q/P) \\ \therefore f.d.p. &= \cos\theta = \cos(\tan^{-1}(Q/P)) = \\ & \cos(\tan^{-1}(KVARh/KWh)) \end{aligned}$$

Si:

$$\begin{aligned} \cos\theta &= P/S; \text{ Si } S^2 = P^2 + Q^2 \\ \therefore f.d.p. &= \cos\theta = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}} = \frac{P_{KWh}}{\sqrt{(P_{KWh})^2+(Q_{KVARh})^2}} \end{aligned}$$

### Propuesta 2:

Aplicando instrumentos de medición que toman lectura directa de los valores de factor de potencia, como la pinza batimétrica, el analizador de redes o el cosfímetro.

Consecuencias generadas por un bajo factor de potencia:

#### Pérdidas económicas

No es posible inyectar energía reactiva capacitiva al sistema eléctrico y el costo de facturación comprenderá el total de energía reactiva capacitivo total multiplicada por el doble costo unitario del cargo por energía reactiva inductiva (17).

#### Causas de las pérdidas técnicas

1. Pérdidas por efecto joule (calentamiento cables y bobinados, disparo de protecciones, etc.).
2. Sobrecarga de generadores, transformadores y líneas de distribución.

3. Aumenta la caída de tensión (cables de alimentación, bobinados y sistema de protección y control).
4. Incrementado de la facturación eléctrica debido a penalizaciones.

### **2.2.7 Potencia reactiva.**

La potencia reactiva consumida en un determinado tiempo resulta en energía reactiva, que será facturada si supera el 30 % de la energía activa total del mes.

La facturación del exceso de energía reactiva inductiva viene a ser el exceso por el costo unitario (expresado en S/. /KVAR.h) (16).

$$\text{Facturación} = \text{kVAR.h en exceso} \times \text{CER}$$

$$\text{CER} = (\text{Costo de energía reactiva})$$

### **2.2.8 Palas eléctricas.**

Las palas eléctricas son máquinas eléctricas diseñadas específicamente para efectuar excavaciones en los centros mineros y cargar material en las minas de superficie.

**P&H 4100XPC**

**Carga útil nominal de 108.9 tm (120 tc)**

**Capacidad nominal del balde de 52.8 a 61.2 m<sup>3</sup> (de 69 a 82 yd<sup>3</sup>)**

## **Figura 7.**

*Pala eléctrica empleada en los centros mineros*



Las palas eléctricas de la gran minería se constituyen con motores eléctricos de gran potencia, engranajes reductores, tambores y cables especiales para realizar todos los movimientos requeridos para desarrollar las actividades de excavación, carga y propulsión de materiales obtenidos en la minería.

Estas palas eléctricas varían según su capacidad, son diseñadas desde 25 m<sup>3</sup> hasta 63 m<sup>3</sup> o desde 33yds<sup>3</sup> hasta 82yds<sup>3</sup> para ser empleadas en rocas normales o estandarizadas.

Las palas eléctricas se componen de tres partes importantes, la parte inferior, la parte superior y el implemento de balde.

Las palas eléctricas de cable son equipos empleados en producción de gran envergadura, y su disponibilidad mecánica es elevada.

Estas palas eléctricas cargan el material sobre camiones de grandes dimensiones y gran tonelaje y por lo tanto están consideradas como máquinas de gran capacidad de carga de material.

Importancia de las palas eléctricas:

El trascendental crecimiento de las inversiones privadas en el sector minero del país, está en relación directa de las leyes, normas y reglamentos que rigen este movimiento económico; pero, especialmente, el requerimiento de lograr excelentes niveles de confiabilidad y rentabilidad de la producción minera justifica el estudio de una buena evaluación energética que alimenta a las palas eléctricas del sector minero de la región Apurímac y por ende del país. Por lo tanto el desarrollo de investigación es importante.

### **Figura 8.**

*Personal profesional y técnico del centro minero "Las Bambas"*



## **Estructura de las palas eléctricas**

### **Infraestructura**

Las palas de cable tienen una infraestructura montada sobre dos carros de orugas, lo que les permite posicionarse adecuadamente en los lugares de trabajo, y trasladarse a baja velocidad. (18)

En este conjunto, va instalado el mecanismo de traslación y dirección, aunque en algunos equipos el motor correspondiente vaya montado en la plataforma superior. Todo el equipamiento eléctrico va por la infraestructura (18).

### **Superestructura**

Sobre la infraestructura, se instala la superestructura giratoria, que consiste en una plataforma capaz de girar en 360 grados en ambos sentidos. La superestructura está cubierta por un habitáculo cerrado y presurizado, que impide la entrada de polvo en los sistemas de accionamiento y control, tanto de la función de carga como de la de giro montadas sobre ella (18).

En la parte delantera del habitáculo, se ubica el equipo frontal de excavación y la cabina del operador. En la trasera está el contrapeso (18).

### **Estructuras de operación**

La operación de carga de una pala de cable se realiza mediante la combinación de dos funciones ejecutadas por dos mecanismos distintos (18):

Mecanismo de elevación, que trabaja mediante el cable de elevación que se enrolla en su correspondiente tambor.

Mecanismo de empuje / retroceso, que se realiza por medio de un mecanismo piñón y cremallera instalado en la pluma o también mediante cables y un tambor montado en la superestructura, todos accionados por motores eléctricos.

La descarga se realiza una vez que la superestructura ha girado hasta situarse sobre la unidad de transporte (camión). En ese momento, un motor eléctrico ubicado en la pluma acciona, mediante un cable, el cerrojo de la compuerta para descargar el material (18).

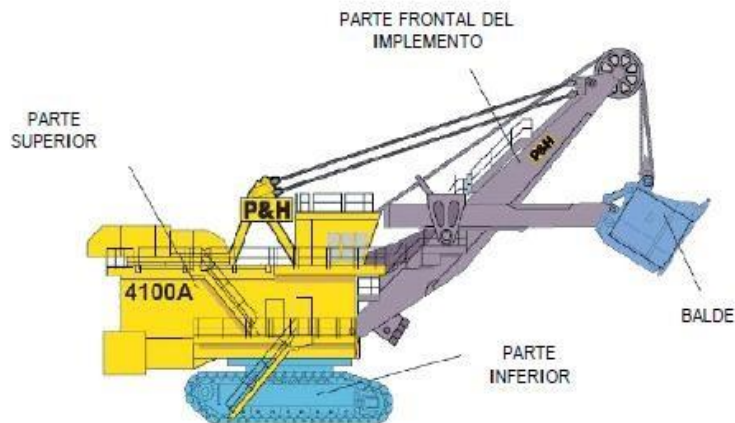
### Componentes de la pala eléctrica

Las palas eléctricas se componen de cuatro partes principales (18):

- Parte frontal
- Parte superior
- Parte Inferior
- Balde

### Figura 9.

#### *Componentes de las palas eléctricas*



*Nota:* Tomado de Manual del Operador (15)

La parte baja provee una base estable para la máquina e incluye un sistema de orugas para su propulsión y una corona para el sistema de giro (18).

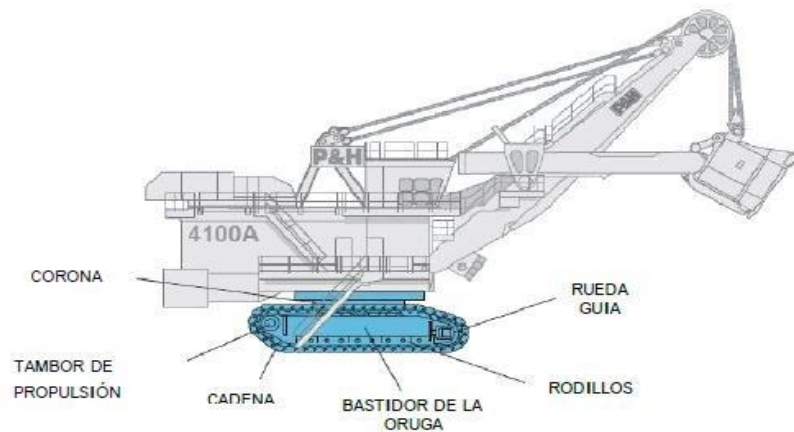
Por otro lado, la parte inferior se divide en (18):



- Corona.
- Tambor de propulsión.
- Bastidor de la oruga.
- Rodillos.
- Rueda guía.
- Cadena.

**Figura 10.**

*Componentes de la base de las palas eléctricas*



*Nota:* Tomado de Manual del Operador (18)

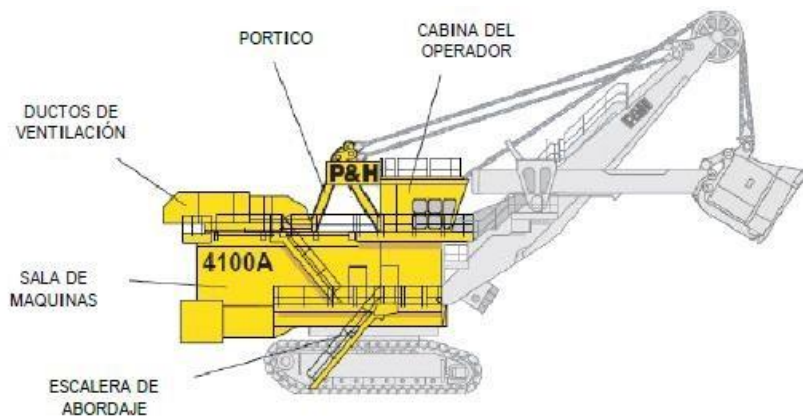
En la parte superior de las palas eléctricas, encontramos los siguientes componentes (18):

- Cabina del operador.
- Pórtico.
- Ductos de ventilación.
- Sala de máquinas.
- Escalera de abordaje.

La parte superior provee una plataforma para comandar y monitorear la máquina, la pluma para el implemento, los gabinetes del control electrónico, la cabina del operador y soporte de los equipamientos (18).

**Figura 11.**

*Componentes de la parte superior de las palas eléctricas*



*Nota:* Tomado de Manual del Operador (18)

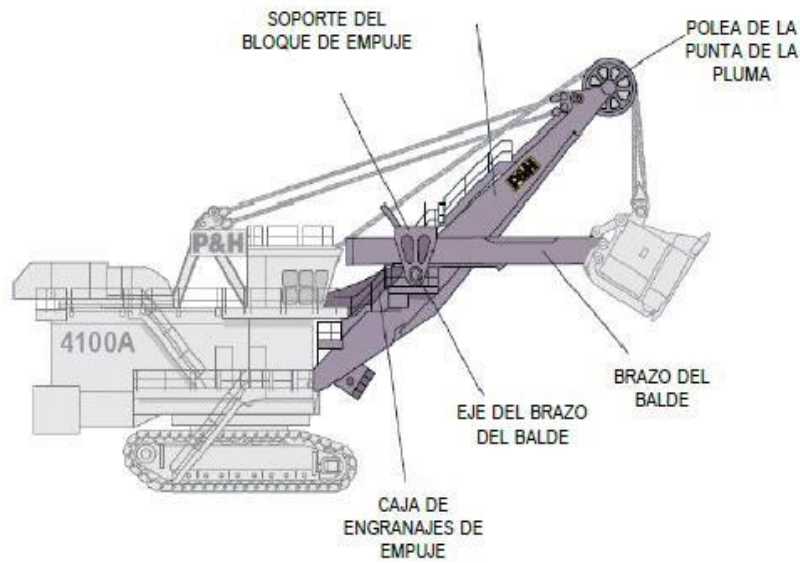
En la parte frontal, las palas eléctricas cuentan con los siguientes elementos:

- Soporte del bloque de empuje.
- Polea de la punta de la pluma.
- Caja de engranajes de empuje.
- Eje del brazo del balde.
- Brazo del balde.

El implemento consiste en la pluma, el empuje del balde y el asa del balde.

## Figura 12.

### *Componentes adicionales de las palas eléctricas*



*Nota:* Tomado de Manual del Operador (18)

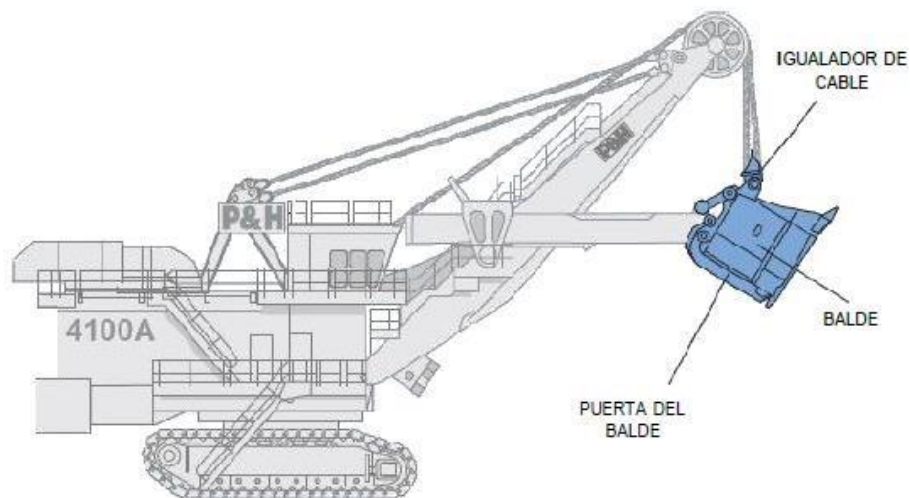
La estructura del balde cuenta con las siguientes partes:

- Igualador de cable.
- Balde
- Puerta del balde.

El balde sirve para cargar el material y descargarlo en el vehículo de acarreo.

### Figura 13.

#### Componentes del balde



Nota: Tomado de Manual del Operador (18)

### Sistema de control eléctrico

Las características del sistema de control eléctrico son (18):

Electrical Drive ratings:

- (50°C, 2000m) Drive Power
- IGBT Supply Unit (ISU) 4550 kVA
- Crowd Motion 1160 kVA
- Hoist Motion 4640 kVA
- Propel Motion 2320 kVA
- Swing Motion 2320 kVA
- Power Requirements
- Supply Voltage\* 7200 or 13800V 6000, 6600, 7200 or 11000
- 3 Phase, 60 Hz 3 Phase, 50 Hz.
- Supply Transformer (Minimum) 3750 kVA
- Minimum Short Circuit VA Available at Shovel 30 MVA
- Voltage per customer requirements

## **Transformador**

- Main Transformer 4000 kVA
- Auxiliaries Transformer 400 kVA
- Control/Lighting Supply Winding 50 kVA
- Note: Transformer capacities may vary depending on options
- Lighting
- Standard:
  - Metal Halide, 400 W, high intensity discharge (HID)
  - primary exterior floodlights (11) mounted on the operator's cab, RH room, LH room and machinery house. Secondary exterior floodlight combination of Halogen, 500 W (3) and fluorescent lights (6) mounted under revolving frame. Incandescent lights (5) outside cab and house doors and (1) inside operator's cab.
  - Fluorescent lights (23) illuminate interior of the machinery house, RH and LH room.
- Optional:
  - High Pressure Sodium, 400 W or 1000 W primary exterior floodlights.

## **Ventajas de las palas de cable**

Las características más significativas de las palas de cable son las siguientes

(18):

- Pueden excavar a alturas entre los 10 y 20 m.
- Pueden descargar a alturas entre los 6 y 12 m.
- Poseen un sistema de traslación sobre una oruga y su accionamiento es eléctrico.

- La excavación se realiza mediante la combinación de dos movimientos: elevación y empuje.
- Son máquinas pesadas y robustas, adecuadas para trabajar en cualquier tipo de material.
- Permiten el arranque directo de materiales compactos, aunque en muchos casos se acondiciona el material a la carga mediante voladura.
- Tienen alta fiabilidad, debido a un diseño ampliamente probado, con buena disponibilidad y utilización efectiva.
- Pueden remontar pendiente reducidas, pero no es aconsejable que operen inclinadas debido a posibles problemas en el sistema de giro de la máquina.
- Presentan buena estabilidad y suavidad en la operación.
- Proporcionan una buena mezcla en dirección vertical, durante la carga, debido a la forma de excavar, ya que la forma de movimiento de la pala hacia el material es, primero, horizontal, penetrando la pila de material tronado, y segundo, subiendo el balde en forma casi vertical hasta lograr llenarlo.
- Presentan buen rendimiento, incluso en malas condiciones de piso, ya que operan sin desplazarse sobre él.
- Ofrecen al operador una muy buena visibilidad durante la operación, además de condiciones de alta seguridad.
- Tienen una larga vida útil, estimada en más de 60.000 horas de operación.

### **Limitaciones de las palas de cable**

Algunas de sus desventajas son (18):

- No son adecuadas para cargas selectivas de material.
- Presentan una reducida capacidad de excavación (menos que las orugas).
- Requieren de un equipo auxiliar que constantemente mejore la pila de material por cargar. Generalmente son tractores sobre orugas (bulldozer) o ruedas.
- Requieren operadores altamente calificados.

- Pueden dificultar las labores, puesto que las mantenciones se realizan en la misma faena minera.
- Por su alto precio, sólo son consideradas en proyectos de gran escala y duración.

### **Sistemas y mecanismos de funcionamiento**

La alimentación a las palas electricas de cable, en alta tensión, se realiza desde la red principal de distribución. La tensión de dicha red (15 a 45 kV) es muy superior a otros equipos como las excavadoras (3,3 a 7,2 kV), por lo que se reduce la tensión mediante un transformador normalmente una subestación móvil y situada en el area de excavación minera. El cable flexible que llega a la máquina por la parte trasera conduce la corriente a la superestructura giratoria, donde se encuentran la mayoría de los mecanismos y todos los sistemas de mando y control (18).

### **Accionamiento eléctrico**

Cuando la electricidad se introdujo como fuente de energía por razones de rendimiento y costo, su empleo se hizo en corriente continua. La utilización de motores de corriente continua, en vez de alterna, se hizo porque el par de salida por amperio consumido es máximo y su doble alimentación suministraba control y flexibilidad lo suficientemente buenos. La relación entre par (intensidad) y velocidad (tensión) de estos motores los hacía ideales para esta aplicación (18).

### **Superestructura giratoria**

En la plataforma de la superestructura van instalados todos los sistemas de mando y control eléctrico de los distintos mecanismos. En su parte delantera están implantados los apoyos de la pluma, el soporte y estructura principal del equipo de

excavación y del bastidor en "A", que mantiene a la pluma en posición mediante los cables de suspensión. Como estos apoyos son flexibles y la pluma puede ser elevada, para casos de una elevación descontrolada o la aplicación de excesivo empuje existe un interruptor "fin de carrera" que impide que la pluma caiga sobre la máquina (18).

### **Mecanismo de elevación**

La elevación del balde de la pala se hace siempre mediante cables, por lo que el mecanismo está compuesto por uno o dos motores eléctricos y una transmisión por engranajes que llegan hasta el tambor de enrollamiento, controlando el balde de buena forma (18).

El mecanismo de elevación lleva un freno de zapata, accionado por un muelle, que permite mantener el balde elevado durante los desplazamientos de la máquina. El freno se quita neumáticamente para trabajar desde la cabina del operador mediante el control eléctrico (18).

### **Mecanismos de empuje y retroceso del balde**

Existen diferentes mecanismos para accionar el empuje del balde. Las palas marca Bucyrus transmiten al brazo los movimientos de empuje y retroceso en la excavación mediante cables. El mecanismo que los acciona va situado en el centro del lado delantero de la superestructura (18).

Otro sistema consiste en un mecanismo de piñón y cremallera, accionado por un motor eléctrico o hidráulico. Todo el conjunto va montado al aire sobre la pluma, cerca de la guíadera, por lo que aumenta la inercia en el giro de la máquina (18).

### **Mecanismo de giro**



La pala eléctrica tiene un giro de 360 grados, en cualquiera de las direcciones, de toda la superestructura respecto de la infraestructura apoyada sobre el suelo. El movimiento generado por motores, situados verticalmente en la plataforma superior. La transmisión se realiza por medio de engranajes rectos, cuyo último eje atraviesa la superestructura (18).

### **Mecanismo de traslación y dirección**

Si bien para los equipos pequeños el mismo motor de elevación sirve para hacer la traslación, los diseños modernos instalan motores independientes de traslación en la parte trasera de la infraestructura. Un motor único con transmisión independiente para cada oruga, frenos y embragues de mandíbulas o discos, suministra las direcciones deseadas (18).

Incluye una Infraestructura y bastidores de oruga las cuales consisten en una robusta estructura que soporta toda la máquina, montada en dos bastidores de orugas sobre los que la pala realiza los desplazamientos (18).

Sobre ella gira la superestructura encargada de ejecutar la carga y descarga del balde, estando el eje de giro o pivote central alojado en el centro de la infraestructura. Para ello, ésta lleva en su parte superior la corona dentada de giro y la pista inferior del círculo de rodillos (18).

Poseen un sistema neumático, mediante el cual el aire comprimido que acciona los frenos y embragues es producido por un grupo moto compresor situado dentro de la cabina presurizada de la plataforma giratoria. El motor es de corriente alterna a baja tensión (18).

Los cables de accionamiento se dividen en cables de empuje y retroceso, los cuales son independientes, pero poseen un tambor de enrollamiento en común, pues forman un conjunto accionado por el mismo motor (18).

El ajuste o tensado del sistema se realiza sobre el de retroceso, mediante un mecanismo en el brazo, una vez que el de empuje ha sido convenientemente fijado. Ambos cables son del mismo diámetro y tienen longitudes distintas (18).

La sustitución de los cables de accionamiento es un factor importante en el mantenimiento del equipo, por lo que se deben establecer frecuencias de reemplazo, ya sea por horas trabajadas o toneladas cargadas. No obstante, si por simple observación se ve en mal estado, deben tomarse las medidas pertinentes (18).

El balde se sitúa en el extremo del brazo y está unido a él mediante pernos que permiten facilitar su reemplazo o modificar la inclinación (18).

Montado sobre un brazo (empuje/retroceso), el balde es elevado por los cables amarrados a él, que pasan por las poleas situadas en el extremo de la pluma (18).

En referencia con el brazo del balde, éste transmite la fuerza de empuje necesaria para penetrar en el material por cargar, para lo que se desliza en una guidera pivotante, permitiendo realizar cortes completos con distintos perfiles de excavación (18).

Por lo general, los baldes son robustos y pesados de acuerdo con las exigencias del trabajo. Los aceros de alta resistencia utilizados poseen pesos específicos de 1.500 kg/m<sup>3</sup> (18).

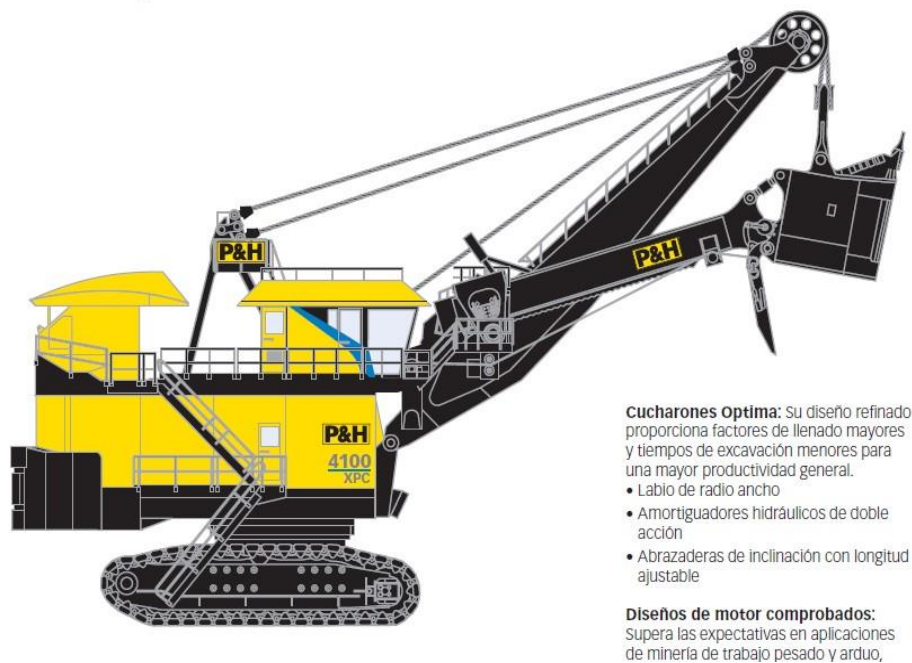
La geometría de diseño de baldes de los diferentes fabricantes puede variar significativamente, por lo que es muy importante considerar los siguientes 5 parámetros (18):

- Ángulo de ataque.

- Ángulo de excavación.
- Anchura de balde.
- Altura del balde.
- Profundidad del balde.

**Figura 14.**

*Componentes de estructura de la pala eléctrica*



*Nota:* Tomado de Catálogo del fabricante

### **2.2.9 Sistema eléctrico.**

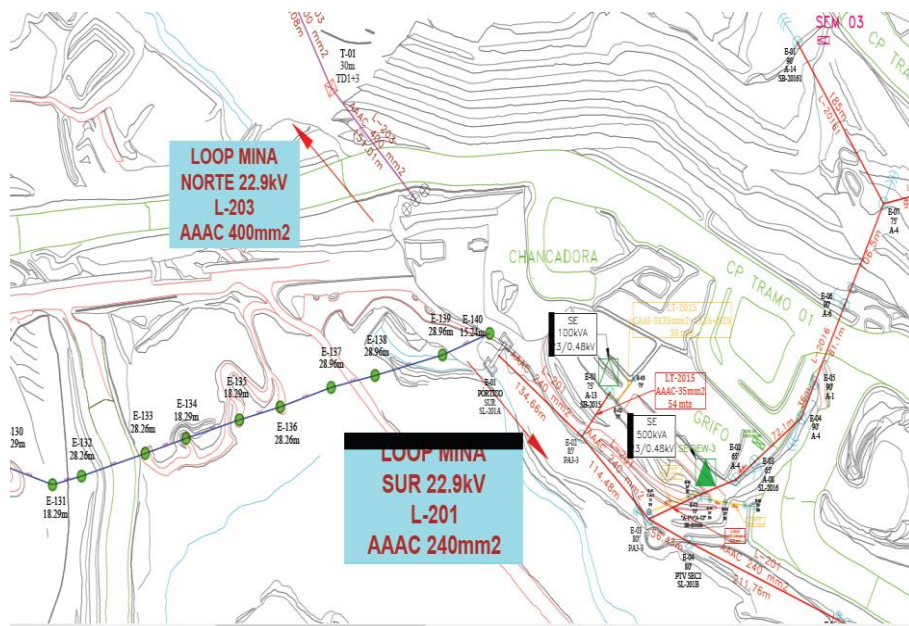
El sistema eléctrico de potencia es el conjunto de instalaciones y equipos para producir, transportar y distribuir energía eléctrica a los usuarios de una zona, ciudad, región o país. (19)

En el presente estudio, se considera el sistema eléctrico del centro minero Las Bambas de la Región Apurímac, que se encarga de alimentar a todas las máquinas y

dispositivos eléctricos empleados en este centro minero, pero de manera especial a las palas eléctricas, que son máquinas de mayor consumo eléctrico y que promueven la producción del material minero en esta región del país.

**Figura 15**

*Sistemas eléctricos del centro minero "Las Bambas"*



## 2.2.10 Transformador eléctrico.

**Figura 16.**

*Transformador eléctrico que alimenta a la pala eléctrica*



**Figura 17.**

*Transformadores de distribución 02 y 03*



**Figura 18.**

*Datos de placa de transformadores*



**Figura 19.**

*Palas eléctricas en funcionamiento*





**Figura 20.**

*Prueba de operación de las palas eléctricas*



**Figura 21.**

*Infraestructura de la pala eléctrica del Centro Minero "Las Bambas"*



**Figura 22.**

*Base de las palas eléctricas el Centro Minero "Las Bambas"*



**Figura 23.**

*Tablero de distribución del sistema eléctrico*





**Figura 24.**

*Componente superior de las palas eléctricas*



**Figura 25.**

*Cables de conexión de las palas eléctricas*



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Método, tipo y nivel de la investigación**

##### ***3.1.1 Método de la investigación.***

###### **Método Descriptivo**

El método descriptivo se aplicó para obtener información requerida sobre las palas eléctricas, el transformador eléctrico, el sistema eléctrico, la demanda máxima, la eficiencia energética actual y la información relacionada con el funcionamiento del sistema de distribución de energía eléctrica.

###### **Método Analítico**

Este método se aplicó para efectuar el análisis de la eficiencia energética del transformador de 10 MVA que alimenta el sistema eléctrico del centro minero “Las Bambas” y las consecuencias por incremento de potencia eléctrica relacionada con el número de palas eléctricas.

##### ***3.1.2 Tipo de investigación.***

El tipo de investigación es básica, tiene como propósito mostrar o examinar el conocimiento científico y en base al cual se aporta con una ampliación de la misma en relación a los eventos de la realidad, según la investigación en desarrollo. Según Salkind (2006), quien considera que es la aplicación del conocimiento en hechos reales.

### ***3.1.3 Nivel de investigación.***

En base al problema identificado y a la disponibilidad de las herramientas de investigación, el nivel de la investigación empleado es correlacional.

Para, Hernández Sampiere, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2006), el propósito principal de una investigación correlacional es saber cómo se puede comportar un concepto o variable, reconociendo el comportamiento de otra u otras variables relacionadas entre sí.

## **3.2 Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación es no experimental, correlacional -causal, de acuerdo a la teoría de Hernández Sampiere, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2006), el diseño correlacional-causal tienen como objetivo determinar la influencia y los valores en que se manifiesta una o más variables.

El procedimiento consiste en medir las variables planteadas y proporcionar los valores de causa – efecto, las cuales son fundamentales para analizar, evaluar y tomar decisiones.

## **3.2 Población y muestra de la investigación**

### ***3.3.1 Población.***

La población, es el transformador eléctrico de 10 MVA del Centro Minero Las Bambas, de la Región Apurímac.

Para Salazar Córdova (2008), la población es el total de elementos sobre el cual queremos hacer una inferencia basándonos en la información relativa de la muestra.

### **3.3.2 Muestra.**

La muestra también es el Transformador de 10 MVA del sistema eléctrico que alimenta a las palas eléctricas del Centro Minero Las Bambas de la Región Apurímac, según Salazar (2008), como se explica en la determinación de la población.

## **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **3.4.1 Técnicas.**

Para la recolección de datos de las variables, se utilizó la Técnica Documental, que permitió la recopilación de evidencias para demostrar la hipótesis de investigación, que están formados por documentos de diferentes tipos como; esquemas eléctricos, planos eléctricos, reportes de mediciones, reportes técnicos, registro de datos, memorias, información estadística, base de datos y otros requeridos para el desarrollo de la presente investigación.

### **3.4.2 Instrumentos.**

Para la variable independiente y dependiente, se utilizó como instrumentos: equipos de medición, registros de lecturas de parámetros técnicos, fichas estadísticas, reportes técnicos, analizadores de redes, etc.

## **3.5 Técnica de análisis de datos**

Para la evaluación de la información se aplicó el proceso normalizado de acuerdo con los cálculos estandarizados y al cumplimiento de las normas técnicas vigentes.

### 3.5 Obtención de la información

#### 3.6.1 Subestación de potencia.

El transformador de potencia del centro minero” Las Bambas” es tipo pedestal, instalado a la intemperie y es el encargado de alimentar a las palas eléctricas, las cuales promueven la producción del material minero en esta región del país.

#### Figura 26.

*Transformador eléctrico que alimenta a la pala eléctrica*



El sistema de protección y maniobra está provisto de los siguientes elementos:

Lado Primario. Seccionadores, fusibles y pararrayos.

Lado Secundario. Disyuntores y/o fusibles, instalados en un tablero de distribución ubicado junto a los transformadores.

Puesta a tierra. Las partes metálicas de la subestación están conectadas a tierra. El neutro, está instalado a una tierra independiente.

Señales de peligro. Placas metálicas en las que se indica el peligro de muerte.

Principales equipos de la subestación en media tensión:

1. Seccionadores tipo CUT - OUT de entrada.
2. Interruptores de Potencia.
3. Transformadores de Corriente
4. Transformadores de Potencial
5. Fusibles para sistema de medición.
6. Disyuntores de protección del transformador.
7. Transformador de Potencia.
8. Buses o barras de conexión.
9. Aisladores soporte.
10. Conexión a tierra.

El transformador presenta las siguientes especificaciones mostradas en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Especificaciones técnicas del Transformador de 10MVA*

ÍTEM	PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
01	N.º SERIE	CR.13 – 15021
02	POTENCIA NOMINAL	10/12.5 MVA
03	ORDEN DE COM PRA	LO4366
04	TENSIÓN – PRIMARIO	22.9 KV
05	TENSIÓN –SECUNDARIO	7.2 – 4.16 KV
06	TENSIÓN – CONTROL	125 VDC
07	CB – ENTRADA	01/22.9 KV
08	CB – SALIDAS	03/ 7.2 KV

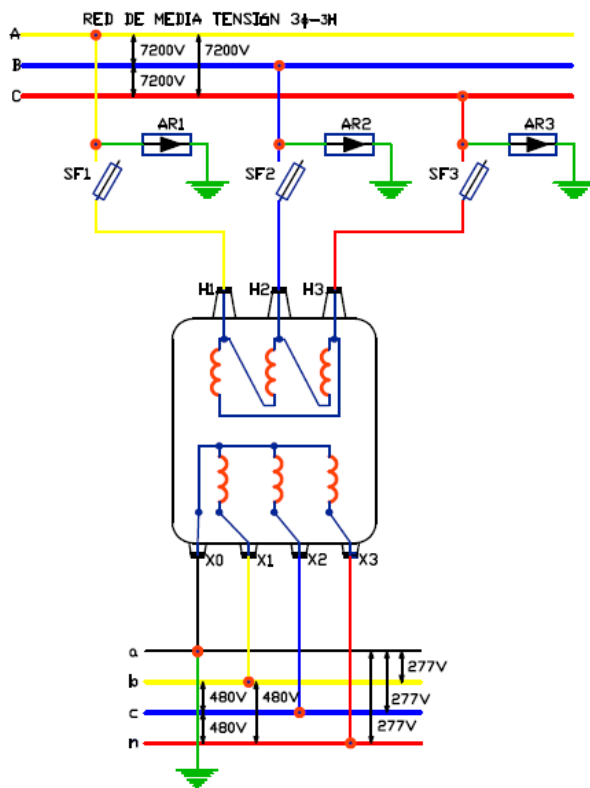
**Figura 27.**

*Transformador de Potencia de 10 MVA*



**Figura 28.**

*Esquema eléctrico de la instalación del transformador*



### **3.6.2 Pérdidas técnicas en el transformador de potencia.**

Las pérdidas en el transformador se dividen básicamente en las pérdidas de cobre y pérdidas de hierro.

Las pérdidas de cobre se producen en los devanados del transformador y dependen del nivel de la carga, son conocidas como el fenómeno por efecto Joule, al paso de la corriente por los devanados del transformador, se han calculado en función al producto del cuadrado de la corriente y la resistencia de los devanados.

Las pérdidas en el hierro se obtienen mediante ensayos en vacío dejando al transformador abierto y se emplea el vatímetro para medir el valor.



### 3.6.3 *El factor de potencia del transformador de 10 MVA*

La eficiencia del transformador también está en relación directa con el factor de potencia. El transformador de 10 MVA se encuentra en un nivel óptimo, su valor actual es 0.89 y contribuye a una buena calidad de energía.

### 3.6.4 *Palas eléctricas del Centro Minero "Las Bambas".*

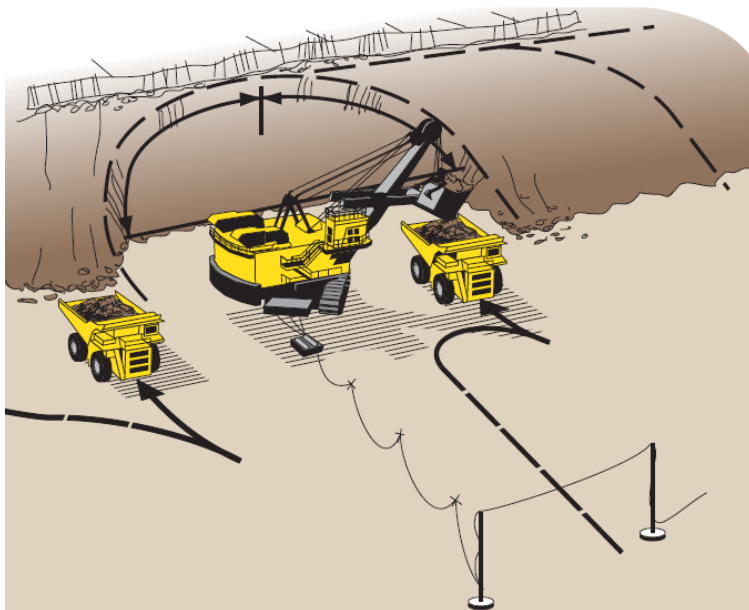
#### **Movimientos principales de las palas eléctricas**

Los movimientos principales de las palas eléctricas son:

- Movimiento de empuje (Crowd)
- Movimiento de Giro (Swing)
- Movimiento de levante (Hoist)
- Movimiento de avance (Propel)

**Figura 29.**

*Movimientos principales de las palas eléctricas*



Los movimientos principales de las palas eléctricas, dependiendo del modo de trabajo, son los siguientes:

a) Crowd (1 Motor)

El movimiento de empuje (Crowd) proporciona la fuerza de empuje necesaria para forzar el balde dentro del banco

b) Swing (3 Motores)

El movimiento de Giro (Swing) involucra girar la sobreestructura de la pala hasta que el balde se encuentre sobre el camión

c) Hoist (2 Motores)

El movimiento de levante (Hoist) es la tensión aplicada a los cables de levante para tirar el balde a través del banco

d) Propel (2 Motores)

El movimiento de avance (Propel) se usa para reubicar la pala con el fin de mantener una posición de excavación apropiada respecto al banco

**Sistemas de las palas eléctricas**

a) Sistema de empuje (Crowd)

Motor (1) – Transmisión (individual)

Drive Armadura (compartido)

Crowd/Propel2

Convertidor Crowd (compartido)

Crowd/Propel2

Drive de Campo (compartido)

Crowd/Propel

Resolver angular

Cabina de transferencia

Conjunto Shipper Shaft-Mango-Correderas

**Figura 30.**

*Sistema de empuje del motor*



**Figura 31.**

*Sistema de levante*

Upper



Lower

Attachment

**Figura 32.**

*Conjunto Mango-Balde*



b) Sistema de empuje

Motor – Transmisión - Piñón

**Figura 33.**

*Sistema de empuje del motor de transmisión*

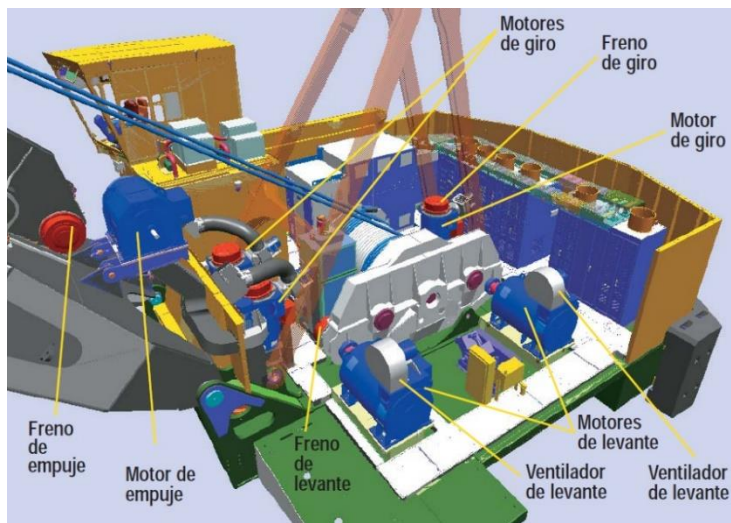


**Tabla 3***Componentes de las palas eléctricas*

Pala 4100XPC/AC		Pala 4100XPC/AC	
Tabla pesos componentes		Tabla pesos componentes	
Componente	Peso (kg)	Componente	Peso (kg)
Gabinete alto voltaje	1.497	Sala lubricación	2.199
Cables suspensión	5.405	Eje swing	2.468
Motor Hoist	7.031	Cable levante	2.830
Corredora	7.423	Zapatas	3.373
Cabina operador	8.772	Pin Central	4.105
Corona giro	9.662	Motor swing	4.554
Cabina control	9.943	Corredera	7.053
Transf. Principal	15.059	Shipper Shaft	7.530
Gabinete de filtros	15.649	TxPropel	10.805
Base y motores propel	16.080	Polea punta pluma	11.000
TxHost	23.315	Gantry	16.284
Tambor Hoist	26.680	Calugas contrapesa	22.680
Rear room	32.013	Calugas contrapeso	22.270
Mango	44.226	Pluma	72.349
Cajón contrapeso	46.267	Bastidores	75.568
Pluma	72.348	Carbody	89.357
Revolving frame	103.421	Pluma vestida	112.266

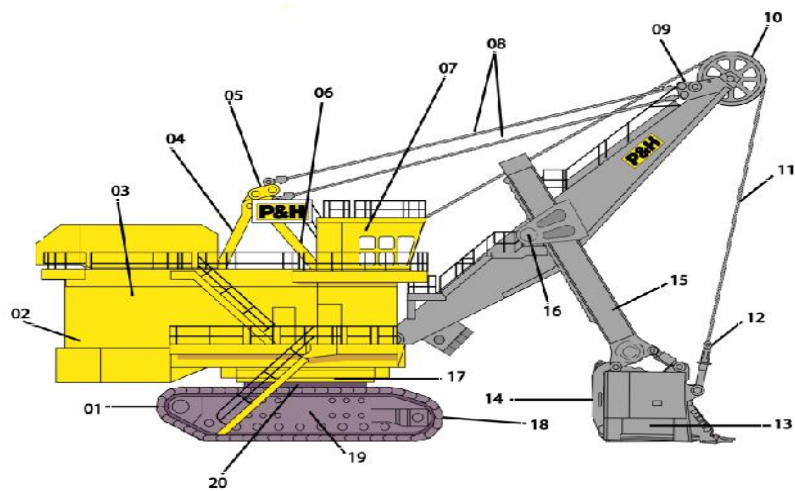
**Figura 34.**

*Motores de las palas eléctricas*



**Figura 35.**

*Sistema de giro*



c) Sistema de giro (Swing)

Motor (3) – Transmisión (individual)

Drive Armadura (Exclusivo)

Convertidor Swing (Exclus)

Drive de Campo (Exclusivo)

Resolver angular

Conjunto Corona de Giro

**Figura 36.**

*Componentes de la corona de giro*



d) Sistema de levante (Hoist)

**Figura 37.**

*Sistema de levante-motor (2) de la pala eléctrica*





Motor (2) – Transmisión (Compartida)

Drive Armadura

Hoist1/Propel1 (Compartido)

Hoist2 (Exclusivo)

Drive de Campo (Exclusivo)

Resolver angular

Cabina de transferencia

Convertidores

Convertidor Hoist1/Propel1

Convertidor Hoist2

Conjunto Tambor-Cables de Levante

e) Sistema de propulsión (Propel)

**Figura 38.**

*Sistema de propulsión de la pala eléctrica*





Motor (2) – Transmisión (Individual)

Drive Armadura

Hoist1/Propel1 (Compartido)

Crowd/Propel2 (Compartido)

Drive de Campo (Compartido)

Crowd/Propel

Cabina de Transferencia

Convertidores

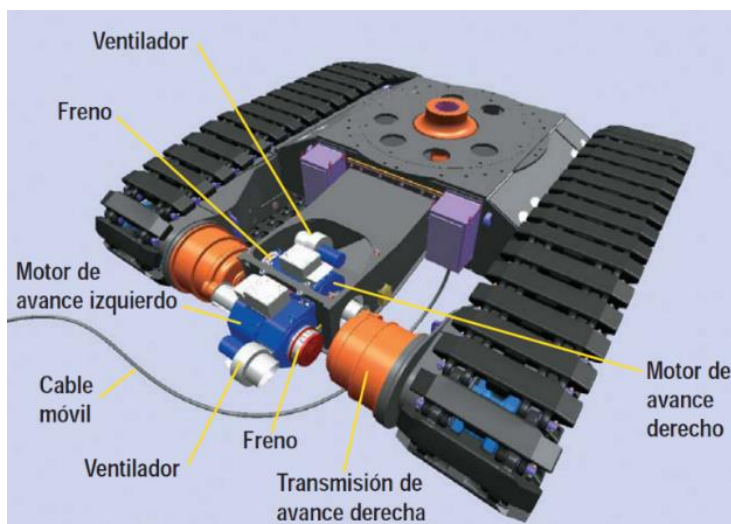
Convertidor Hoist1/Propel1

Convertidor Crowd/Propel2

Conjunto Orugas - Lower

**Figura 39.**

*Componentes del sistema de propulsión*



**Figura 40.**

*Cabina de transferencia*



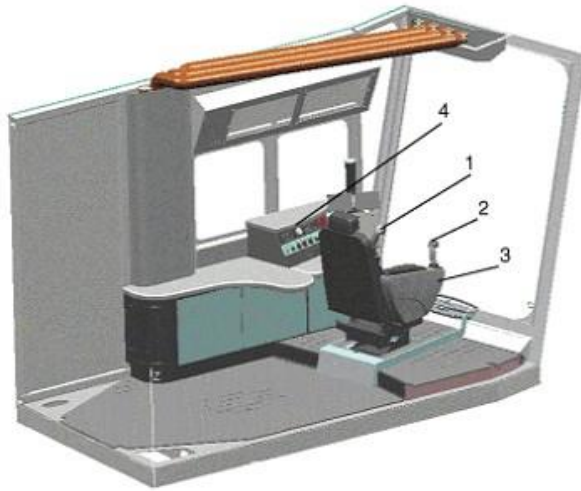
**Figura 41.**

*Cabina del operador*



**Figura 42.**

*Parte interna de la cabina del operador*



f) Distribución de componentes de las palas eléctricas

Cabina de Alta Tensión

**Figura 43.**

*Cabina de control de la pala eléctrica*



Transformador Principal

Transformador Auxiliar

Cabina RPC

Cabina Convertidores

Motores de Giro

Tambor y Tx de Levante

Motores de Levante

Cabina de control

Sala de Lubricación

Anillos Colectores

Código de Localización

Cada componente tiene una ubicación en el esquemático

La primera letra identifica el Gabinete

Localización del Sub-Ensamblado del componente

# CAPÍTULO IV

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información

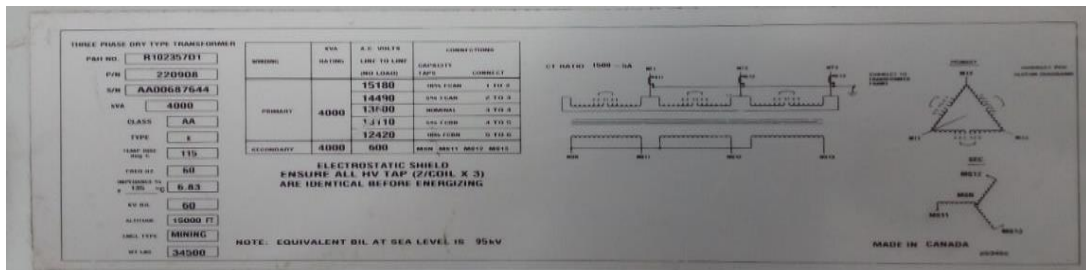
#### 4.1.1 Análisis de la información.

Electric Shovel 4100XPC

- Equipo electromecánico
- Función: Cargar camiones de gran Tonelaje en el menor tiempo posible
- capacidad nominal del balde de 52.8 a 61.2 m<sup>3</sup> y es el equipo ideal para camiones de carga de 218 a 363 tm (de 240 a 400 toneladas cortas) y sistemas de trituradora-transportadora de alta capacidad (más de 8000 tph)

**Figura 44.**

*Esquema eléctrico del transformador*



**Figura 45.**

*Infraestructura de las palas eléctricas*



La pala eléctrica de cable modelo P&H 4100XPC, proporcionada por Komatsu Mining Corp. a la megaoperación de cobre acantonada en Apurímac, tiene una carga útil nominal de 108.9 toneladas métricas, una capacidad nominal del balde de 52.8 a 61.2 m<sup>3</sup> y es el equipo ideal para camiones de carga de 218 a 363 tm (de 240 a 400 toneladas cortas) y sistemas de trituradora-transportadora de alta capacidad (más de 8000 tph) en la mina.

**Figura 46**

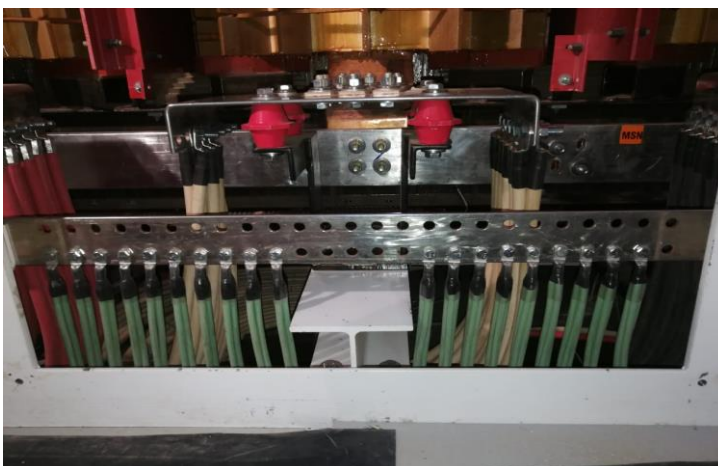
*Pala eléctrica del centro minero*



**4.1.2 Resultados del tratamiento.**

**Figura 47.**

*Conexión de las bobinas del transformador*





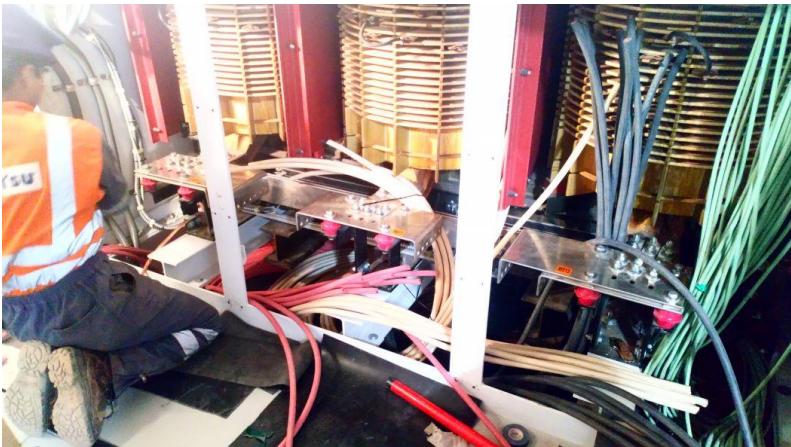
**Figura 48.**

*Tablero general del transformador*



**Figura 49.**

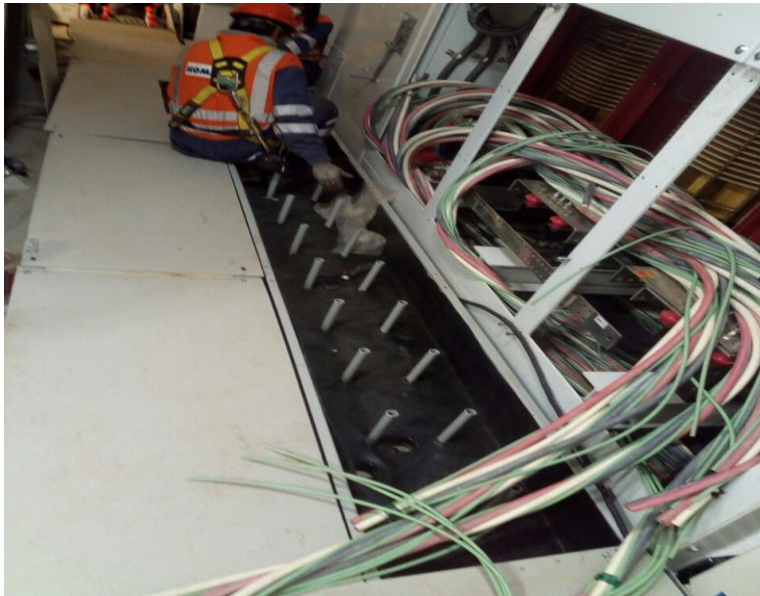
*Devanados primarios y secundarios del transformador*





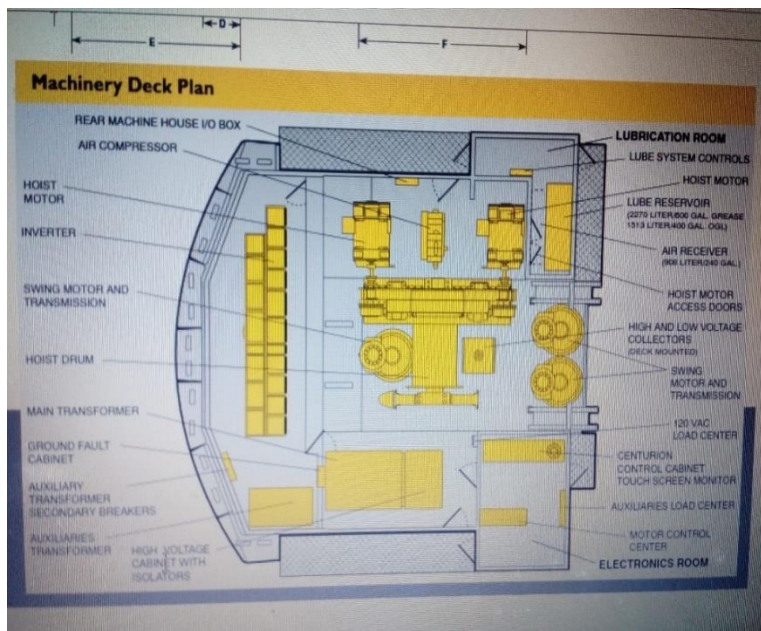
**Figura 50.**

*Cables de conexión al sistema eléctrico*



**Figura 51.**

*Esquema eléctrico del motor de la pala eléctrica*



#### 4.1.3 Cálculos eléctricos de rendimiento del transformador.

$$n = \frac{\text{Potencia útil}}{\text{Potencia total}}$$

$$n = \frac{\text{Potencia útil}}{\text{Potencia útil} + P_{fe} + P_{cu}}$$

Donde:

$n$  = rendimiento

$P_{fe}$  = Pérdidas de potencia en el hierro

$P_{cu}$  = Pérdidas de potencia en el cobre

$P_u$  = Potencia útil =  $S \cdot \cos \phi$

#### Cálculo del rendimiento del transformador con dos palas eléctricas

Conectando las dos cargas (palas eléctricas al transformador eléctrico se obtiene los siguientes datos

Se tiene un  $\cos \phi = 0.85$  y una potencia nominal de 10 MVA, por lo tanto

$$\text{f. p.} = \cos \phi = \frac{P}{S}$$

$$0.85 = \frac{P}{10 \text{ MVA}}$$

$$P = 8.5 \text{ MW}$$

Pérdidas en el Fe ( $P_{fe}$ ) = 15.2 kW

Pérdidas en el Cu ( $P_{cu}$ ) = 7.5 kW

Por lo que las pérdidas totales son:

$$P_t = 8.5 \text{ MW} + 0.0152 \text{ MW} + 0.0075 \text{ MW}$$

$$P_t = 8.52 \text{ MW}$$

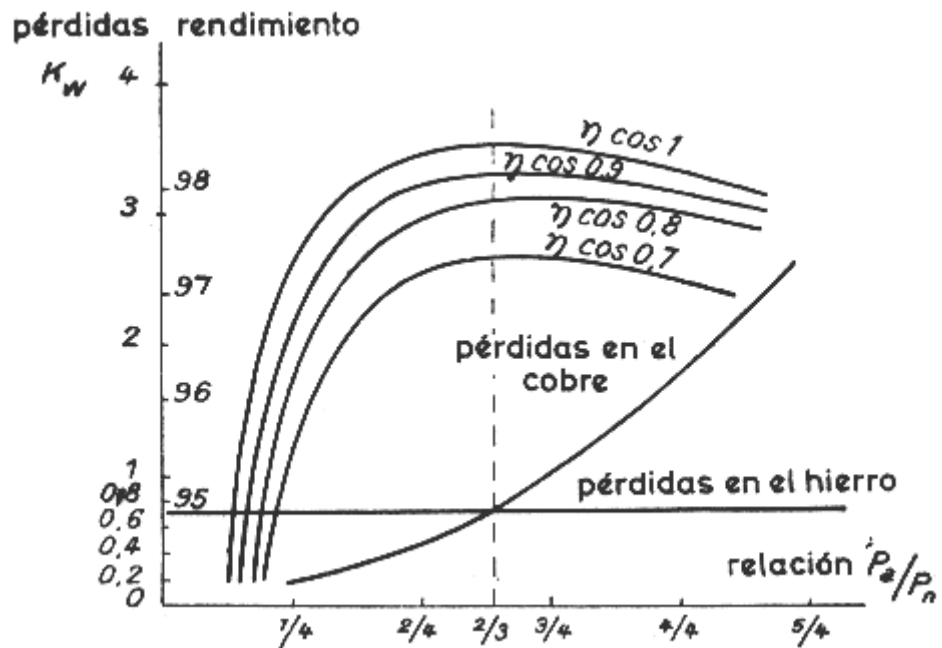
$$n = \frac{8.5 \text{ MW}}{8.5 \text{ MW} + 0.0152 \text{ MW} + 0.0075 \text{ MW}}$$

$$n = 0.99$$

$$n = 99\%$$

**Figura 52.**

*Pérdida en el transformador*



Nota: Tomado de Internet

$$\eta = \frac{\sqrt{3}V_2I_2 \cos \varphi_2}{\sqrt{3}V_2I_2 \cos \varphi_2 + P_{Cu} + P_{Fe}}$$

$$\eta = \frac{\sqrt{3}V_2I_2 \cos \varphi_2}{\sqrt{3}V_2I_2 \cos \varphi_2 + P_{Cu} + P_0}$$

PCu= Pérdidas en el Cu (por efecto joule)

PFe= Pérdidas en el Fe

Pcc= Prueba de cortocircuito para I2n

P0= Prueba en vacío

**Especificaciones técnicas:**

Potencia nominal: 10 MVA

Rendimiento máximo, con  $\cos \phi = 1$

Pérdidas en el hierro = 15.20 Kw

Relación  $I_0/I_n = 4,4 \%$

Caída por resistencia = 0.9 %

Caída inductiva = 5,5%

**Tabla 4***Datos para transformadores de potencia*

Potencia	kVA	25	50	100	160	250	400	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	
Grupo de conexión		Yzn11	Yzn11	Yzn11	Yzn11	Dyn11	Dyn11	Dyn11	Dyn11	Dyn11	Dyn11	Dyn11	Dyn11	Dyn11	
Hasta 24 kV	Pérdidas en vacío	W	115	190	320	460	650	930	1300	1550	1700	2130	2600	3100	3800
	Pérdidas en carga a 75°C	W	700	1100	1750	2350	3250	4600	6500	8100	10500	13500	17000	20200	26500
	Tensión de cortocircuito	%	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
	Corriente de vacío 100%	%	4	3.5	2.5	2.3	2	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1	0.9
	Corriente de vacío 110%	%	8.5	7.5	6	5.5	5	4.8	4.5	4	3.6	3	2.5	2.4	2.3
	Potencia acústica	dB(A)	49	52	56	59	62	65	67	68	68	70	71	73	76
Hasta 36 kV	Pérdidas en vacío	W	160	230	380	520	780	1120	1450	1700	2000	2360	2800	3300	4100
	Pérdidas en carga a 75°C	W	800	1250	520	2550	3500	4900	6650	8500	10500	13500	17000	20200	26500
	Tensión de cortocircuito	%	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	6	6	6	6	6	6
	Corriente de vacío 100%	%	5.2	2.8	3	2.5	2.4	2.2	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1
	Corriente de vacío 110%	%	15	10	8	7	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.6	2.5
	Potencia acústica	dB(A)	52	52	56	59	62	65	67	68	68	70	71	73	76

Nota: Tomado de Fabricante

4.1.4 Cálculo de la relación del transformador.

$$\frac{V_{FP}}{V_{FS}} = m$$

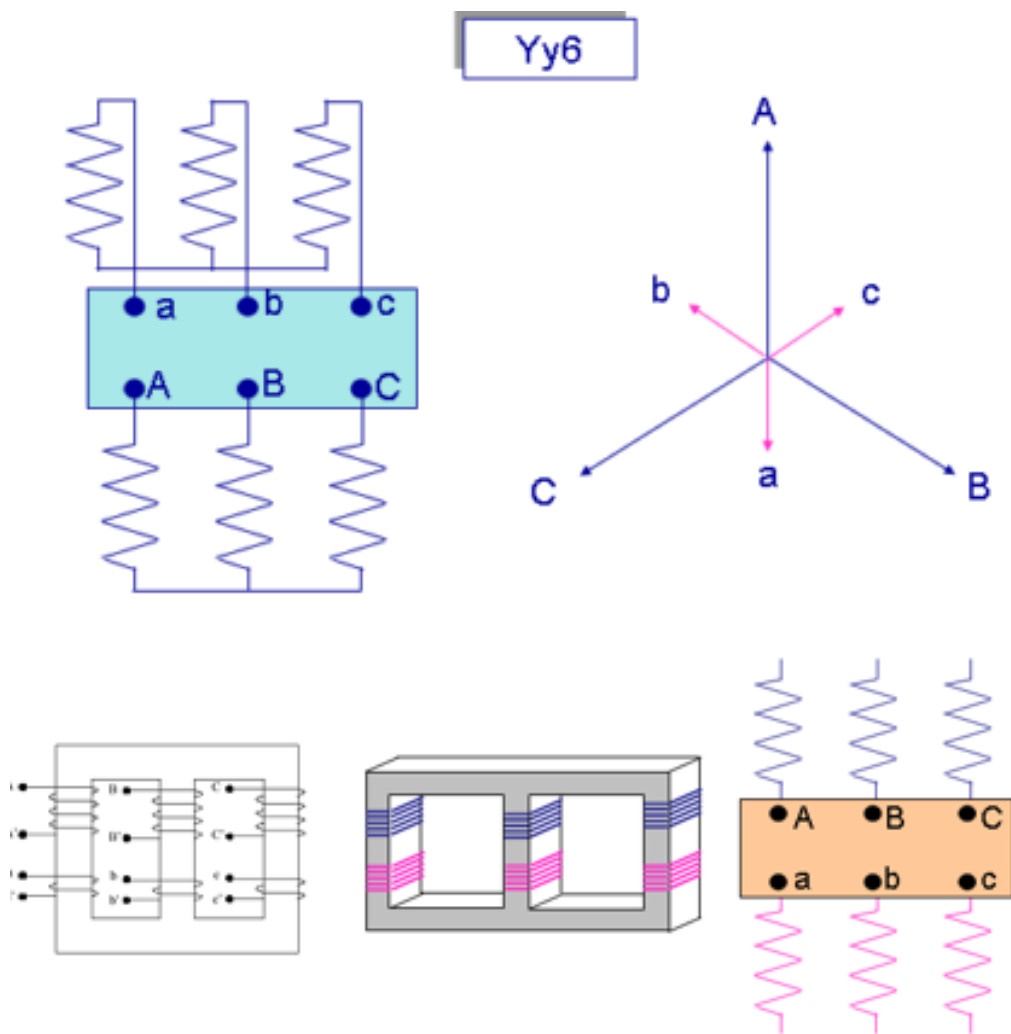
$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3} \times V_{FP}}{\sqrt{3} \times V_{FS}} = m$$

$$\frac{22.9 \text{ kV}}{7.2 \text{ kV}} = m$$

$$3.18 = m$$

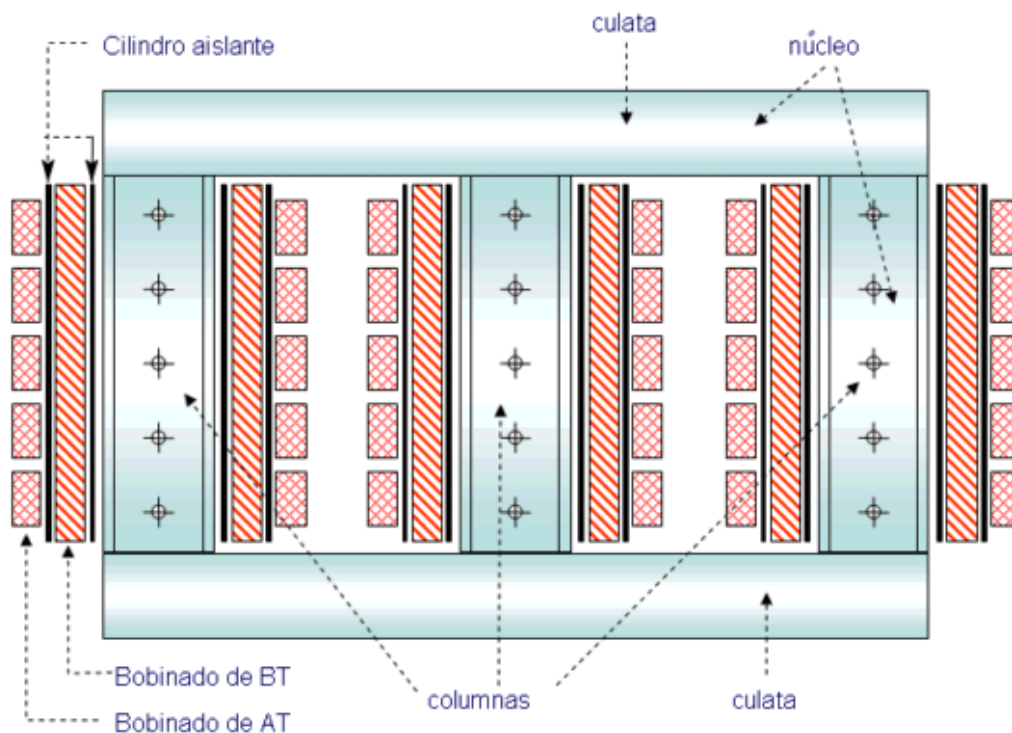
Figura 53.

Conexión Y y 6 de los devanados del transformador



**Figura 54.**

*Bobinado de BT y AT del transformador*



#### **4.1.5 Cálculos de pérdidas en el transformador.**

$$P_{p1} = I_1^2(R_1)$$

Donde:

$P_{p1}$  = Pérdidas en el transformador devanado primario

$I_1$  = Corriente en el transformador devanado primario

$R_1$  = Resistencia del devanado primario

$$P_{p2} = I_2^2(R_2)$$

Donde:

$P_{p2}$  = Pérdidas en el transformador devanado secundario

$I_2$  = Corriente en el transformador devanado secundario

$R_2$  = Resistencia del devanado secundario

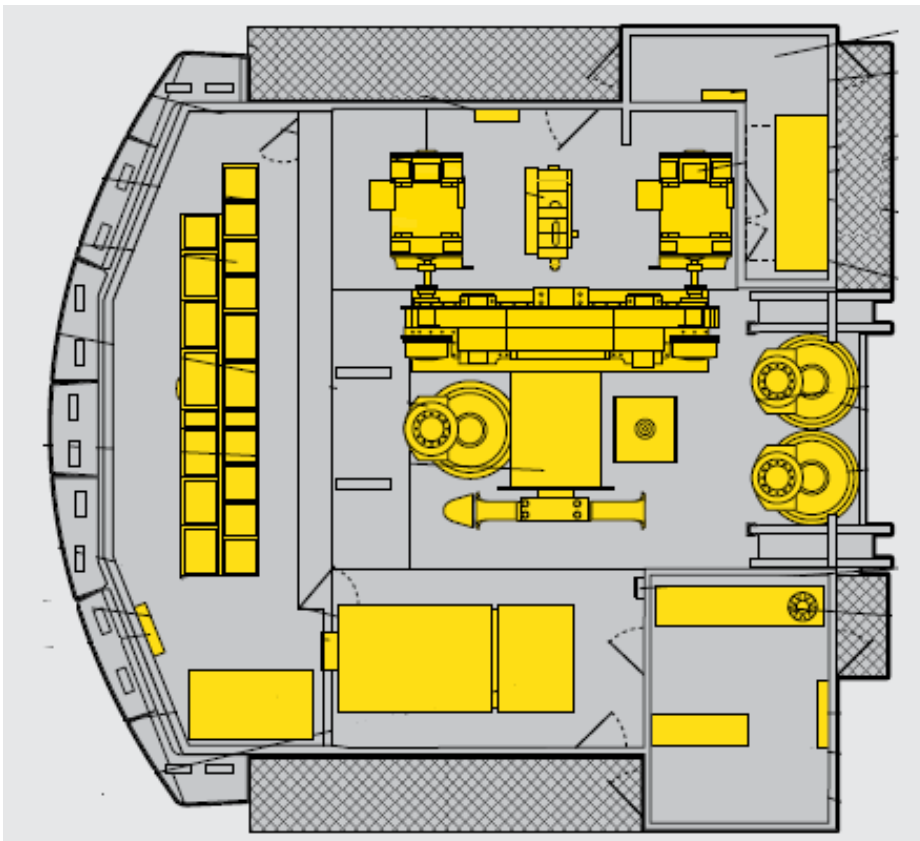
$$PpT = Pp1 + Pp2$$

Donde:

$PpT$  = Pérdidas totales en el cobre

**Figura 55.**

*Ubicación del sistema de pre carga en la sala de máquinas*



#### **4.1.6 Discusión de resultados.**

##### **Transformadores de medida**

Son utilizados para reducir ya sea la corriente, la tensión o ambos y poder de esta manera medir las corrientes y tensiones de las cargas indirectamente.



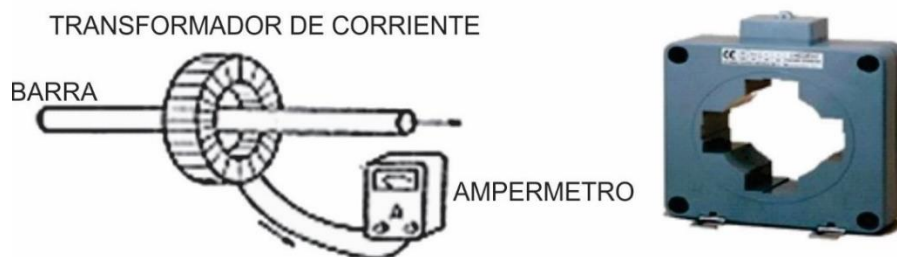
## Transformadores de corriente

Reduce la corriente utilizada por el suscriptor (relativamente alta) a un valor normalizado de corriente (5 A. máximo), la cual circula por la bobina de corriente del medidor (o medidores). Se conecta en serie con la bobina de corriente del medidor de tal manera que circule la corriente de la carga indirectamente. La relación entre la corriente del primario (corriente suministrada al usuario) y la corriente del secundario (corriente que circula por el contador) se denomina factor multiplicador del transformador de corriente (FMI). (Ver Figuras N.º 6 y 9 y Tabla N.º 4).

$$\text{FMI} = \frac{\text{Corriente del primario}}{\text{Corriente del secundario}}$$

**Figura 56.**

*Medición de corriente con transformador de corriente*



**Nota.** Tomado de Enríquez Harper, G. El ABC de las instalaciones eléctricas industriales.

**Figura 57.**

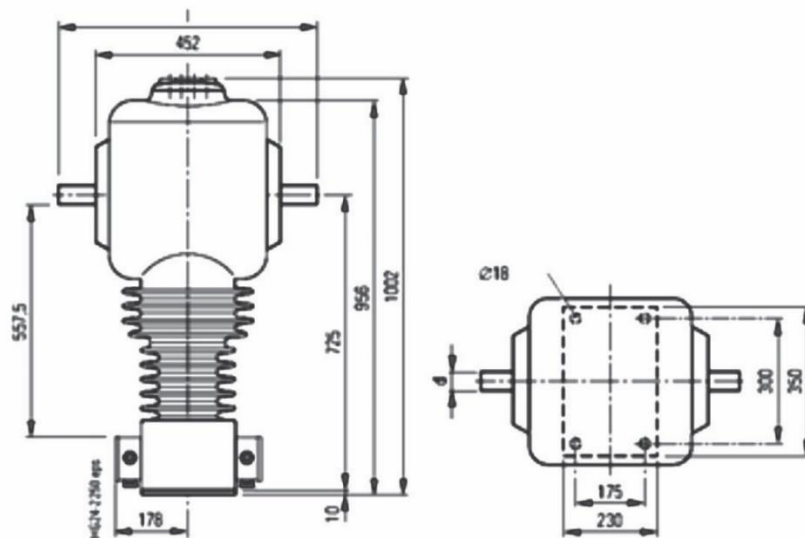
*Medición de corriente con transformador de corriente de dos devanados*



*Nota.* Tomado de Enríquez Harper, G. El ABC de las instalaciones eléctricas industriales

**Figura 58.**

*Dimensiones del transformador de corriente*



*Nota:* Tomado de Hernández, B; López, O. y Soto, M.

## Propuesta de diseño confiable de subestación de distribución

**Tabla 5**

*Dimensiones de transformador de corriente*

<b>I<sub>PN</sub></b>	<b>D</b>	<b>I</b>	<b>Distancia de cebado</b>	<b>Línea de fuga</b>
Hasta 600 A	20	572	557,5	1 290
600 hasta 1250 A	30	672	557,5	1 290

Nota: Tomado de Hernández, B; López, O. y Soto, M.

### **Propuesta de Diseño Confiable de Subestación de Distribución.**

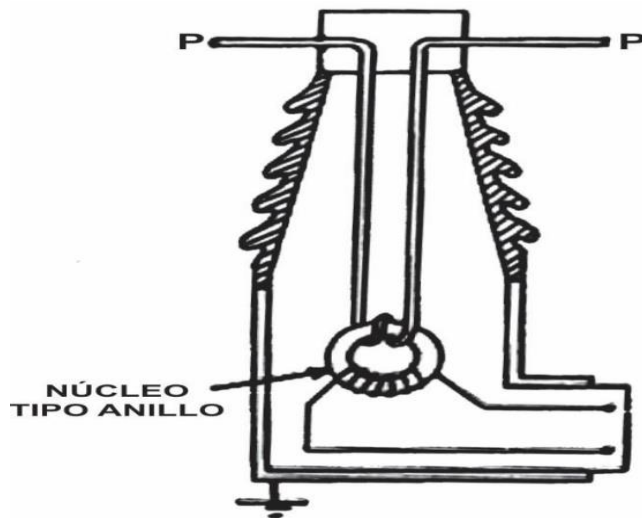
Desde el punto de vista de aplicación, hay dos tipos de transformadores de corriente:

- Transformadores de corriente de medición, usados para propósitos de medición.
- Transformadores de protección usados para sistemas de control y protección, se emplean para: protección contra sobrecorriente, protección contra falla a tierra, protección diferencial, protección de distancia, etc.

Los transformadores de corriente de medición se usan para alimentar amperímetros, wattímetros, vatímetros, medidores de kWh.

**Figura 59.**

*Configuración de un transformador de corriente tipo exterior*



Nota: Tomado de Enríquez Harper, G. Manual del Técnico en Subestaciones Eléctricas Industriales y Comerciales.

Especificaciones para la selección de un transformador de TC's:

1. Corriente nominal primaria
2. Corriente nominal primaria de corto tiempo
3. Corriente nominal secundaria
4. Corriente de excitación nominal
5. Burden nominal
6. Error de corriente o error de relación
7. Error de ángulo de fase
8. Error compuesto
9. Clase de precisión
10. Factor de sobrecorriente
11. Nivel de aislamiento del devanado primario

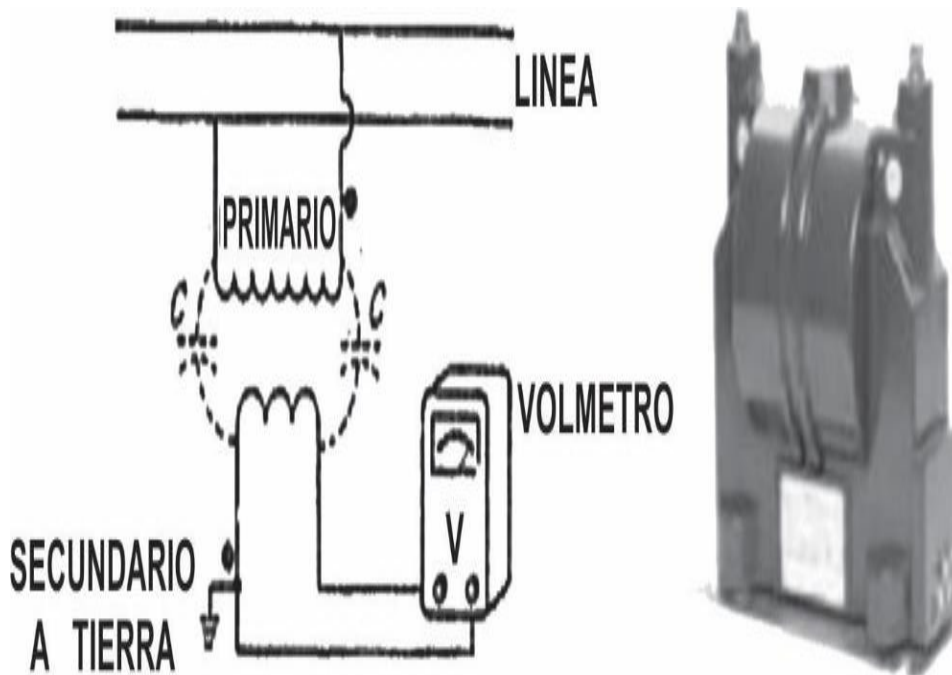
## Transformadores de tensión

Reduce una tensión alta (13 800 o 34 500 Voltios) a un valor de tensión normalizado (100 Voltios). La relación entre la tensión del primario (34,5KV o 13,8KV) y el secundario (Tensión aplicada al contador) se denomina factor multiplicador del transformador de tensión.

$$FMV = \frac{\text{Tensión del primario}}{\text{Tensión del secundario}}$$

**Figura 60.**

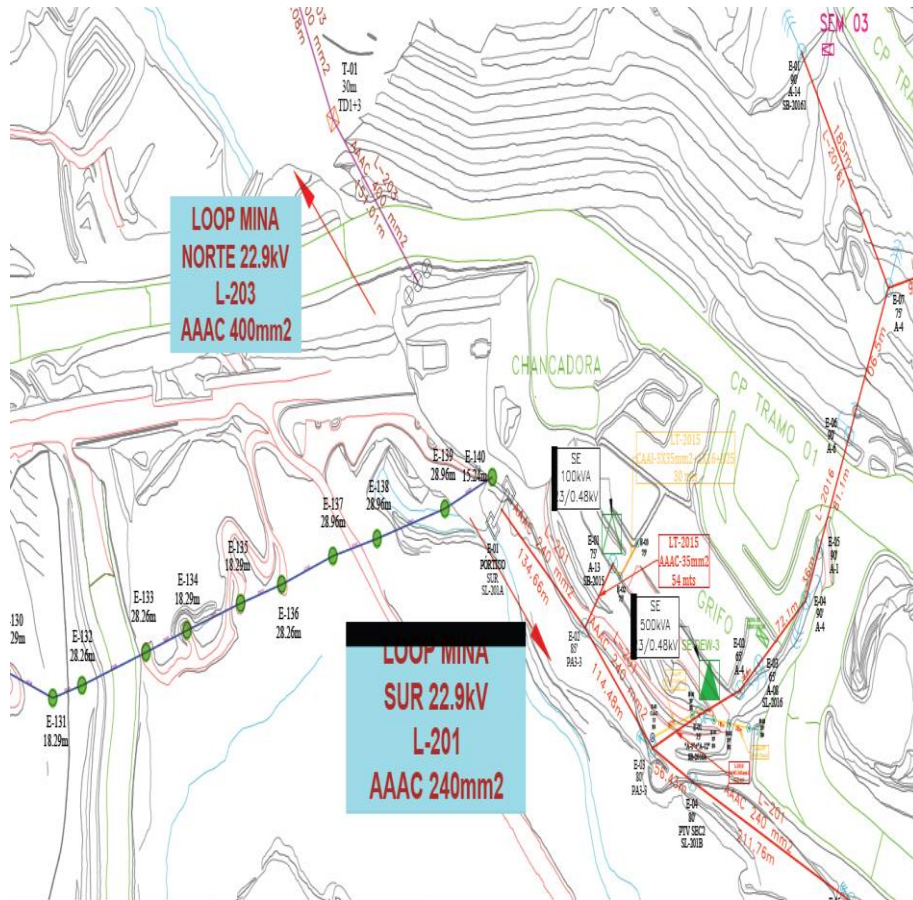
*Medición de voltaje con un transformador de potencia*



Nota: Tomado de ENRÍQUEZ HARPER, G. El ABC de las instalaciones eléctricas industriales.

**Figura 61.**

*Diagrama unifilar del sistema eléctrico de la Mina "Las Bambas"*



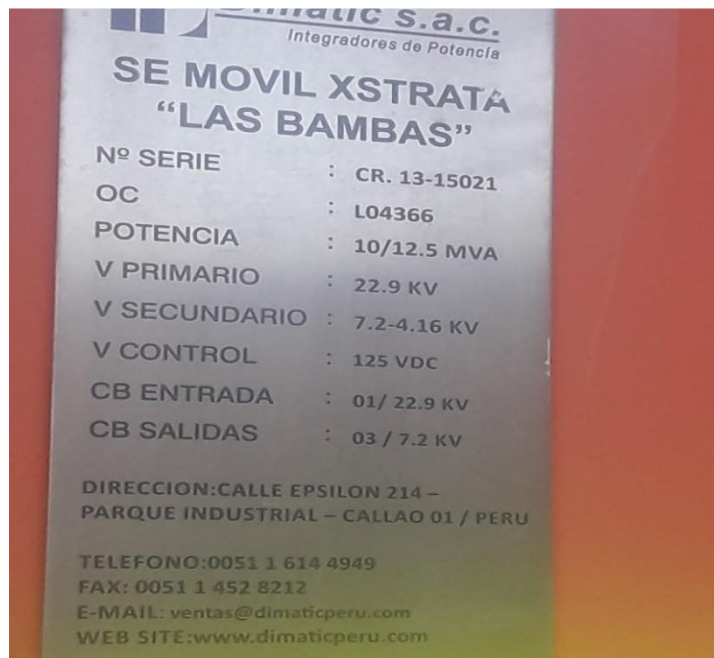
**Figura 62.**

*Datos técnicos de los transformadores eléctricos*



**Figura 63.**

*Características técnicas del transformador de 10 MVA*



**4.1.7 Resultados de cálculos de caída de tensión.**

### **Cálculo de la caída de tensión**

La fórmula para calcular redes aéreas es la siguiente

$$\Delta V = \sqrt{3} \times Z \times I \times L$$

Donde:

**I** : Corriente que recorre el circuito en amperios

**L** : Longitud del tramo, en metros

**Z** : Impedancia de la línea

### **Cálculo de la corriente**

$$I = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3} \times V_L \times \cos\phi}$$

### **Cálculo de la energía**

$E = P \times t$  (Kwh)

P = Potencia activa Kw

t = Tiempo consumido (h)



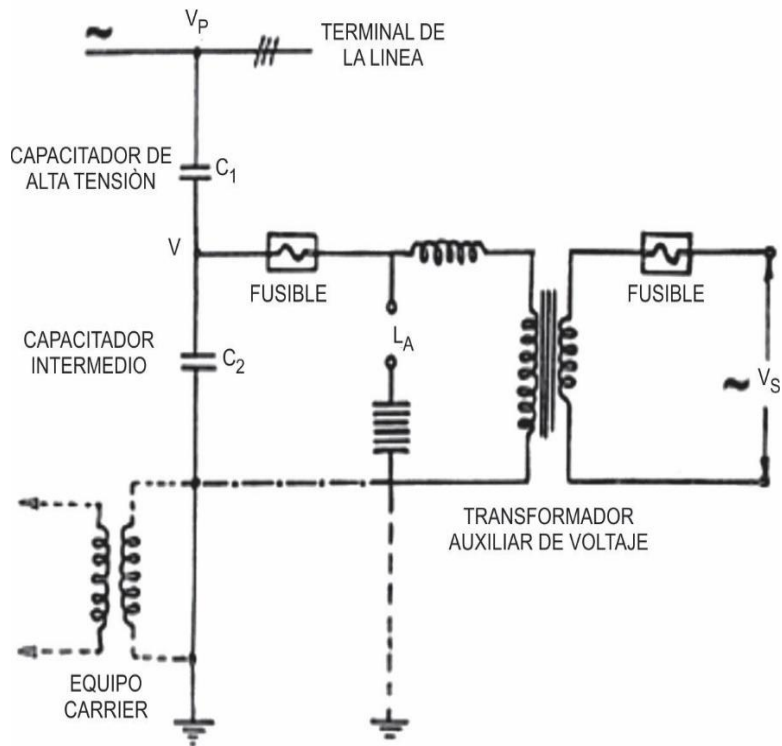
**Tabla 6***Relación entre voltaje, corriente y capacidad de carga en kVA*

<b>Voltaje (V)</b>	<b>Corriente (A)</b>	<b>kVA</b>	<b>Carga 80%(kVA)</b>
480	200	166	133
	400	333	266
	600	500	400
	800	667	532
	1 200	1 000	800
	1 600	1 330	1 065
	2 000	1 663	1 330
	3 000	2 500	2 000
	4 000	3 325	2 660
2 400	400	1 663	1 330
	800	3 333	2 660
	1 200	5 000	4 000
	2 000	8 313	6 650
4 160	600	4 325	3 460
	1 200	8 650	6 920
	2 000	14 410	11 530
	3 000	21 600	17 280
12 470	600	13 720	10 975
	1 200	25 920	20 735
	2 000	43 200	34 560
	3 000	64 700	51 835
13 200	600	13 720	10 975
	1 200	27 435	21 950
	2 000	45 725	36 580
	3 000	68 950	54 870
13 800	600	14 340	11 475
	1 200	28 680	22 950
	2 000	47 800	38 345
	3 000	71 700	57 365

*Nota:* Tomado de Enríquez Harper, G. (2002). “Elementos del diseño de subestaciones eléctricas”

**Figura 64.**

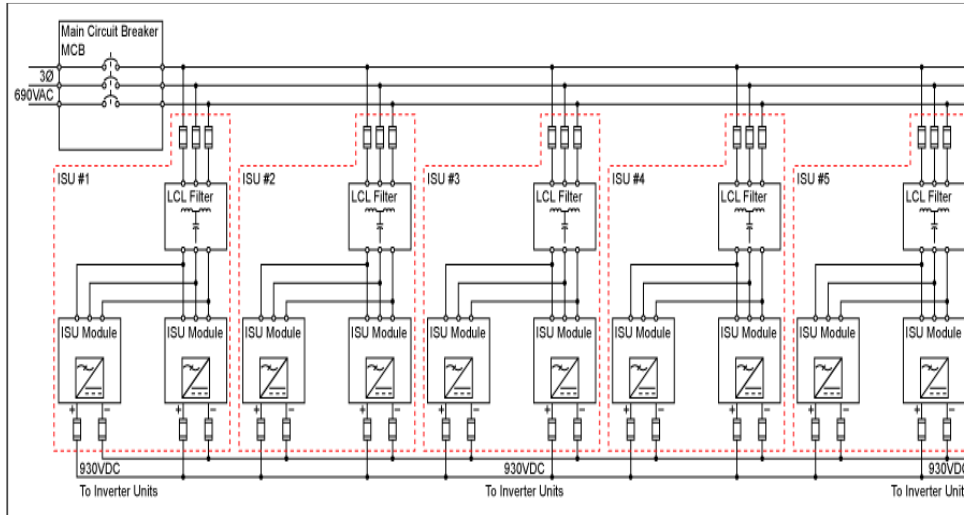
*Conexiones del capacitor de acoplamiento y el transformador de potencial*



Nota. Enríquez Harper, G. Manual del Técnico, en Subestaciones Eléctricas industriales y comerciales.

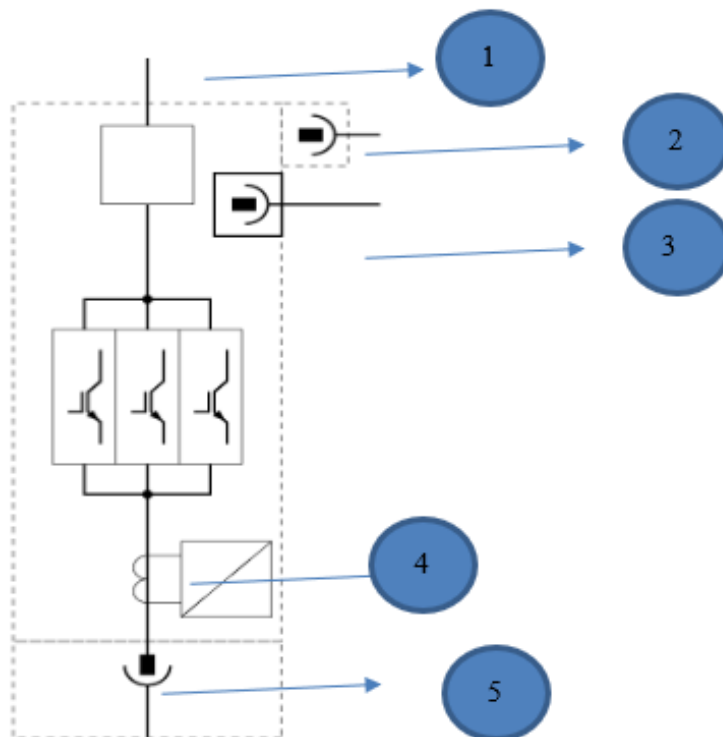
**Figura 65.**

*Diagrama esquemático de la unidad de potencia*



**Figura 66.**

*Diagrama esquemático del módulo de potencia IGBT*



1. Salida en corriente directa
2. Alimentación para el ventilador de enfriamiento.
3. Conector de fibra óptica
4. Transformador de corriente
5. Conector trifásico VAC

**Tabla 7**

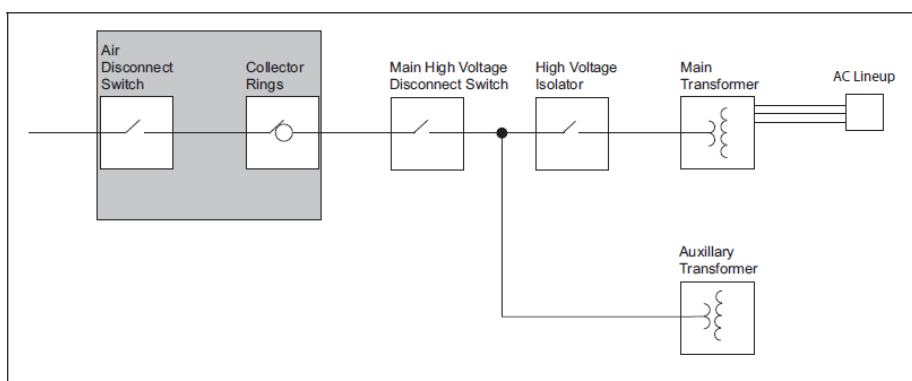
*Datos de placa del transformador de potencia*

Datos de placa	Transformador principal
Potencia aparente	10 MVA
Relación de transformación (kV)	22,9/13,2 kV
Tipo de Refrigeración	ONAN

Nota: Elaboración propia

**Figura 67.**

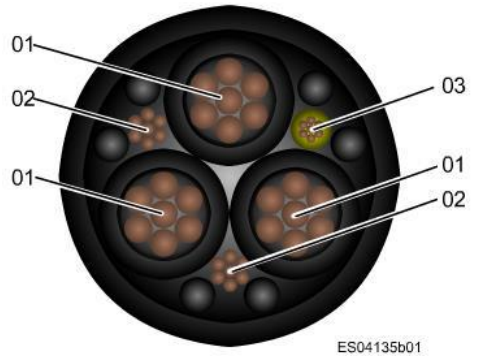
*Sistema de potencia*



### Figura 68.

*Distribución de potencia de alta tensión*

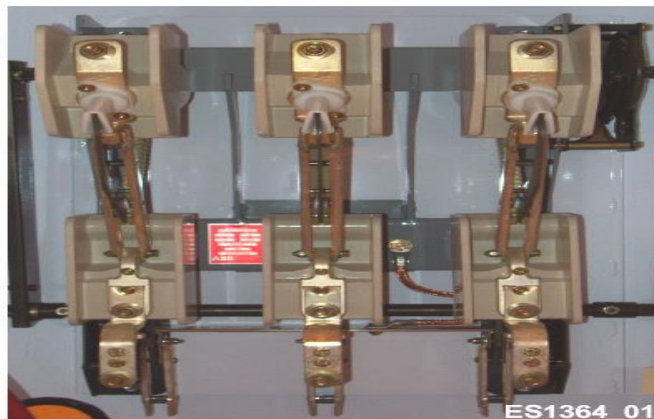
### Resultados de las mediciones



1. Conductor de C.A.
2. Conductor de tierra
3. Conductor de prueba a tierra.

### Figura 69.

*Desconectador de alta tensión*



En los tableros de control, se ha obtenido la medición diaria de los niveles de tensión, corriente y otros parámetros importantes.

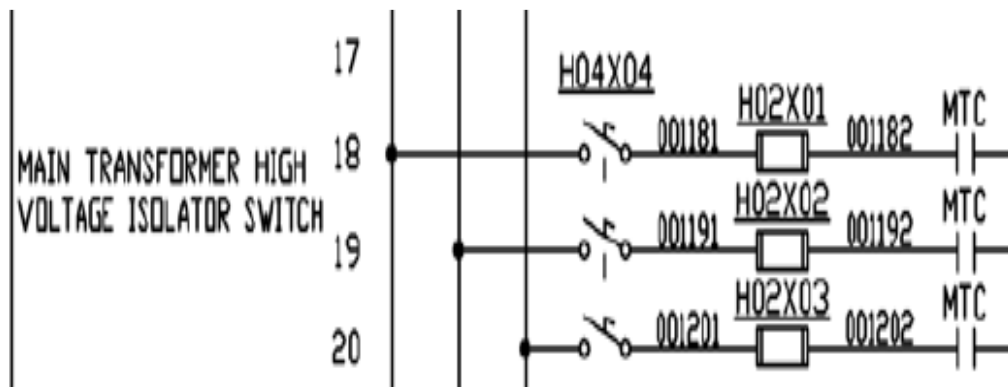
**Figura 70.**

*Pararrayos de A.T.*



**Figura 71.**

*Fusibles del transformador principal*



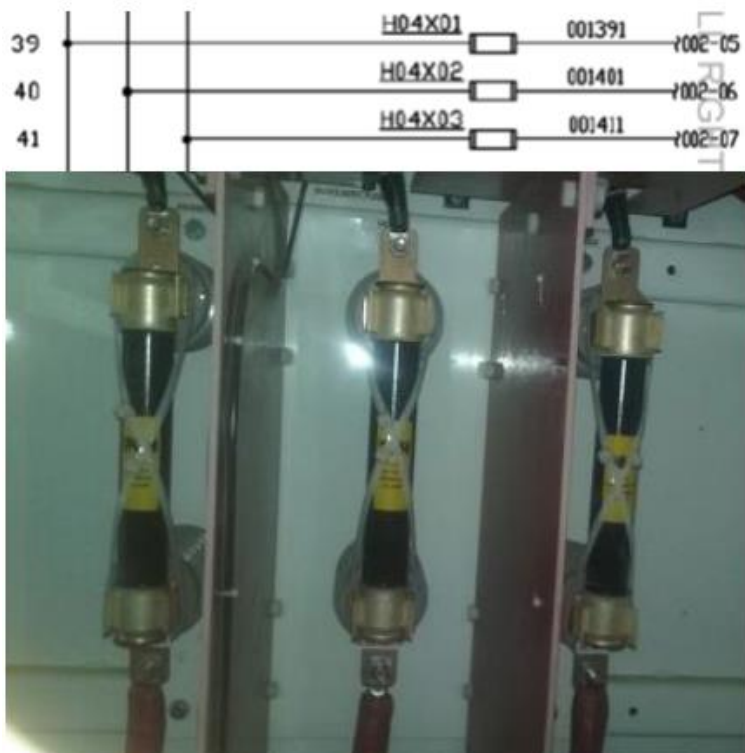
**Figura 72.**

*Fusibles del transformador auxiliar*



**Figura 73.**

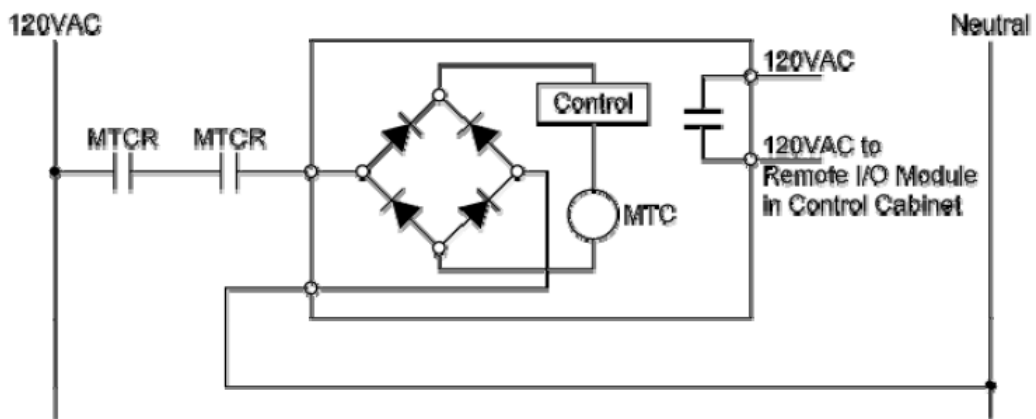
*Fusibles del transformador auxiliar*



Nota: Elaboración propia

**Figura 74.**

*Contactor del transformador principal (MTC)*



El contactor del transformador principal, o MTC, es controlado por el relé y es energizado durante el arranque de la pala. Cuando el MTC se energiza, los contactos normalmente abiertos asociados al MTC se cierran, aplicando alto voltaje desde el cable cola al primario del transformador principal.

**Figura 75.**

*Relés de falla a tierra del transformador principal*



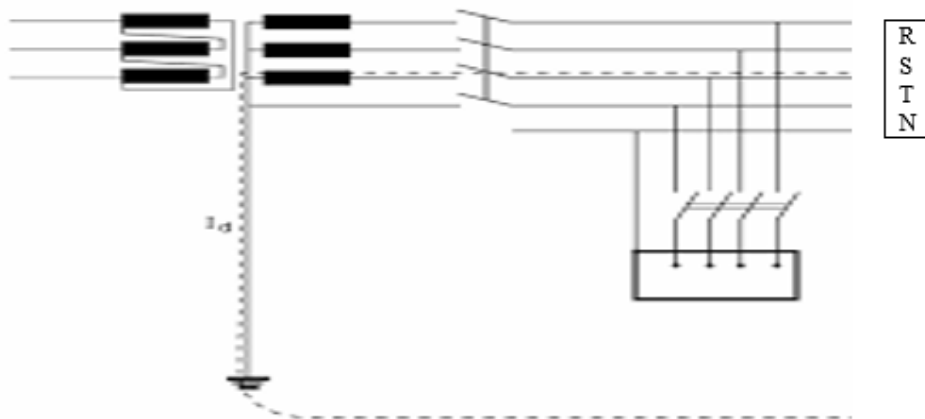


## 4.2 Análisis de resultados

### Análisis de flujo de energía y demanda máxima

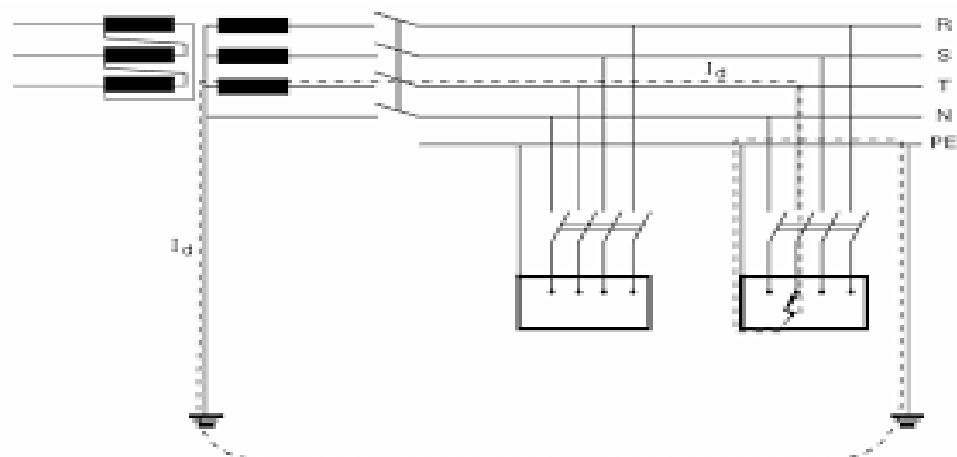
**Figura 76.**

*Esquema eléctrico del transformador y la pala eléctrica*



**Figura 77.**

*Esquema eléctrico del transformador y dos palas eléctricas*



### 4.3 Prueba de Hipótesis

Se efectuó la prueba de hipótesis por teoría de colas y estadística descriptiva, siguiendo los siguientes pasos

#### **Paso 1:**

##### **Determinación de Hipótesis nula y alternativa**

Hipótesis Nula  $H_0 = n = 70\%$

Hipótesis Alternativa  $H_1 = n > 70\%$

#### **Paso 2**

##### **Determinación de la confiabilidad = 95%**

$\alpha = 0.05$  (Zona de rechazo)

#### **Paso 3**

##### **Cálculo del Valor Crítico**

$Z_c = 1.64$

A la derecha de  $Z_c$  o valores mayores se encontrarán en la zona de rechazo.

#### **Paso 4**

##### **Cálculo del Valor de Prueba $Z_p$ .**

Considerando que la desviación media es  $\sigma = 1.2$  y las muestras son  $n=4$

$Z_p = (X - U) / (\sigma/\sqrt{n})$  entonces  $Z_p = 2.633$

#### **Paso 5:**

##### **Conclusión:**

El valor de  $Z_p$  es mayor que el valor crítico  $Z_c$  y se encuentra en la zona de rechazo.

##### **Decisión:**

Se rechaza la hipótesis nula y se valida la hipótesis alternativa.

## CONCLUSIONES

- Se concluyó que el transformador eléctrico de 10MVA, que alimenta a las palas eléctricas del centro minero de “Las Bambas” de la región Apurímac tiene una alta eficiencia energética
- Los datos técnicos de los transformadores y las palas eléctricas del centro minero “Las Bambas” fueron obtenidas de las fichas técnicas y se obtuvo datos como potencia nominal del transformador de 10 MVA, tensión en el primario 22.9 kV, tensión en el secundario de 7.2 kV, carga útil nominal de 108.9 toneladas métricas.
- El rendimiento del transformador se determinó a partir de la potencia nominal, la potencia activa y el factor de potencia, obteniendo un valor del 99% lo que muestra una buena eficiencia energética
- La relación de transformación se obtuvo mediante los voltajes del lado primario y secundario con un valor de 3.18.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda elaborar y cumplir con las actividades de mantenimiento preventivo para poder evitar fallas en el funcionamiento de los equipos.
- Se recomienda conservar el buen nivel de eficiencia energética del transformador eléctrico.
- Se recomienda aplicar correctamente estrategias para obtener una información constante.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. JULIO C., MACHACA V., ABELL A., & COILA D. (2017). “*Estudio y análisis experimental de la calidad del suministro eléctrico de la Universidad Nacional del Altiplano, utilizando un analizador de redes - 2016*”, [tesis].  
Disponibile en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4023>.
2. MARCOS HOLGUIN, & DAVID GOMEZ COELLO. (2010). “*Análisis de calidad de energía eléctrica en el nuevo campus de la Universidad Politécnica Salesiana*”, [tesis], Guayaquil.
3. HARPER G. (2006). “*Elementos de diseño de subestaciones eléctricas*”. Estados Unidos.
4. MORA S., YANDRI J. & Cevallos C. (2014). “*Estudio y análisis de la calidad de energía enfocado en nivel de armónicos en el sistema eléctrico de la subestación enfriadora 1 de HOLCIM Ecuador Planta Guayaquil*”, Guayaquil Ecuador.
5. DANIEL A., SAUCEDO M., JOSÉ L., & TESIS V. (2008). “*Factores que afectan la calidad de energía y su solución*”, México D.F.
6. ENRIQUEZ HARPER, G. (2002). “*Elementos del diseño de subestaciones eléctricas*”. ISBN-968-18-6222-8. Segunda Edición, México: Editorial Limusa.
7. VASSALLO ELESCANO, G. (2007). “*Subestación Eléctrica Transportable 10 MVA, 69/7.2kV, Southern Perú – Cuaajone*”, [Tesis de pregrado]. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

8. SARZO MIRANDA, M. (2007). *Proyectos de electrificación*. Primera Edición. Lima: Megabyte. ISBN-978-9972-821-92-9.
9. ENRIQUEZ HARPER, G. (2008). *Manual del técnico en subestaciones eléctricas industriales y comerciales*. Primera Edición. México: Limusa, pp. 111-112. ISBN-13:978-968-18-7165-9.
10. DOS SANTOS, C. (2009). “*Estudio de pérdidas de energía eléctrica inherentes a sistemas de distribución de uso exclusivo*”, [Tesis de pregrado]. Barcelona: Universidad de Oriente, p. 37.
11. POLISH COPPER PROMOTION CENTRE AND EUROPEAN COPPER INSTITUTE (2008). SEEDT: *Selecting energy efficient distribution transformers. A guide for achieving least-cost solutions*.
12. ELEFTHERIOS I. AMOIRALIS, MARINA A. TSILI, & ANTONIOS G. KLADAS. (2010). *Economic Evaluation of Transformer Selection in Electrical Power Systems*, XIX International Conference on Electrical Machines.
13. REJEAN ARSENEAU, EDDY SO, & ERNST HANIQUE. (2005). *Measurements and Correction of NoLoad Losses of Power Transformers*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 54, N.º 2, abril de 2005, pp. 503-506.
14. Stanley Y. Merritt, & S. D. Chaitkin. (2003). *No-load versus load loss*, IEEE Industry Applications Magazine, Nov/Dic 2003, pp. 21-28.
15. GUEVARA VICUÑA, CRISTIÁN. “*Métodos prácticos para lograr ahorros de energía eléctrica*”.