

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE 50kVA 230/400V PARA EL LABORATORIO DE NUTRICIÓN Y CIENCIA DE ALIMENTOS UPCH, 2021”

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGÍA

JULIO CESAR AZAÑA SILVA

Callao, 2022

PERÚ

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Julio Cesar Azaña Silva".

JULIO CESAR AZAÑA SILVA

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Ma. Jorae Luis Ilquimiche Melly".

Ma. Jorae Luis ILQUIMICHE MELLY

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ENERGÍA

ESCUELA PROF: ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

**TÍTULO: DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN TRANSFORMADOR
TRIFÁSICO DE 50kVA 230/400V PARA EL
LABORATORIO DE NUTRICIÓN Y CIENCIA DE
ALIMENTOS UPCH, 2021**

EJECUTORES: JULIO CESAR AZAÑA SILVA

CODIGO: 092998D

DNI: 45878411

ASESOR: Mg. JORGE LUIS ILQUIMICHE MELLY

**ACTA DE EXPOSICIÓN DE INFORME DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
DEL I CICLO TALLER PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO E INGENIERO EN ENERGIA**

**LIBRO 001, FOLIO N° 142, ACTA N° 094 DE EXPOSICIÓN DE INFORME DE TRABAJO DE
SUFICIENCIA PROFESIONAL DEL I CICLO TALLER PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGIA**


A los 24 días del mes setiembre del año 2022, siendo las **15:30 pm horas**, se reunieron, en la sala meet: [https:// meet.google.com/orf-nvrq-ctn](https://meet.google.com/orf-nvrq-ctn), el **JURADO DE EXPOSICION del I CICLO TALLER DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL 2022** para la obtención del **TÍTULO profesional de Ingeniero en Energia** de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

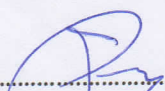
- | | | |
|---------------------------------------|---|------------|
| ▪ Dr. Tezen Campos Jose Hugo | : | Presidente |
| ▪ Dr. Mamani Calla Pablo | : | Secretario |
| ▪ Mg. Lizandro Bernaldo, Rosales Puño | : | Vocal |
| ▪ Mg. Jorge Luis Ilquimiche Melly | : | Asesor |


Se dio inicio al acto de exposición de informe de trabajo para titulación del Bachiller **AZAÑA SILVA JULIO CESAR**, quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero en Energia sustenta su informe titulado **"DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE 50KVA 230/400V PARA EL LABORATORIO DE NUTRICIÓN Y CIENCIA DE ALIMENTOS UPCH, 2021"**, cumpliendo con la exposición en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid- 19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario".

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADO** con escala de calificación cuantitativa **16 (Dieciséis)** y calificación cualitativa **MUY BUENO** en el presente informe de **TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de Junio del 2021.

Se dio por cerrada la Sesión a las **16:00 pm** del día 24 de setiembre del 2022


.....
Dr. Jose Hugo Tezen Campos
Presidente de Jurado


.....
Dr. Pablo Mamani Calla
Secretario de Jurado


.....
Mg. Lizandro Bernaldo Rosales Puño
Vocal de Jurado

.....
Mg. Jorge Luis Ilquimiche Melly
Asesor

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios por que siempre estuvo guiando mi camino, a mis padres por la oportunidad de un estudio universitario, hermanos por brindarme su apoyo incondicional y a mi esposa e hijo por ser el motor, motivo y la fuerza para seguir adelante alcanzando mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater la facultad de Ingenieria Mecanica y Energia – FIME de la Universidad Nacional del Callao y a mi asesor Mg.Jorge Luis Ilquimiche Melly por los consejos y aportes para el inicio y realizacion de mi presente informe de experiencia laboral.

RESUMEN

En el presente documento se realiza el estudio de diseño y cálculo para la fabricación de un transformador de aislamiento de 50 kVA, el cual, una vez fabricado, suministrará energía al voltaje requerido para el proyecto de remodelación de laboratorios de nutrición y ciencia de alimentos en la UPCH ubicada en el campus norte – SMP.

La UPCH se encuentra dentro de la zona LIMA-NORTE, para lo cual el diseño a elaborar, se tendrá en consideración las especificaciones técnicas y procedimientos para la fabricación, respetando las normas: nacional e internacional.

El proyecto abarca el diseño, cálculo, selección de materiales adecuados para la fabricación del equipo, la cual comienza con la elaboración del diseño teniendo en consideración las especificaciones técnicas entregadas por parte del cliente, para luego ser entregado los formatos de diseño a las diferentes áreas de trabajo correspondiente, que se encargaran de su habilitación, avance y entrega de su producto. Una vez culminado se inicia la parte de ensamblado y conexionado de la parte activa del transformador que luego será trasladado a un horno para su proceso de secado a una temperatura adecuada, siguiente a eso se procederá a un barnizado, se pondrá su tablero de conexión y señalización con sus accesorios correspondientes y caja de protección.

Concluye con el desarrollo de las pruebas en laboratorio y entrega de su protocolo de pruebas con la conformidad del cliente.

Palabras claves: Transformador trifásico.

ABSTRACT

In this document, the design and calculation study is carried out for the manufacture of a 50 kVA isolation transformer, which, once manufactured, will supply energy at the required voltage for the remodeling project of nutrition and food science laboratories in UPCH located on the north campus – SMP.

The UPCH is located within the LIMA-NORTE zone, for which the design to be elaborated will take into account the technical specifications and procedures for manufacturing, respecting the national and international standards.

The project covers the design, calculation, selection of suitable materials for the manufacture of the equipment, which begins with the elaboration of the design taking into account the technical specifications delivered by the client, and then the design formats are delivered to the different areas. of corresponding work, which will be in charge of its qualification, advancement and delivery of its product. Once completed, the assembly and connection part of the active part of the transformer begins, which will then be transferred to an oven for its drying process at an adequate temperature, after which a varnishing will be carried out, its connection board will be placed and signaling with its corresponding accessories and protection box.

It concludes with the development of the laboratory tests and the delivery of its test protocol with the client's approval.

Keywords: Three-phase transformer.

ÍNDICE

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
ÍNDICE	7
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
INTRODUCCIÓN	12
I. ASPECTOS GENERALES	14
1.1. Contexto de la realidad problemática	14
1.2. Objetivos	14
1.2.1. Objetivo General	14
1.2.2. Objetivos Específicos	14
1.3. Organización de la empresa o institución	15
1.3.1. Antecedentes históricos	15
1.3.2. Filosofía Empresarial	15
1.3.3. Estructura Organizacional	15
II. FUNDAMENTACIÓN DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL	18
2.1 Marco teórico	18
2.1.1 Antecedentes	18
2.1.2 Bases Teóricas	20
2.1.3 Aspectos Normativos	46
2.1.4 Simbología técnica	47
2.2. Descripción de actividades desarrolladas	47
2.2.1 Etapas del informe	47
2.2.2 Diagrama de flujo	50
2.2.3 Cronograma de actividades	51
III. APORTES REALIZADOS	53
3.1. Diseño y cálculo del transformador seco trifásico 50 kVA 230/400 V Dyn5	53
3.2. Fabricación del transformador seco trifásico 50 kVA 230/400 V Dyn5	73
3.3. Evaluación técnica – económico	82
IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	83

4.1. Discusión	83
4.2. Conclusiones	84
V. RECOMENDACIONES	85
VI. BIBLIOGRAFÍA	86
ANEXOS	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Símbolos literales de modo de enfriamiento.....	30
Tabla 2. Orden de símbolos.....	30
Tabla 3. Temperatura del sistema de aislamiento	31
Tabla 4. Clase de aislamiento.....	32
Tabla 5. Características técnicas del transformador.....	53
Tabla 6. Resumen de cálculo de resultados del bobinado primario.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama empresarial FASETRON S.C.R.L.....	17
Figura 2. Principio y fundamento del transformador.....	21
Figura 3. Tipos de transformadores	23
Figura 4. Transformador trifásico	24
Figura 5. Núcleo acorazado	25
Figura 6. Núcleo tipo columnas trifásico - corte45°	26
Figura 7. Devanado primario y secundario.....	27
Figura 8. Conexiones de los devanados	29
Figura 9. Diagrama de conexión de medida de aislamiento.....	40
Figura 10. Equipo de prueba de resistencia de devanados - miliohmimetro ...	41
Figura 11. Equipo de prueba de relación de transformación -TTR.....	42
Figura 12. Esquema de conexión de la prueba de vacío	43
Figura 13. Analizador de redes de alta precisión	43
Figura 14. Esquema de conexión de la prueba de cortocircuito.....	44
Figura 15. Esquema de conexión de la prueba de tensión aplicada	45
Figura 16. Esquema de conexión de prueba de tensión inducida	46
Figura 17. Simbología técnica de transformadores.....	47
Figura 18. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del proyecto.....	50
Figura 19. Cronograma del proyecto UPCH.....	51
Figura 20. Dimensiones del ancho, espesor y área del núcleo magnético.....	55
Figura 21. Dimensiones con y sin aislamiento de la pletina	58
Figura 22. Dimensiones generales de la bobina	66
Figura 23. Dimensiones generales del núcleo magnético	68
Figura 24. Distancias mínimas internas de la parte activa con la caja de protección.....	71
Figura 25. Dimensiones generales de la caja de protección	72
Figura 26. Dimensiones generales de la brida de sujeción	73
Figura 27. Proceso de armado de núcleo magnético	74
Figura 28. Proceso de bobinado primario y secundario	75
Figura 29. Proceso de fabricación de bridas y caja de protección	76

Figura 30. Proceso de pintado de bridas y caja de protección	77
Figura 31. Proceso de ensamblado de la parte activa	78
Figura 32. Conexionado de la parte activa	79
Figura 33. Barnizado de la parte activa	80
Figura 34. Proceso final de fabricación del transformador	81
Figura 35. Presupuesto general de venta del transformador trifásico de 50 kVA	82

INDICE DE ANEXOS

ANEXO N° 1. CURVA DE SATURACION DE FIERRO SILICOSO C120-27..	87
ANEXO N° 2. PLANO DE CAJA DE PROTECCION DEL TRANSFORMADOR	88
ANEXO N° 3. PLANO DE PARTE ACTIVA DEL TRANSFORMADOR	89
ANEXO N° 4. CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR TRIFASICO .	90
ANEXO N° 5. DISEÑO DEL TRANSFORMADOR TRIFASICO	91
ANEXO N° 6. PROTOCOLO DE PRUEBAS	93
ANEXO N° 7. PLACA CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR	95
ANEXO N° 8. FICHA TECNICA DEL PAPEL NOMEX	96
ANEXO N° 9. FICHA TECNICA DE LA PLETINA DE ALUMINIO	97
ANEXO N° 10. FICHA TECNICA DE LA CINTA FILAMENTADA	98
ANEXO N° 11. FICHA TECNICA DEL AISLANTE VITRONITE.....	99
ANEXO N° 12. FICHA TECNICA DEL BARNIZ AISLANTE CLASE H	101
ANEXO N° 13. FICHA TECNICA DEL CARTON BASE	102

INTRODUCCIÓN

Hoy en día la energía eléctrica es la principal fuente de energía que utiliza la industria moderna para el funcionamiento de áreas productivas y a nivel residencial es de igual manera un servicio indispensable para la realización de diversas tareas de la vida cotidiana; por tal motivo el suministro de electricidad debe de satisfacer con ciertas características como es un servicio en forma continua y eficiente así como con otras particularidades un poco más técnicas como es el nivel de tensión, su forma de onda y el ciclo de operación, ya que de estos dependen el funcionamiento correcto de algunas áreas productivas en la industria.

Para lograr esto es indispensable tener en cuenta el cómo solucionar estas demandas; y para ello se cuenta con los sistemas eléctricos de potencia, los cuales son encargados de la generación, transmisión y distribución del servicio eléctrico en todo el territorio nacional.

El permitir al transformador eléctrico ejecutar cambios en las características de la energía eléctrica, es inexcusablemente la razón que hace que esta máquina tenga un lugar de importancia para la sociedad actual y futura. Por lo tanto, los transformadores son uno de las unidades más importantes en cada proceso de producción.

I. ASPECTOS GENERALES

1.1. Contexto de la realidad problemática

La UPCH tiene un proyecto en el cual se realizará la remodelación de sus laboratorios de Nutrición y Ciencias de Alimentos, cabe resaltar que cuenta con un suministro de línea trifásica en 230 V, lo que hace que a ese nivel de tensión sus equipos de laboratorio no puedan funcionar.

Sabemos que en la actualidad existen diferentes niveles de tensión como son los más comunes 220V/380V/440V en baja tensión, también existen equipos que funcionan con un diferente nivel de tensión, porque son importados de diferentes países en cuál manejan otros niveles de tensión y frecuencia, para estos casos especiales es necesario un diseño de un transformador con las características especiales y condiciones de trabajo a la hora de ser puesto en marcha.

Por tal motivo se requiere primordialmente el diseño de un transformador trifásico tipo seco de 50 kVA con nivel de tensión de entrada de 230 V y de salida 400 V con un grupo de conexión Dyn5, para que pueda garantizar el suministro de energía al nivel de tensión que requiere sus equipos de laboratorio y puedan entrar en funcionamiento sin ningún inconveniente.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Diseñar y fabricar un transformador trifásico de 50 kVA 230/400V para laboratorio de nutrición y ciencia de alimentos de la UPCH.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Calcular y dimensionar las partes del transformador de acuerdo a las normas NTP 370.002 y la IEC 60076.
- Elaborar el plano de un transformador trifásico de 50 kVA 230/400V para laboratorio de nutrición y ciencia de alimentos de la UPCH.
- Seleccionar los materiales y equipos para la fabricación del transformador trifásico de 50 kVA 230/400V para laboratorio de nutrición y ciencia de alimentos de la UPCH.

1.3. Organización de la empresa o institución

1.3.1. Antecedentes históricos

FASETRON S.C.R.L. fundada el 28 de septiembre de 1998, es una empresa peruana con más de veintitrés años de experiencia en el mercado, dedicada a la Fabricación y Servicio de Mantenimiento de Equipos Eléctricos y Electrónicos, así como la comercialización de los mismos. Constituida por tres socios estratégicamente integrados en cada área de trabajo de la empresa y contando con el personal altamente calificado, cuyo objetivo es proveer a los diversos sectores del mercado industrial, contando con los elementos necesarios para el desarrollo de sus proyectos y/o expansión de sus instalaciones, en lo referente a la asesoría, diseño, fabricación, mantenimiento e Instalación, dando la mejor calidad de todos sus productos.

1.3.2. Filosofía Empresarial

MISIÓN

Ser una empresa líder en el suministro de productos y servicios confiables, eficientes y de calidad que cumplan las expectativas de nuestros clientes.

VISIÓN

Tiene como visión convertirse en la primera empresa Líder, punto de referencia a nivel nacional y de Sudamérica, de nuestro rubro, sin perjudicar el medio ambiente.

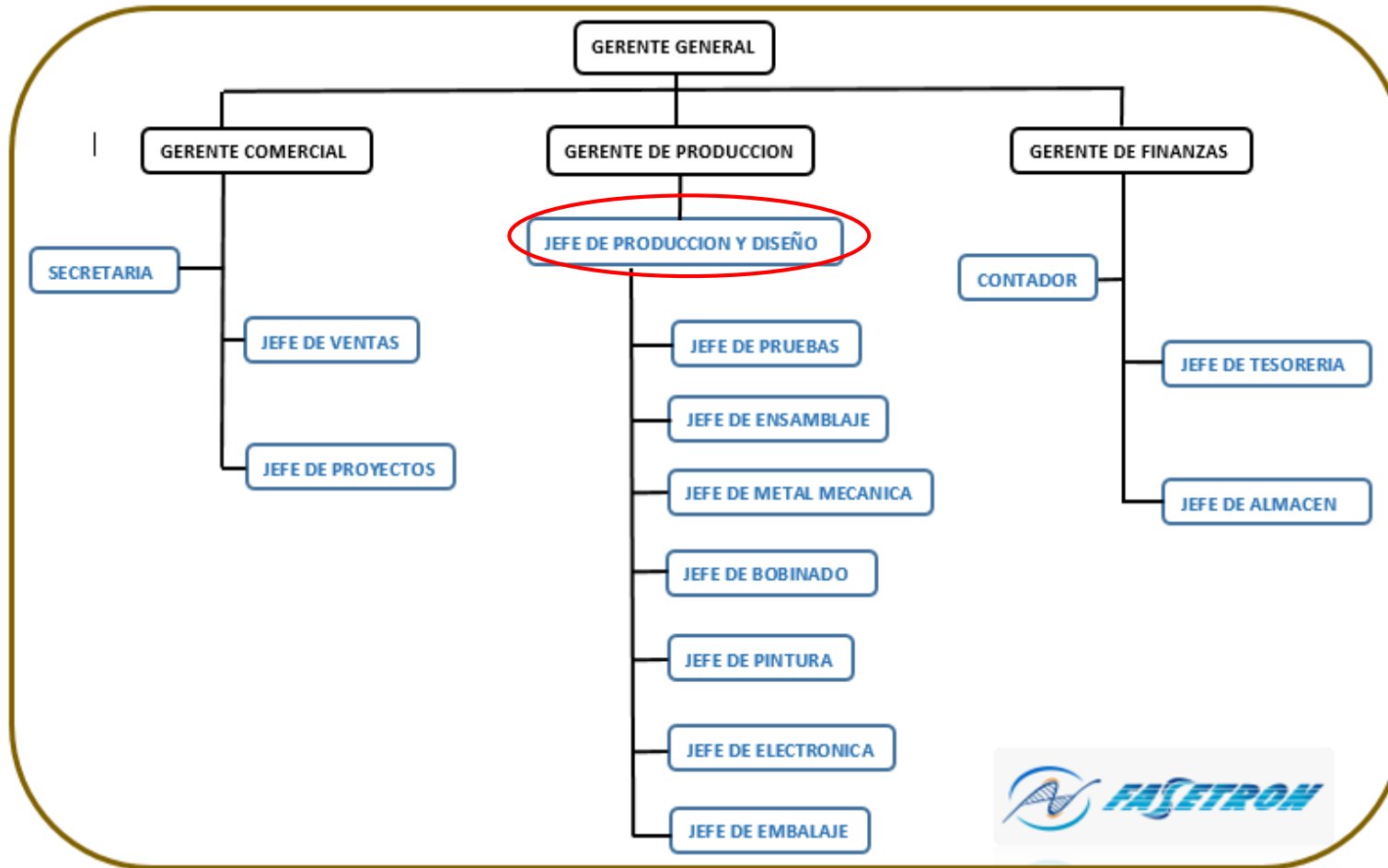
1.3.3. Estructura Organizacional

La empresa FASETRON S.C.R.L. con RUC: 20417073133, está ubicada con dirección legal en Calle Los Rosales Mz. H lote 8 Urb. Shangri-la, Puente Piedra, Lima.

El cargo que desarrollé en el proyecto que es tema del presente informe fue el de jefe de Producción y Diseño, dentro de mis funciones están las siguientes actividades.

- Planear, coordinar, controlar, diseñar y evaluar la elaboración de un transformador una vez recibida la orden de trabajo (OT).
- Promover, evaluar y controlar el plan de mantenimiento de los equipos y herramientas.
- Supervisar el avance de la producción en todas las áreas.
- Supervisar el uso correcto de los implementos de seguridad.
- Incrementar la eficiencia de los procesos operativos para optimizar el uso de los recursos.
- Informar constantemente al gerente de producción el avance de los procesos productivos.
- Proponer la capacitación permanente del personal de sus áreas a cargo.
- Apoyar directamente en la ejecución de los programas de calidad de la empresa.
- Promover un ambiente de trabajo agradable al trabajador.

Figura 1. Organigrama empresarial FASETRON S.C.R.L



Fuente: Empresa FASETRON S.C.R. L

II. FUNDAMENTACIÓN DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL

2.1 Marco teórico

2.1.1 Antecedentes

Nacionales

Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Electricista, Titulado: **“Diseño de un transformador trifásico multitensión en el primario 100kVA 10-20-22.9/0.400Kv en la empresa HP&T ELECTRIC”**. Presentado por el bachiller Rojas, Kreyder en el año 2017, se encuentra en la página web de la Universidad Nacional del Centro de Perú. Esta tesis de grado consiste en diseñar un transformador trifásico multitensión de tres niveles de tensión en el lado primario, para que pueda operar en cualquier rango que se requiera mediante conmutadores trifásicos y entregar su potencia solicitada, también poder reducir los costos en su instalación y pueda ser un equipo confiable y eficiente.

Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Electricista, Titulado: **“Diseño del núcleo de un transformador trifásico de distribución para la reducción de pérdidas técnicas”**. Presentado por los bachilleres Flores, Jhosselin; Indirique, Nando; Meza, Carlos en el año 2021. Se encuentra en la página web de Universidad Continental, 2021. Esta tesis de grado tiene como objetivo diseñar un transformador trifásico que pueda tener el menor porcentaje de pérdidas en comparación con los transformadores tradicionales, y que esa disminución de pérdidas se traduzca en incremento de eficiencia en el sistema eléctrico, y que se encuentre dentro de las tolerancias establecidas por la norma internacional IEEE C57-1.

Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Electricista, Titulado: **“Estudio y elaboración de programas para la obtención del punto de máxima eficiencia del transformador eléctrico mediante MATLAB”**. Presentado por el bachiller Condori, Edward en el año 2021. se encuentra en la página web de la Universidad Nacional del Centro de Perú. Esta tesis de grado consiste en obtener graficas con los parámetros del circuito equivalente del transformador con datos obtenidos de las pruebas de vacío y corto circuito del transformador eléctrico los cuales servirán para trazar las curvas de eficiencia versus la potencia aparente de la carga con diferentes factores de potencia y en ella encontrar el punto de máxima eficiencia.

Internacionales

Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Electricista, Titulado: **“Metodología para determinar las especificaciones de diseño y de selección de transformadores secos”**. Presentado por los bachilleres Travi, Aleymar; García, Omar en el año 2019 de la Universidad Autónoma de Occidente. Esta tesis consiste en realizar una metodología para determinar las especificaciones de diseño y de selección de la eficiencia de transformadores trifásicos seco de clase térmica tipo H de hasta 1000 kVA, con un nivel de tensión primaria hasta 15 kV y tensión secundaria hasta 1.2 kV, considerando los criterios económicos, técnicos y ambientales.

Tesis de grado previo a la obtención del título de Especialista de Redes de distribución de energía eléctrica de media tensión, Titulado: **“Cálculos eléctricos para diseño de transformador trifásico reductor de tensión de 75 kVA, 208-20V para instalación galvánica de la empresa Zintepec Ltda”**. Presentado por Alvis, Gildardo en el año 2019 de la Escuela Tecnológica Central.

Esta tesis aplica la búsqueda de un método óptimo para llevar a cabo los diferentes cálculos eléctricos que se requieren para el diseño de un transformador eléctrico reductor trifásico. cuyas características representativas de la máquina son la potencia aparente que es de 75 kVA, la conexión y tensiones respectivas en primario y secundario como son delta- estrella, 208/20 V. permiten identificar las diferentes técnicas por medio de los cuales se pueden realizar los cálculos necesarios, para posteriormente elegir el método adecuado.

2.1.2. Bases Teóricas

Principio fundamental del transformador

Un transformador es un dispositivo eléctrico estático, que trasfiere energía eléctrica de un circuito a otro mediante el principio de inducción magnética sin cambiar la frecuencia, es la parte del sistema de suministro eléctrico cuya función es el suministro de energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales en el medidor del cliente.

Un transformador "es un aditivo estático que convierte un sistema de corriente y voltaje variable en uno o más sistemas de corriente variable con la misma intensidad, voltaje y la misma frecuencia mediante inducción electromagnética". Consiste en un núcleo de hierro con vueltas de alambre llamado bobina. La bobina primaria es la bobina que recibe el voltaje de entrada, y la bobina secundaria es la bobina que proporciona el voltaje convertido (NTP 370.400, 2013; IEC 60076-1, 2011).

La potencia que ingresa al equipo, en un transformador ideal, es igual a la que se obtiene a la salida, en las máquinas reales se presenta un porcentaje pequeño de pérdidas, esto depende de su tamaño, diseño, etc.

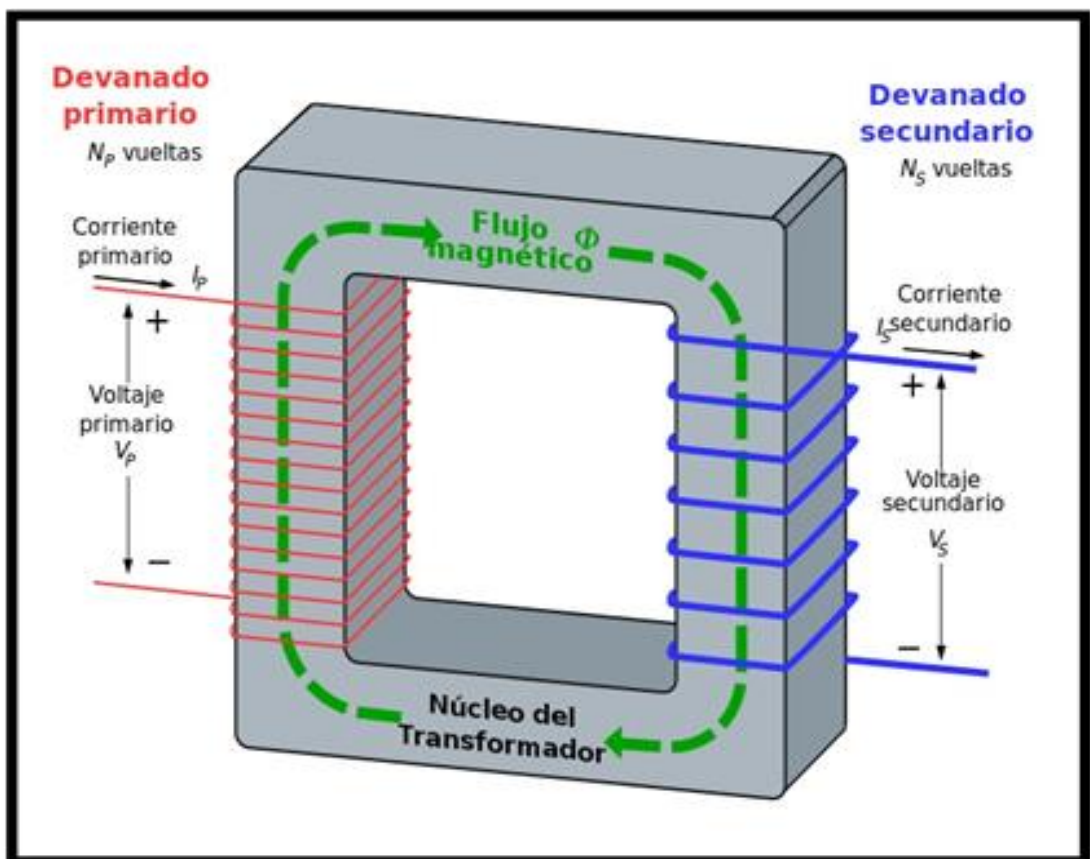
El transformador eléctrico por ser una máquina estática tiene ventajas sobre las máquinas rotativas, ya que no tiene pérdidas mecánicas, las únicas pérdidas que existen del transformador son eléctricas y del hierro, por esta razón su rendimiento es alto.

Funcionamiento del transformador

El transformador funciona bajo el principio de inducción electromagnética, cuando dos bobinas son acopladas inductivamente, el flujo magnético que atraviesa por una de ellas, también atraviesa por la otra de forma parcial o total, esto significa que las dos bobinas tienen un circuito magnético común

Al conectar una fuente de corriente alterna a una bobina o a un conjunto de ellas denominado primario, la corriente y el flujo resultante cambia de forma periódica y automática en magnitud y dirección, provocando que cambie el flujo que envuelve a las bobinas acopladas, de esta manera se creará un voltaje inducido en la segunda bobina denominado secundario. El voltaje inducido en la bobina primaria recibe el nombre de voltaje transformado y la acción que lo suscita se conoce como acción transformadora.

Figura 2. Principio y fundamento del transformador



Fuente: <https://www.wikiwand.com/es/Transformador>

De la figura anterior:

N_p : N° de espiras del bobinado primario.

N_s : N° de espiras del bobinado secundario.

V_p : Voltaje primario.

V_s : Voltaje secundario.

Para la relación que existe entre el número de espiras y el voltaje es:

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s}$$

Si no hay movimiento relativo entre las bobinas, la frecuencia del voltaje inducido en la segunda bobina es exactamente la misma que la frecuencia en la primera. Si se conecta una carga al secundario provocará que circule una corriente, transfiriendo la energía de circuito a otro sin tener ningún tipo de conexión eléctrica solo transmitida por acción electromagnética, a esto se le llama acción transformadora.

Clasificación de los transformadores

- ❖ Según su potencia existen transformadores de distribución y de potencia.
- ❖ Según el Tipo de Refrigeración existen transformadores secos y en aceite dieléctrico.
- ❖ Según el sistema de voltaje existen transformadores monofásicos, bifásicos, trifásicos y polifásicos.
- ❖ Según su función existen transformadores de distribución, medida y protección.
- ❖ Según el lugar de instalación se clasifican en transformadores para uso interior y para intemperie.
- ❖ Según su elevación o disminución de tensión existen transformadores elevadores y reductores.
- ❖ Según el tipo de núcleo existen transformadores acorazados y de columnas.

Figura 3. Tipos de transformadores

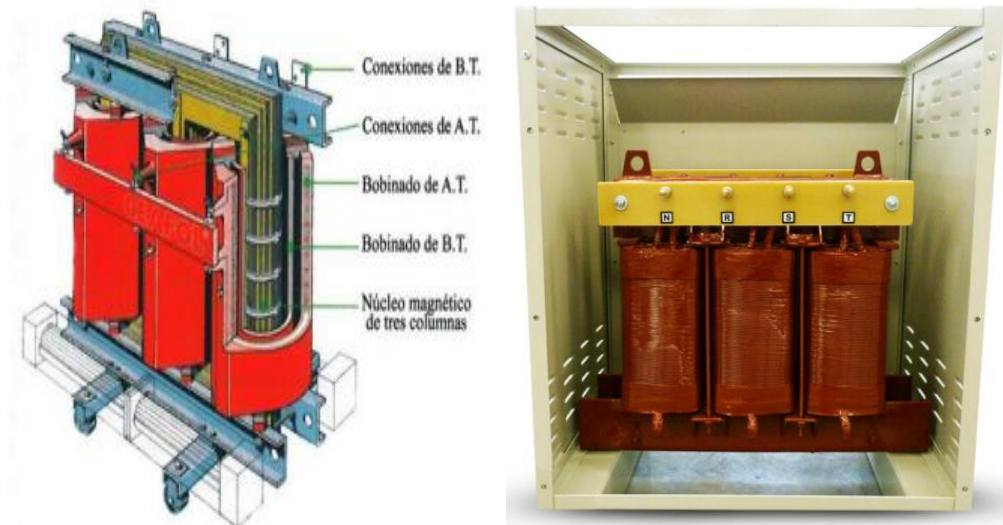


Fuente: Empresa FASETRON S.C.R.L

Transformador trifásico

El transformador trifásico en concepto equilibrado tiene en su lado primario un sistema simétrico de tensiones conectadas, en su lado secundario puede estar en vacío o conectadas a carga, del cual las impedancias son iguales. En su sistema trifásico, tanto el primario o secundario pueden estar conectados en estrella o triángulo, con o sin un conductor neutro. Un banco trifásico es representado por tres transformadores monofásicos iguales.

Figura 4. Transformador trifásico



Fuente: empresa FASETRON S.C.R.L

Principales aspectos constructivos

Núcleo

Se denomina núcleo del transformador al sistema que forma su circuito magnético, que está constituido por chapas de acero al silicio, modernamente laminadas en frío (grano orientado), que han sido sometidas a un tratamiento químico especial denominado comercialmente carlite, que las recubre de una capa aislante muy delgada, lo que reduce considerablemente las pérdidas en el hierro.

El circuito magnético está compuesto por columnas, que son las partes donde se montan los devanados, y las culatas (yugos), que son las partes que realizan la unión entre columnas.

Los espacios entre las columnas y las culatas, por los cuales pasan los devanados, se llaman ventanas del núcleo. Según sea la posición relativa entre el núcleo y los devanados, los transformadores se clasifican en acorazados y tipo columnas.

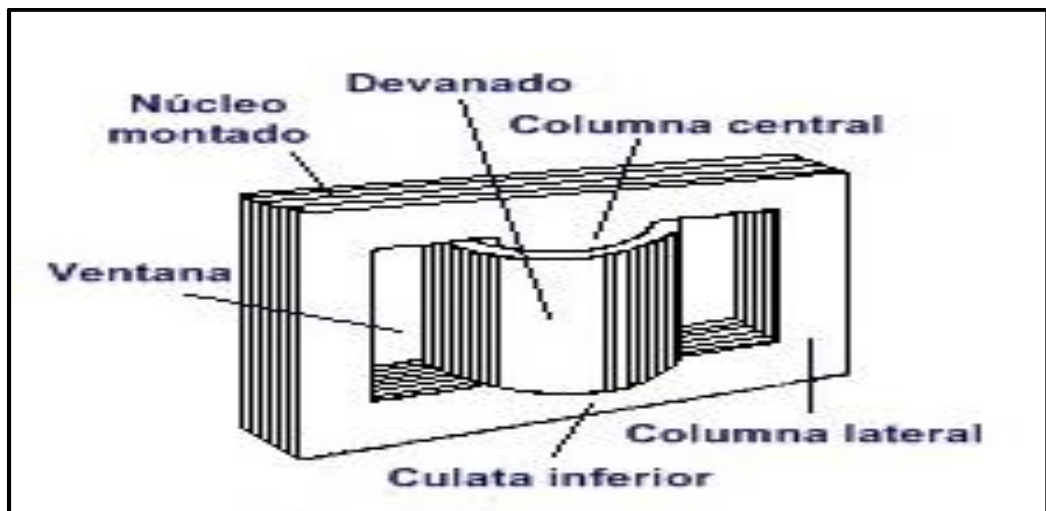
Núcleo tipo acorazado:

El proceso de fabricación es exactamente el mismo que en los transformadores de "columnas", la diferencia fundamental se basa en que en

los transformadores “acorazados” el circuito magnético se apila en la última etapa del montaje, es decir, una vez caladas las fases en la parte inferior de la cuba.

Los circuitos magnéticos de estos transformadores presentan diferencias muy notables respecto de los de “Columnas”. La sección transversal es rectangular en lugar de escalonada, es decir dentro de una misma columna, las chapas tienen la misma anchura.

Figura 5. Núcleo acorazado



Fuente: <http://imseingenieria.blogspot.com/2018/08/circuitos-magneticos-de-columnas-y.html>

Los transformadores trifásicos “acorazados” se denominan de “flujo libre” a diferencia de los de “columnas” que se denominan de “flujo ligado”, esto es debido a que en realidad un transformador trifásico “acorazado” está compuesto por tres transformadores monofásicos con ciertos elementos del circuito magnético comunes y dentro de una sola cuba.

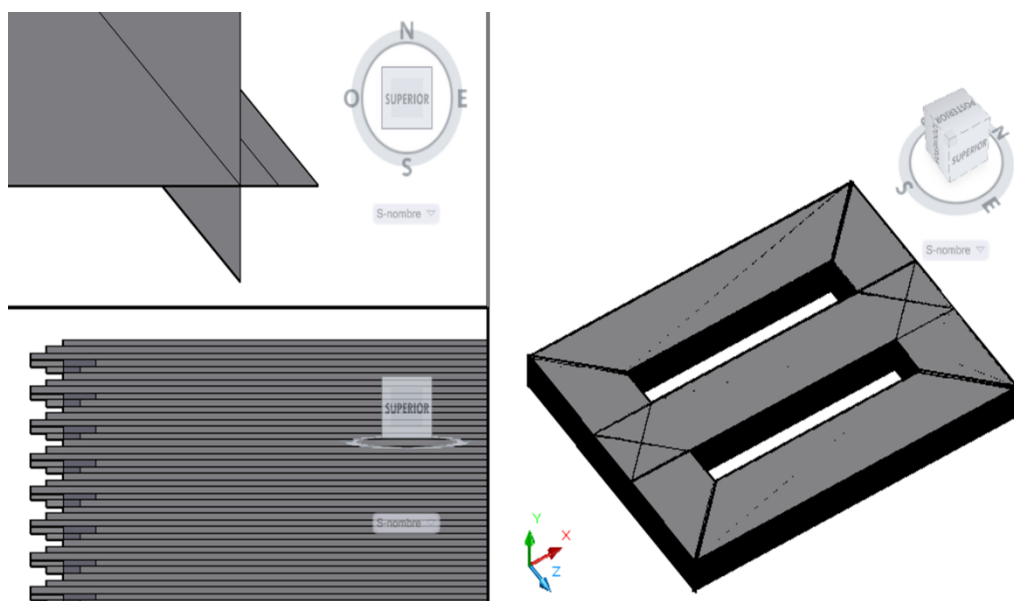
Núcleo tipo columnas:

Los circuitos magnéticos de los transformadores denominados de “columnas” están formados por las columnas o núcleos, activos o de retorno

del flujo magnético, y las culatas superior e inferior, piezas que sirven de enlace y cierre del flujo magnético entre las columnas.

En el circuito magnético (de columnas) de los transformadores trifásicos, la columna central es generalmente, con relación a la densidad de flujo, menor que las externas, lo cual provoca desequilibrios y armónicos en la corriente de excitación (en vacío), si bien no suelen afectar cuando el transformador funciona en carga.

Figura 6. Núcleo tipo columnas trifásico - corte45°



Fuente: Empresa FASETRON S.C.R.L.

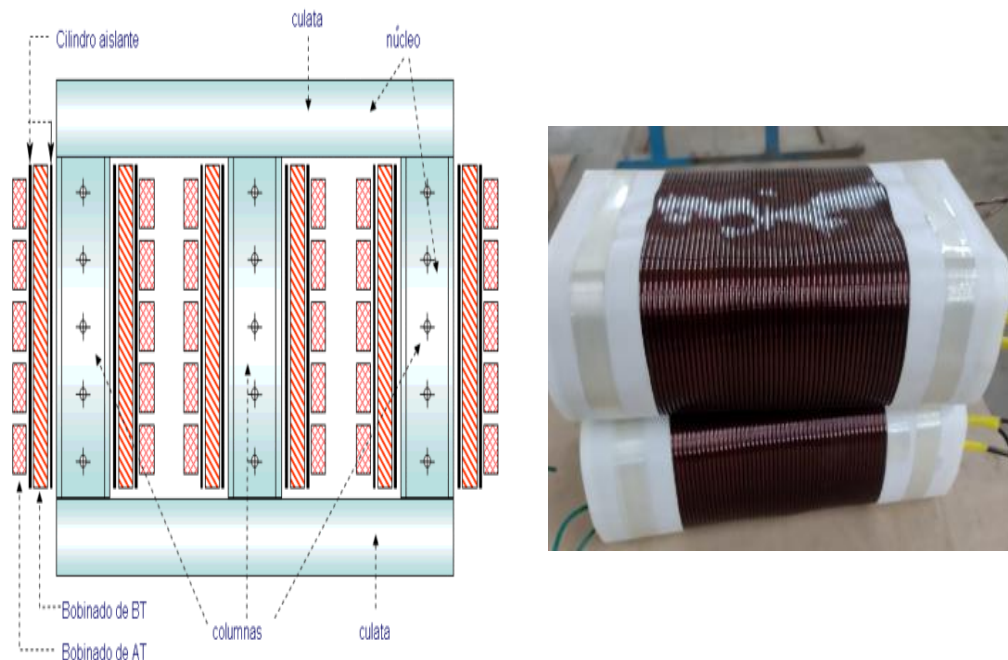
Devanados

El devanado de un transformador no es más que los conductores arrollados sobre el núcleo, conforman el circuito eléctrico de un transformador, son bobinas de cobre o aluminio previamente aisladas con resinas especiales curadas en horno a temperaturas específicas. En la construcción de transformadores pequeños usados en bajas tensiones, se usan conductores de sección circular y en los transformadores para altas potencias se suelen usar conductores de sección rectangular. Estos bobinados deben contar con la capacidad mecánica para soportar los esfuerzos electrodinámicos para no sufrir deformaciones aun cuando se presente un cortocircuito, para adiconar a esta resistencia mecánica los bobinados se realizan con construcciones

especiales teniendo en cuenta la presión y sentidos de arrollamiento, que evitan el posible movimiento de las espiras.

Las secciones, los materiales aislantes, el número de vueltas, el tipo de arrollamiento sobre el núcleo, de estos conductores, dependen de la potencia para la cual se diseñen los transformadores. La manera como se efectúa el devanado sobre los núcleos determina el diseño de los transformadores y su definición.

Figura 7. Devanado primario y secundario



Fuente: empresa FASETRON S.C.R. L

Conexiones de transformadores trifásicos

De acuerdo a la norma IEC60076-1 se explica las siguientes definiciones de conexiones:

Conexión en estrella (conexión en Y)

Conexión de los arrollamientos en la que un extremo de cada arrollamiento de fase de un transformador trifásico, o de cada arrollamiento de la misma

tensión asignada para los transformadores monofásicos que constituyen un banco trifásico, está conectado a un punto común (punto neutro), estando conectado el otro extremo al borne de línea correspondiente.

Conexión en triángulo (conexión D)

Conexión en serie de los arrollamientos de fase de un transformador trifásico o de los arrollamientos de la misma tensión asignada de transformadores monofásicos que constituyen un banco trifásico, efectuada de forma que se realice un circuito cerrado.

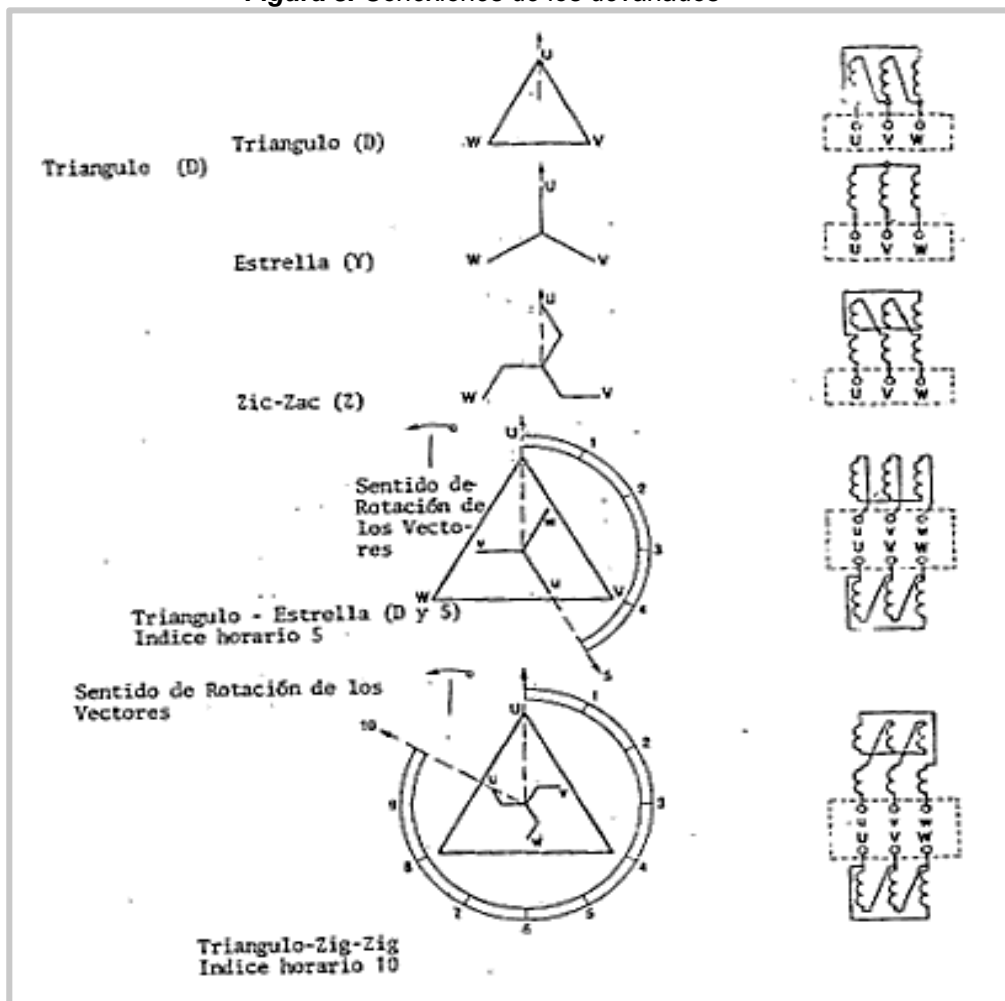
Conexión en triángulo abierto

Conexión en serie de los arrollamientos en la que los arrollamientos de fase de un transformador trifásico o de arrollamientos de la misma tensión asignada de transformadores monofásicos que constituyen un banco trifásico, están conectados en triángulo sin cierre de triángulo en uno de sus vértices.

Conexión en zig-zag (conexión Z)

Conexión de los arrollamientos de forma que un extremo de cada arrollamiento de fase de un transformador trifásico se conecta a un punto usual (punto neutro) y de donde cada arrollamiento de fase consta de dos partes en las que se inducen tensiones desfasadas.

Figura 8. Conexiones de los devanados



Fuente: Norma ITINTEC 370.002

Designación según el modo de enfriamiento

Símbolos a utilizar

Todo tipo de transformador es designado de acuerdo al modo de enfriamiento utilizado.

Tabla 1. Símbolos literales de modo de enfriamiento.

Naturaleza del agente	Símbolo
Aceite mineral	O
Askarel	L
Gas	G
Agua	W
Aire	A
Aislante sólido	S
Tipo de circulación	
Natural	N
Forzada	F
Dirigida (a través de los enrollamientos)	D

Fuente: Norma ITINTEC 370.002.

Disposición de los símbolos

A excepción de los transformadores del tipo seco con envolvente protegida cuyo símbolo es AB, los transformadores deberán ser designados por 4 símbolos de acuerdo a cada uno de los modos de enfriamiento para los cuales ha sido previsto un régimen normal del fabricante.

Tabla 2. Orden de símbolos

1era letra	2da letra	3era letra	4ta letra
Concierne al agente refrigerante que está en contacto con los enrollamientos		Concierne al agente refrigerante que está en contacto con la envoltura	
Tipo del agente refrigerante	Tipo de circulación	Tipo del agente refrigerante	Tipo de circulación

Fuente: norma ITINTEC 370.002.

Clases térmicas de aislamiento en transformadores secos

Los tipos de materiales aislantes utilizados en la construcción de los arrollamientos del transformador son los que determinan la temperatura máxima de trabajo del equipo. La mayor aptitud y resistencia a la temperatura de los materiales aislantes empleados determinarán la clasificación de su clase térmica, estableciendo la temperatura máxima del punto más caliente de los arrollamientos y la sobreelevación de temperatura respecto de la temperatura ambiente. La norma ITINTEC 370.002/ IEC 60076-1 establece la clasificación de la tabla 4.

La tabla 3 establece los límites máximos de calentamiento en los arrollamientos del transformador en condiciones normales de servicio. Es así como están indicados los valores límites de temperatura en los arrollamientos en las normas ITINTEC 370.002 / IEC 60076-11.

Tabla 3. Temperatura del sistema de aislamiento

Temperatura del sistema de aislamiento	Límite de calentamiento medio de los arrollamientos con la corriente asignada
105 (A) °C	60 °C
120 (E) °C	75 °C
130 (B) °C	80 °C
155 (F) °C	100 °C
180 (H) °C	125 °C
200 °C	135 °C
220 °C	150 °C

Fuente: norma ITINTEC 370.002 / IEC 60076-1.

Existen, asimismo, situaciones en donde, dado el tipo de servicio al que será sometido el equipo, el usuario decide utilizar una clase térmica superior a la

necesaria como reserva de potencia, frente a mayores demandas puntuales, teniendo en cuenta el incremento de las pérdidas en cortocircuito de la máquina. Estadísticamente, la clase térmica más usada en la región en este tipo de transformadores es la “F” (155 °C, con una sobreelevación de 100 °C) y, en segundo lugar, la clase H (180°C con una sobreelevación de 125 °C).

Existen casos particulares en donde al usuario le resulta de utilidad un transformador de una clase determinada, pero que posea una sobreelevación de temperatura menor a la establecida. Por ejemplo, un transformador con clase “H” de 180 °C, pero que posea una sobreelevación de 100 °C correspondiente a un equipo de clase F. Esta condición implica que el equipo está construido con materiales acordes al nivel de aislamiento de la clase H, pero que a potencia nominal no superará los 100 °C de sobreelevación. Esto, sumado a la máxima temperatura ambiente admitida de 40 °C y a los 15 °C que la norma establece como diferencia al punto más caliente, da por resultado 155 °C de temperatura total (25 °C por debajo de la máxima de la clase H).

Tabla 4. Clase de aislamiento

Clase de aislamiento	Temperatura ambiente	Punto caliente	Sobre elevación	Temperatura total
F	40 °C	15 °C	100 °C	155 °C
H	40 °C	15 °C	125 °C	180 °C

Fuentes: norma ITINTEC 370.002 / IEC 60076-1.

Diseño de transformador trifásico

Consideraciones generales:

Antes de conocer cómo se hallan los cálculos para un transformador trifásico, debemos tener en cuenta las siguientes definiciones y conceptos:

Conductor: Se denomina conductor a todo material que permite el paso continuo de una corriente eléctrica, cuando está sometido a una diferencia de potencial eléctrico.

Bobinado: Es un conductor enrollado, al pasar una corriente a través de la bobina, alrededor de la misma se crea un campo magnético que tiende a oponerse a los cambios bruscos de la intensidad de la corriente.

Espiras: Arrollamiento o vueltas de alambre conductor que conforman las bobinas de un transformador.

Densidad de corriente: Se define como la magnitud de intensidad que circula por unidad de sección de un conductor.

Frecuencia: Número de ciclos o periodos por segundo de una corriente alterna

Flujo eléctrico: En electromagnetismo, el flujo eléctrico, o flujo electrostático, es una magnitud escalar que expresa una medida del campo eléctrico que atraviesa una determinada área.

Intensidad de corriente: Es la carga eléctrica que atraviesa una sección del conductor en una unidad de tiempo.

Tensión: La tensión eléctrica o diferencia de potencial es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.

Voltaje: Es la medida de la tensión eléctrica.

Sección: Área de la punta de un conductor, se determina a partir del radio o diámetro.

Pérdidas de un transformador: son debidas a la resistencia en los circuitos magnéticos y eléctricos del transformador, producidas por efecto Joule en un conductor cuando circula una determinada corriente eléctrica, transformándose en energía térmica.

Fórmulas aplicadas para el diseño del transformador trifásico

- **Cálculo de tensión por espira (E)**

$$E = 0.45\sqrt{Sn} \quad (\text{voltios/espira})$$

Sn : potencia nominal en kVA

- **Cálculo de sección transversal de la columna del núcleo (A_{fe})**

$$A_{fe} = \frac{E}{4.44 \times f \times B} \times 10^4 \quad (cm^2)$$

f : frecuencia (Hz), B : densidad de flujo magnético (Wb/m²)

- **Cálculo de número de planchas (N_{pl}°).**

$$N_{pl}^{\circ} = \frac{A_{fe} \times 100}{0.96 \times a_{pl} \times e_{pl}}$$

a_{pl} : ancho de plancha(mm), e_{pl} : espesor de plancha(mm)

- **Espesor de escalón (e_{esc}).**

$$e_{esc} = N_{pl.real}^{\circ} \times e_{pl} \quad (\text{mm})$$

- **Cálculo de sección transversal de la columna del núcleo real ($A_{fe.real}$).**

$$A_{fe.real} = \frac{e_{esc} \times a_{pl} \times 0.96}{100} \quad (cm^2)$$

- **Cálculo de número de espiras del bobinado secundario ($N_{esp.b.s}^{\circ}$).**

$$N_{esp.b.s}^{\circ} = \frac{U_{fb.s} \times 10^8}{4.44 \times f \times A_{fe.real} \times B}$$

$U_{fb.s}$: tensión de fase del bobinado secundario (V)

- **Cálculo de número de espiras del bobinado primario ($N_{esp.b.p}^{\circ}$).**

$$N_{esp.b.p}^{\circ} = \frac{N_{esp.b.s}^{\circ} \times U_{fb.p}}{U_{fb.s}}$$

$U_{fb.p}$: tensión de fase del bobinado primario (V)

- **Cálculo de la corriente de línea o corriente nominal ($I_n = I_{linea}$).**

Para determinar la corriente nominal del transformador se utiliza la siguiente fórmula:

$$I_n = I_{linea.} = \frac{Sn}{U_n \times \sqrt{3}} \quad (\mathbf{A})$$

U_n : tensión nominal (V)

- **Cálculo de la corriente de fase (I_f)**

Para determinar la corriente fase de cada bobinado se debe tener en cuenta el tipo de conexión:

Conexión trianguló o delta (D)

$$I_f = \frac{I_{linea.}}{\sqrt{3}} \quad (\mathbf{A})$$

$$U_f = U_{linea} \quad (\mathbf{V})$$

Conexión estrella (Y)

$$I_f = I_{linea.} \quad (\mathbf{A})$$

$$U_f = \frac{U_{linea.}}{\sqrt{3}} \quad (\mathbf{V})$$

- **Cálculo de la sección del conductor ($S_{cond.}$)**

$$S_{cond.} = \frac{I_f}{\rho_{cond.}} \quad (\text{mm}^2)$$

$\rho_{cond.}$: densidad de corriente del conductor (A/mm²)

- **Cálculo de la longitud neta del bobinado ($L_{N.bob}$)**

$$L_{N.bob} = (N^{\circ}_{esp/capa} + 1)(N^{\circ}_{cond.juntos} \times a_{cond.aisl.}) \quad (\text{mm})$$

$N^{\circ}_{esp/capa}$: número de espiras por capa

$N^{\circ}_{cond.juntos}$: número de conductores juntos

$a_{cond.aisl.}$: ancho de conductor con aislamiento (mm)

- **Cálculo de la longitud total del bobinado ($L_{T.bob}$)**

- $L_{T.bob} = L_{N.bob} + a_{relleno} \quad (\text{mm})$

$a_{relleno}$: ancho de relleno (mm)

- **Cálculo de espesor de aislamiento entre capas del bobinado ($e_{aisl.capas}$)**

$$e_{aisl.capas} = \frac{4xN^{\circ}_{esp/capa} \times U_{f.bob}}{R.D.P \times N^{\circ}_{esp}} \quad (\text{mm})$$

$U_{f.bob}$: tensión de fase del bobinado (V)

N°_{esp} : número de espiras del bobinado

- **Cálculo del espesor lateral del bobinado secundario ($e_{lat.b.s}$).**

$$e_{lat.b.s} = F.C (N^{\circ}_{capasb.s} \times e_{cond.aisl.b.s} + (N^{\circ}_{capasb.s} - 1)(e_{aisl.capasb.s}) \quad (\text{mm})$$

$F.C$: factor de crecimiento del bobinado

$N^{\circ}_{capasb.s}$: número de capas de Bob. Secundario

$e_{cond.aisl.b.s}$: espesor de conductor con aislamiento de Bob. secundario

- **Cálculo del diámetro interior del bobinado secundario ($D_{int.b.s}$).**

$$D_{int.b.s} = 2x(a_{pl} + e_{esc} + 2(e_{ad.molde}) + 1 + \pi(e_{aisl.BS/N}) \quad (\text{mm})$$

$e_{ad.molde}$: espesor adicional para el molde (mm)

$e_{aisl.BS/N}$: espesor aislamiento bobina secundaria-núcleo (mm)

- **Cálculo del diámetro exterior del bobinado secundario ($D_{ext.b.s}$).**

$$D_{ext.b.s} = (D_{int.b.s}) + 2\pi(e_{lat.b.s}) + 2(e_{canal.refb.s})(N^{\circ}_{canal.ref.b.s}) \quad (\text{mm})$$

$e_{canal.refb.s}$: espesor de canal de refrigeración del Bob. Secundario (mm)

$N^{\circ}_{canal.ref.b.s}$: número de canales de refrigeración del Bob. Secundario (mm)

- **Cálculo del diámetro interior del bobinado primario ($D_{int.b.p}$).**

$$D_{int.b.p} = D_{ext.b.s} + 2(e_{aisl.BS/N}) \pi + 2(e_{canal.ref.bp/bs}) \quad (\text{mm})$$

$e_{canal.ref.bp/bs}$: espesor canal de refrigeración bp/bs (mm)

$e_{aisl.BS/N}$: espesor aislamiento bobina secundaria-núcleo (mm)

- **Cálculo del diámetro exterior del bobinado primario ($D_{ext.b.p}$).**

$$D_{ext.b.p} = (D_{int.b.p}) + 2\pi(e_{lat.b.p}) + 2(e_{canal.ref.b.p})(N^{\circ}_{canal.ref.b.p}) \quad (\text{mm})$$

$e_{canal.ref.b.p}$: espesor de canal de refrigeración del Bob. primario (mm)

$N^{\circ}_{canal.ref.b.s}$: número de canales de refrigeración del Bob. primario (mm)

- **Cálculo de resistencia del bobinado secundario a 75°C ($R_{75^{\circ}C.b.s}$).**

$$R_{75^{\circ}C.b.s} = 3.8 N^{\circ}_{esp.b.s} \times 10^{-5} \times \left(\frac{D_{int.b.s} + D_{ext.b.s}}{2 S_{cond.b.s}} \right) \quad (\Omega)$$

- **Cálculo de pérdidas del bobinado secundario a 75°C ($P_{75^{\circ}C.b.s}$).**

$$P_{75^{\circ}C.b.s} = 3 R_{75^{\circ}C.b.s} (I_{fb.s})^2 \quad (\text{w})$$

$I_{fb.s}$: corriente de fase del bobinado secundario (A)

- **Cálculo del peso del conductor del bobinado secundario ($Peso_{b.s}$).**

$$Peso_{b.s} = 3 \left(2.7 \times 1.05 \times N^{\circ}_{esp.b.s} \times b.s \times S_{cond} \times 10^{-6} \times \frac{D_{int.b.s} + D_{ext.b.s}}{2} \right) \quad (\text{kg})$$

- **Cálculo del salto de temperatura del bobinado (ΔT)**

Esta fórmula aplica cuando el conductor a utilizar es del tipo **pletina**.

$$\Delta T = \frac{3.68 \times S_{cond.} \times \rho_{cond.}^2 \times \xi}{750 \left[a_{condsinaisl.} + 2 \left(\frac{a_{cond.aisl.} - a_{condsinaisl.}}{3} \right) \right]} \left(\frac{N^{\circ} capas}{N^{\circ} canal.ref. + 1} \right) \times 71.43 +$$

$$\left(a_{cond.aisl.} - a_{condsinaisl.} + e_{aisl.capas} \right) \xi \times \left(\frac{\frac{N^{\circ} capas}{N^{\circ} canal.ref.} + 0.45}{0.054} \right) (1 +$$

$$0.01 \left(\frac{a_{condsinaisl.}}{a_{cond.aisl.}} \right)^2 \times 1.34 \times 10^{-3} \times e_{condsinaisl.}^4) \left[(\tau \times N^{\circ} capas)^2 - 0.2 \right]$$

(°C)

ξ : Constante que depende de la disposición del conductor y de los canales de refrigeración de la bobina.

τ : Constante que depende de la disposición del conductor

$a_{condsinaisl.}$: ancho del conductor sin aislamiento (mm)

$e_{condsinaisl.}$: espesor del conductor sin aislamiento (mm)

- **Cálculo de la superficie de disipación de calor teórica ($Sdc_{teorica}$)**

$$Sdc_{teorica} = \frac{P_{nucleo} + P_{totales\ 115^{\circ}C. \text{ bobinado}}}{\psi \left\langle \frac{\left[\left(\frac{Ts - Tamb.}{1.05} \right) \left\{ 1 - 0.004 \left(\frac{altitud - 1000}{100} \right) \right\} \right] - \Delta T_{promedio}}{0.85} - 8 - \lambda \right\rangle}$$

Ts : temperatura de servicio del transformador.

$Tamb.$: temperatura ambiente máxima

λ : temperatura de reducción

ψ : factor de disipación térmica

- **Cálculo de la distancia entre ejes del núcleo magnético ($D_{ejes\ nucleo}$).**

$$D_{ejes\ nucleo} = a_{pl} + e_{ad.molde} + F.C \times 2 \left(e_{aisl.\frac{BS}{N}} + e_{aisl.\frac{BS}{BP}} + 2(e_{lat.b.s} + e_{lat.b.p}) \right) + AISL_{entre.fases}$$

$F.C$: 1.15 factor de crecimiento

$e_{\text{aisl.}\frac{BS}{BP}}$: espesor de aislamiento bobinado secundario/primario.

$e_{\text{aisl.}\frac{BS}{N}}$: espesor de aislamiento bobinado secundario/núcleo.

$AI\text{SL}_{\text{entre.fases}}$: 10mm , aislamiento entre fases

- **Cálculo del ancho de ventana del núcleo magnético ($a_{\text{ventana nucleo}}$).**

$$a_{\text{ventana nucleo}} = D_{\text{ejes nucleo}} - a_{pl}$$

- **Cálculo del ancho total del núcleo magnético ($a_{\text{total nucleo}}$).**

$$a_{\text{total nucleo}} = 2 \times D_{\text{ejes nucleo}} + a_{pl}$$

- **Cálculo de altura total del núcleo magnético ($alt_{\text{total nucleo}}$).**

$$alt_{\text{total nucleo}} = L_{\text{ventana.nucleo}} + 2 \times a_{pl}$$

$L_{\text{ventana.nucleo}}$: longitud de ventana de núcleo.

dado por: $L_{\text{ventana.nucleo}}: L_{T.bob} + 2e_{\text{taco.BS}}$

$e_{\text{taco.BS}}$: espesor de taco de bobina secundaria

- **Cálculo del peso total del núcleo magnético ($P_{\text{eso total nucleo}}$).**

$$P_{\text{eso total nucleo}} = \frac{1.005(3 \times alt_{\text{total nucleo}} + 4 \times a_{\text{ventana nucleo}}) \times 7.65 \times A_{fe.real} \times 10^{-4}}{0.96}$$

- **Cálculo de las pérdidas en el núcleo magnético (P_{nucleo}).**

$$P_{\text{nucleo}} = P_{\text{eso total nucleo}} \times P_{\text{esp}} \times f.t \times 0.96$$

$f.t$: factor de trabajo, esto depende de acuerdo al tipo de corte de núcleo y armado.

P_{esp} : pérdidas específicas, se determina de la curva magnética de saturación del núcleo

0.96: factor de apilamiento del material

Pruebas eléctricas realizadas a transformadores.

Pruebas de rutina:

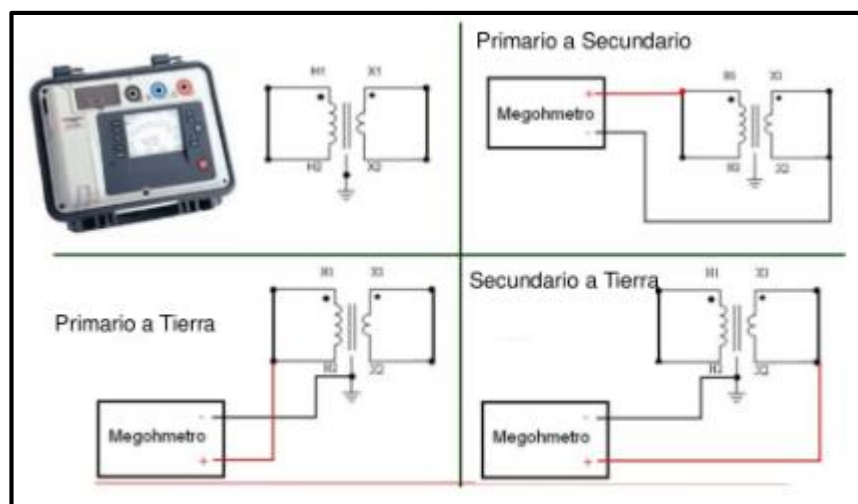
Todas las pruebas que se proceden a transformadores son de acuerdo a la Norma Oficial Peruana ITINTEC 370-002 y la IEC Pub. 76. Las pruebas de rutina realizadas son las siguientes:

● Resistencia de Aislamiento

Se hace después de que el transformador ha terminado su proceso de secado y se encuentre a una temperatura entre 0 y 40 °C. Esta prueba sirve para determinar la cantidad de humedad e impurezas que contienen los aislamientos del transformador. La prueba se efectúa con un megohmetro digital o analógico, durante un minuto para cada caso. Se medirá el aislamiento entre:

- ❖ Bobinado Primario y Bobinado secundario
- ❖ Bobinado primario y masa
- ❖ Bobinado secundario y masa

Figura 9. Diagrama de conexión de medida de aislamiento



Fuente: ficha técnica de la empresa MEGGER

● Resistencia Óhmica de los devanados

El ensayo debe ser efectuado con corriente continua y con puentes de gran precisión como los de WHEATSTONE, KELVIN y/o THOMSON. Esta prueba nos sirve para comprobar si las conexiones internas fueron sujetadas firmemente, así como también obtener información para calcular las pérdidas de cobre o aluminio y calcular la temperatura de los devanados en la prueba de calentamiento. Al realizar la prueba se debe verificar la temperatura ambiente a la cual se está desarrollando la prueba.

La resistencia de los devanados es generalmente referida a la temperatura de operación a plena carga por medio de la siguiente ecuación:

$$R_1 = R_2 \left(\frac{K_M + T_1}{K_M + T_2} \right)$$

Donde:

R_1 : resistencia referida a la temperatura T_1

R_2 : resistencia referida a la temperatura T_2

T_1 : temperatura de referencia según norma

T_2 : temperatura del devanado en el momento de medición

K_M : constante depende del material usado 234.5(cobre) y 225(aluminio)

Figura 10. Equipo de prueba de resistencia de devanados - miliohmímetro



Fuente: empresa FASETRON S.C.R.L

●Relación de Transformación y Polaridad

Se define relación de transformación como la relación de las tensiones nominales de bobinado Primario y secundario, o sea nos determina si la tensión suministrada puede ser transformada a la tensión deseada con qué porcentaje de error.

$$a = \frac{N_1}{N_2} \approx \frac{V_1}{V_2} \approx \frac{A_1}{A_2}$$

Para calcular el error en porcentaje utilizamos la siguiente fórmula:

$$\%ERROR = \frac{\text{valor teorico} - \text{valor real}}{\text{valor teorico}} \times 100$$

El objetivo de la prueba de polaridad es determinar el desplazamiento angular expresado en grados entre el vector que representa la tensión de línea a neutro de una fase de A.T. Y el vector que representa la tensión de línea a neutro de B.T. La polaridad es importante si los transformadores han de ser conectados en paralelo.

Figura 11. Equipo de prueba de relación de transformación -TTR

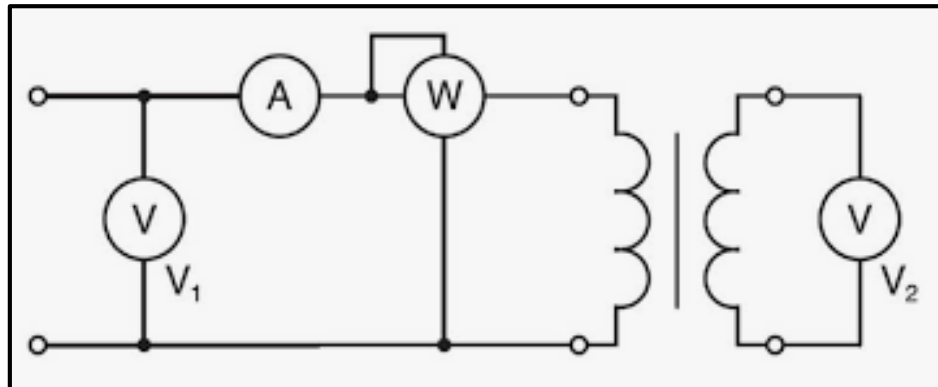


Fuente: empresa FASETRON S.C.R.L

● Prueba de Vacío

La prueba en vacío se realiza normalmente por el bobinado de baja tensión (Bobinado Secundario) con el bobinado de alta tensión abierto (Bobinado primario), mediante un regulador de voltaje se llega a la tensión nominal del transformador, para lo cual se toma medidas de la corriente de excitación, de la tensión nominal de llegada y las pérdidas en vacío en Watts.

Figura 12. Esquema de conexión de la prueba de vacío



Fuente: empresa FASETRON S.C.R.L

El objetivo de esta prueba es de calcular las **pérdidas** en vacío, que es la suma de las **pérdidas** por histéresis, más las **pérdidas** por corrientes inducidas en el núcleo (corriente de Foucault)

Figura 13. Analizador de redes de alta precisión

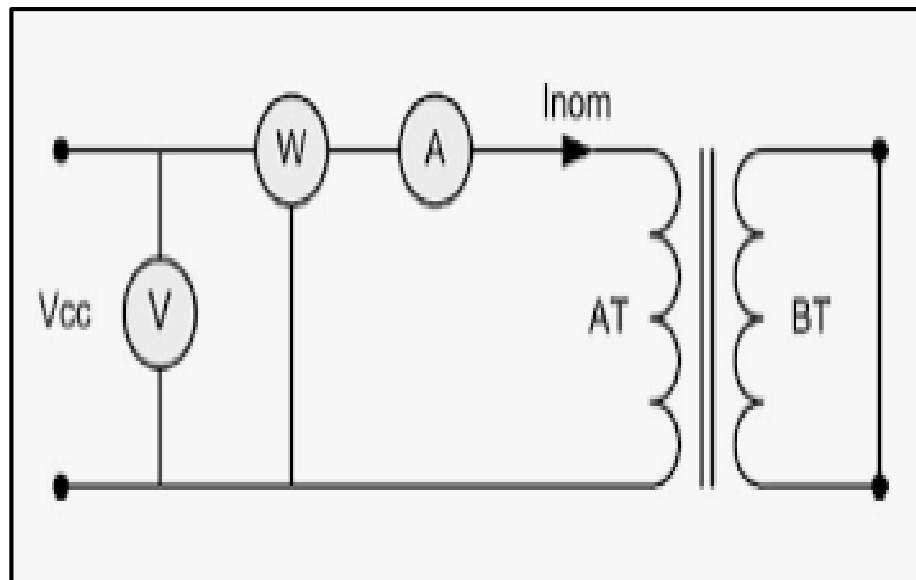


Fuente: empresa FASETRON S.C.R.L

● Prueba de cortocircuito

Para realizar esta prueba se cortocircuita el secundario y se regula la tensión hasta que el transformador llegue a la corriente nominal, por lo tanto, en el primario y secundario circulara la corriente nominal de cada bobinado. Mediante esta prueba obtenemos las **pérdidas** en el bobinado, la tensión de cortocircuito. Las perdidas obtenidas, como la tensión de cortocircuito, deben ser elevadas a la temperatura de referencia del tipo de transformador, teniendo en cuenta que las pérdidas por efecto joule varían directamente con la temperatura y las perdidas adicionales en razón inversa de la temperatura.

Figura 14. Esquema de conexión de la prueba de cortocircuito



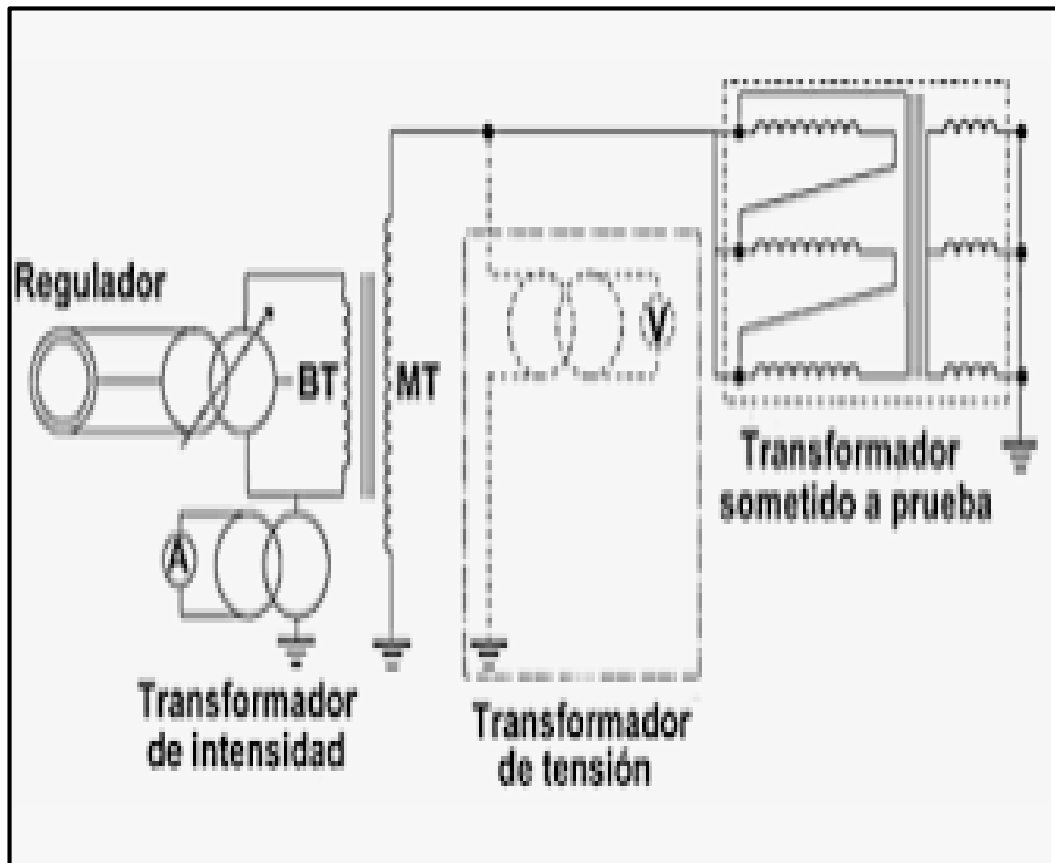
Fuente: empresa FASETRON S.C.R.L

● Prueba de tensión aplicada

Consiste en verificar que el BILL (nivel básico de aislamiento) sea el adecuado, con el objeto de asegurar que el transformador resistirá los esfuerzos eléctricos a los que se verá sometido durante su operación. La prueba se efectúa aplicando una tensión a la frecuencia industrial (60 Hz), durante un minuto. El transformador para la prueba tiene que estar conectado de la siguiente manera, para la **prueba de alta tensión versus baja tensión y masa**. Se cortocircuitan los terminales de ambos arrollamientos entre sí, luego se une la toma de baja tensión con la toma

de tierra del transformador y todo el conjunto se conecta a un pozo a tierra. Luego se aplica la tensión de prueba por el lado de alta tensión con un polo del transformador elevador, mientras el otro polo de este transformador está conectado al pozo a tierra.

Figura 15. Esquema de conexión de la prueba de tensión aplicada



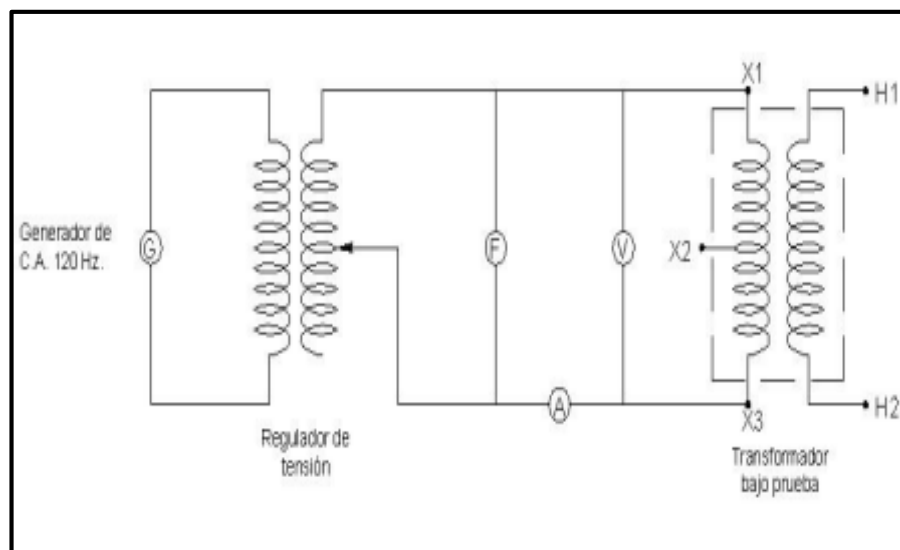
Fuente: empresa FASETRON S.C.R.L

● Prueba de tensión inducida

Esta prueba consiste en probar si el aislamiento entre vueltas, capas y secciones de los devanados del transformador es de la calidad requerida, así como verificar el aislamiento entre bobinas y entre devanados y tierra, la prueba se realiza a doble de tensión nominal y a doble de frecuencia para que no se sature el núcleo, es decir, si la frecuencia es de 60 Hz la prueba se realizará a 120 Hz durante un minuto. La prueba se ejecuta aplicando el

doble de la tensión del bobinado secundario (de preferencia por el de baja tensión), con las conexiones similares a la prueba en vacío. La muestra de que el transformador ha fallado es el desprendimiento de humo, aumento considerable de la corriente magnetizante y caída de la tensión hasta cero.

Figura 16. Esquema de conexión de prueba de tensión inducida



Fuente: empresa FASETRON S.C.R.L

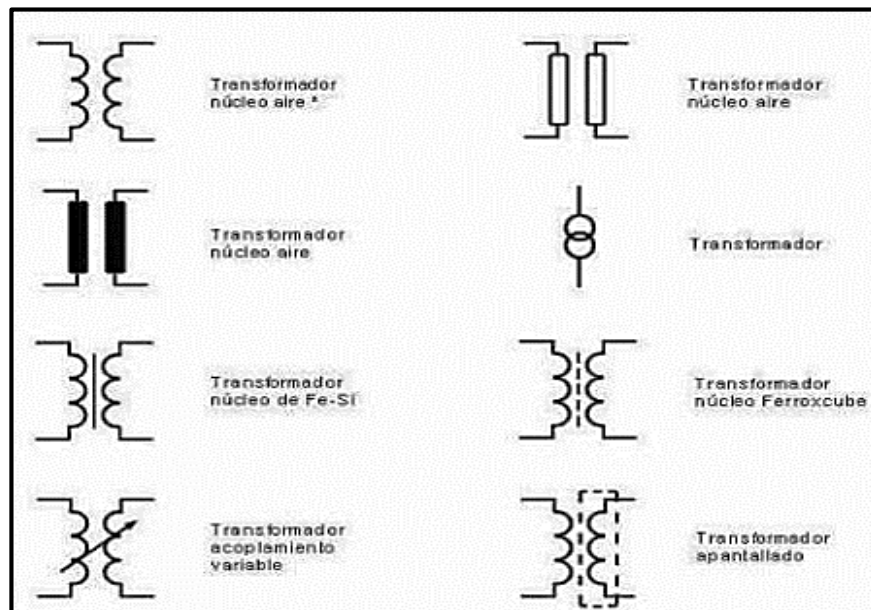
2.1.3. Aspectos Normativos

- ❖ Norma ITINTEC 370.002 / IEC 60076: Diseño, fabricación y prueba
- ❖ Norma IEC 60076-1: Transformadores de potencia. Parte 1: generalidades.
- ❖ Norma IEC 60076-3: Transformadores de potencia. Parte 3: Niveles de aislamiento, ensayos dieléctricos y distancia de aislamiento de aire.
- ❖ Norma IEC 60076-5: Transformadores de potencia. Parte 5: Aptitud para soportar cortocircuitos.
- ❖ Norma IEC 60076-6: Transformadores de potencia. Parte 6: Reactancias.
- ❖ Norma IEC 60076-8: Transformadores de potencia. Parte 8: Guía de aplicación.

- ❖ Norma IEC 60076-11: Transformadores de potencia. Parte 11: Transformadores tipo seco.
- ❖ Norma IEC 60076-12: Transformadores de potencia. Parte 11: Guía de carga para transformadores de tipo seco.

2.1.4. Simbología técnica

Figura 17. Simbología técnica de transformadores



Fuente: Brochure FASETRON S.C.R.L

2.2. Descripción de actividades desarrolladas

2.2.1 Etapas del informe

Primera etapa: revisión del expediente técnico del proyecto.

- ❖ Extracción de información de datos técnicos y características de condiciones de trabajo del transformador (para poder generar una ficha técnica del equipo).

Segunda etapa: elaboración de diseño, cálculo y planos del transformador.

- ❖ En esta etapa se realiza el cálculo de acuerdo a los parámetros y condiciones de trabajo para el diseño del núcleo, bobinas, aislamiento, estructura y demás partes del transformador trifásico, respetando las normas de fabricación NTP ITINTEC 370.002/ IEC 60076.
- ❖ Esta etapa concluye con la elaboración de planos de la parte activa y caja de protección con todas sus medidas del transformador trifásico.

Tercera etapa: elaboración del presupuesto del transformador

- ❖ En esta etapa se efectúa la elaboración del presupuesto a utilizar para la fabricación del transformador.

Cuarta etapa: fabricación y construcción del transformador

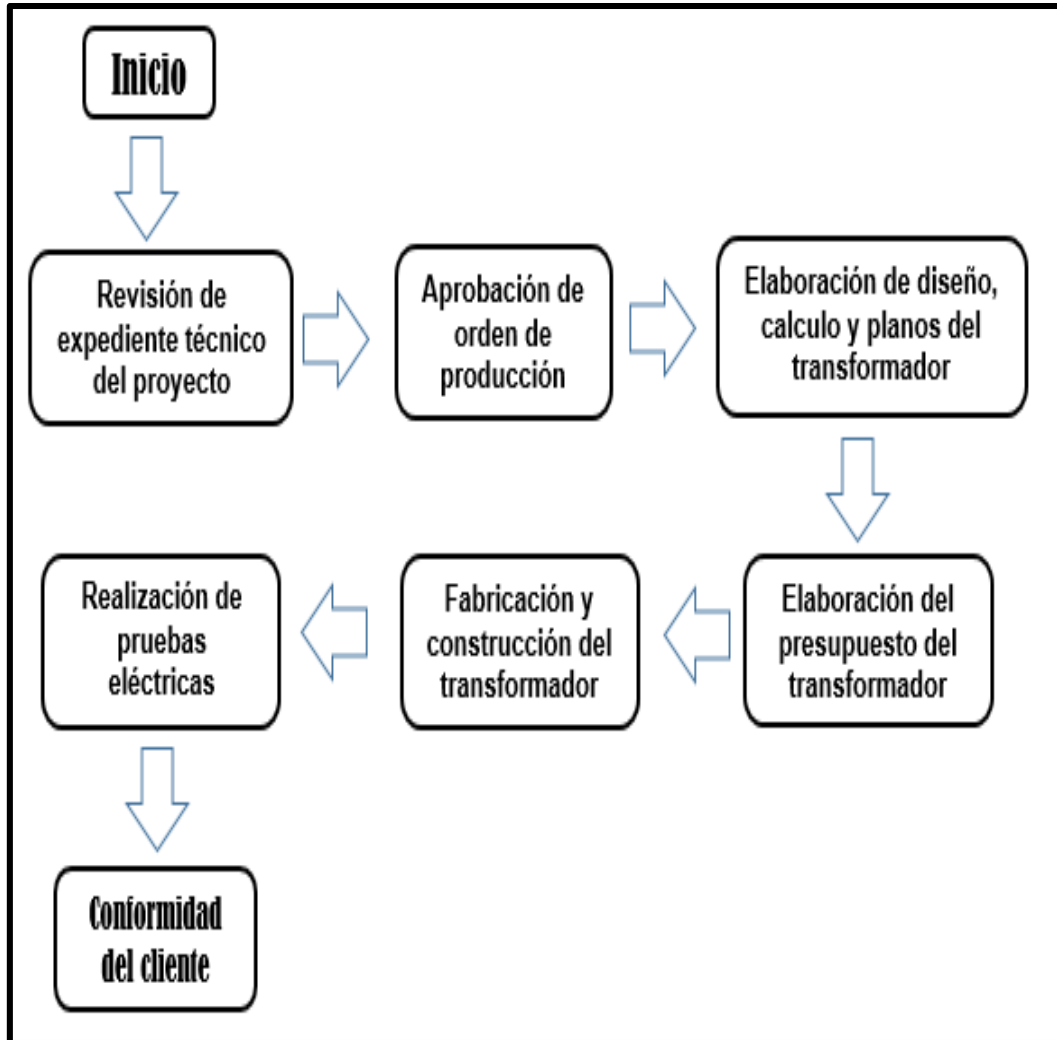
- ❖ Se inicia el proceso de fabricación de cada parte del transformador de acuerdo al diseño y plano entregado en las diferentes áreas de trabajo.
- ❖ Una vez habilitado y terminado todos los componentes del equipo (núcleo, bobina, bridas de sujeción, caja de protección y demás partes), se inicia con el proceso de ensamblado y conexionado del transformador de acuerdo a las características del grupo de conexión.
- ❖ Una vez ensamblado, la parte activa del transformador pasa a un proceso de secado en el horno eléctrico a una temperatura promedio por un tiempo determinado, para luego pasar a un proceso de barnizado.
- ❖ El siguiente proceso es la colocación del tablero de aislamiento(vitronite) con sus pernos de bronce respectivos de acuerdo a la capacidad de corriente del transformador.
- ❖ Para culminar el proceso se culmina con la ubicación de caja de protección.

Quinta etapa: realización de pruebas eléctricas.

- ❖ Se lleva al transformador al laboratorio de pruebas para poder realizarle todas las pruebas eléctricas de acuerdo a las normas establecidas NTP ITINTEC 370.002 / IEC 60076.
 - Prueba de resistencia de aislamiento (Megado)/ (Cigre TB 445).
 - Prueba de resistencia óhmica de los devanados (IEC 60076-11)
 - Prueba de relación de transformación (IEC 60076-11).
 - Ensayo de vacío: medidas de pérdidas en el núcleo (IEC 60076-11).
 - Ensayo de cortocircuito: medidas de pérdidas en los devanados (IEC 60076-11).
 - Ensayo de tensión inducida a doble frecuencia industrial (IEC 60076-11).
 - Ensayo de tensión aplicada a frecuencia industrial de corta duración (IEC 60076-11).
- ❖ Culminado las pruebas se hace la entrega de los certificados de calibración de los equipos, garantía y el protocolo de pruebas.

2.2.2 Diagrama de flujo

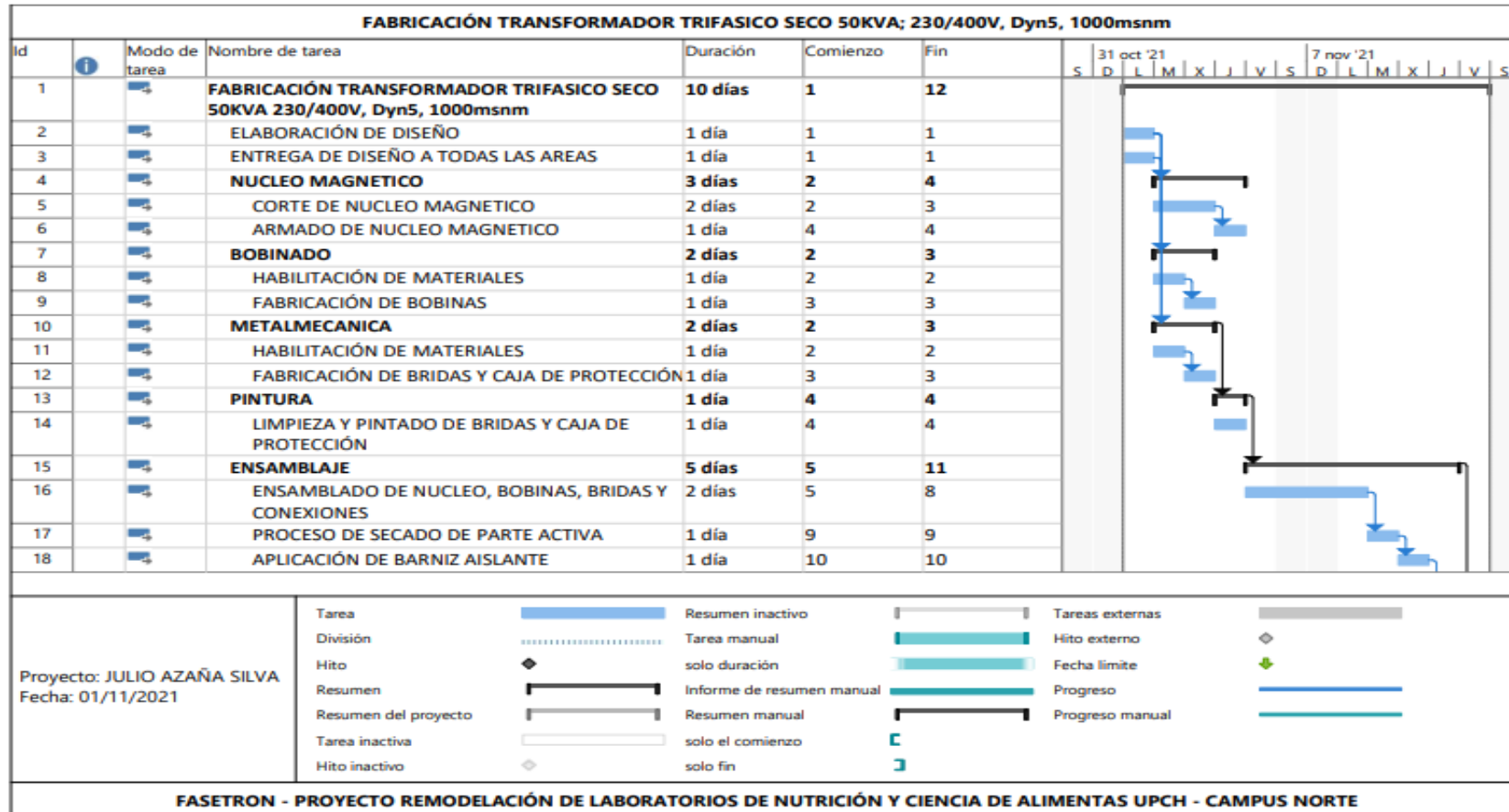
Figura 18. Diagrama de flujo del proceso de elaboración del proyecto



Fuente: Elaboración propia.

2.2.3 Cronograma de actividades

Figura 19. Cronograma del proyecto UPCH



FABRICACIÓN TRANSFORMADOR TRIFASICO SECO 50KVA; 230/400V, Dyn5, 1000msnm																				
Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	31 oct '21 7 nov '21														
						S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S
19		COLOCACIÓN DE TABLERO AISLANTE, PERNOS DE CONEXIÓN, CAJA DE PROTECCIÓN Y SEÑALIZACIÓN GENERAL DEL TRANSFORMADOR	1 día	11	11															
20		PRUEBAS ELECTRICAS	1 día	12	12															

Proyecto: JULIO AZAÑA SILVA Fecha: 01/11/2021	Tarea		Resumen inactivo		Tareas externas	
	División		Tarea manual		Hito externo	
	Hito		solo duración		Fecha limite	
	Resumen		Informe de resumen manual		Progreso	
	Resumen del proyecto		Resumen manual		Progreso manual	
	Tarea inactiva		solo el comienzo			
	Hito inactivo		solo fin			

FASETRON - PROYECTO REMODELACIÓN DE LABORATORIOS DE NUTRICIÓN Y CIENCIA DE ALIMENTAS UPCH - CAMPUS NORTE

Fuente: Elaboración propia

III. APORTES REALIZADOS

Para el proyecto de remodelación de los laboratorios de la UPCH se realizó un procedimiento de cálculo de acuerdo a las características técnicas y consideraciones de diseño, tomando en cuenta los siguientes datos:

Tabla 5. Características técnicas del transformador

Tipo de transformador	Seco de aislamiento
Potencia nominal	50 kVA
Número de fases	3 fases
Tensión primaria	230 V
Tensión secundaria	400 V
Grupo de conexión	Dyn5
Material del bobinado	Aluminio
Clase de aislamiento	F (155 °C)
Frecuencia	60 Hz
Altura de operación	1000 msnm
Temperatura ambiente máxima	40 °C
Refrigeración	ANAN
Grado de protección	IP21
Montaje	Interior

Fuente: Elaboración propia.

3.1. Diseño y cálculo del transformador seco trifásico 50 kVA 230/400 V Dyn5

❖ Cálculo de tensión por espira.(E)

$$E = 0.45\sqrt{Sn} \quad (\text{voltios/espira})$$

Sn : 50 kVA

Reemplazando la potencia nominal en la fórmula obtenemos:

$$E = 0.45\sqrt{50}$$

$$E = 3.182 \text{ voltios/espira}$$

❖ **Cálculo de sección transversal de la columna del núcleo. (A_{fe})**

$$A_{fe} = \frac{E}{4.44 \times f \times B} \times 10^4 \quad (cm^2)$$

Para este caso se utilizará el material de hierro silicoso de grano orientado de la empresa alemana Powercore de grado C120-27

$B = 15500 \text{ Gauss} = 1.55 \text{ (Wb/m}^2\text{)}$ - se obtiene del gráfico de la curva de saturación (ANEXO N°1)

$e_{pl} = 0.27mm$ - valor elegido por el diseñador

$f: 60 \text{ (Hz)}$

Reemplazando estos datos en la fórmula:

$$A_{fe} = \frac{3.182}{4.44 \times 60 \times 1.55} \times 10^4$$

$$A_{fe} = 77.06cm^2$$

❖ **Cálculo del número de planchas. (N°_{pl})**

Para el cálculo del número de planchas consideraremos un factor de apilamiento de 0.96, con lo cual estará con la corrección necesaria cuando se proceda al armado de núcleo.

$$❖ N^{\circ}_{pl} = \frac{A_{fe} \times 100}{0.96 \times a_{pl} \times e_{pl}}$$

$e_{pl} = 0.27mm$ - Valor elegido por el diseñador

$a_{pl} = 75mm$ - valor elegido por el criterio del diseñador

Reemplazando en la fórmula:

$$N^{\circ}_{pl} = \frac{77.06 \times 100}{0.96 \times 75 \times 0.27}$$

$$N^{\circ}_{pl} = 396.39$$

$$N^{\circ}_{pl} \text{real} = 400 \text{ planchas}$$

Una vez obtenido la cantidad del número de planchas reales se debe reemplazar los valores para calcular el **espesor de escalón** mediante la fórmula siguiente:

$$e_{esc} = N^{\circ}_{pl.real} \times e_{pl} \text{ (mm)}$$

$$e_{esc} = 400 \times 0.27$$

$$e_{esc} = 108 \text{ mm}$$

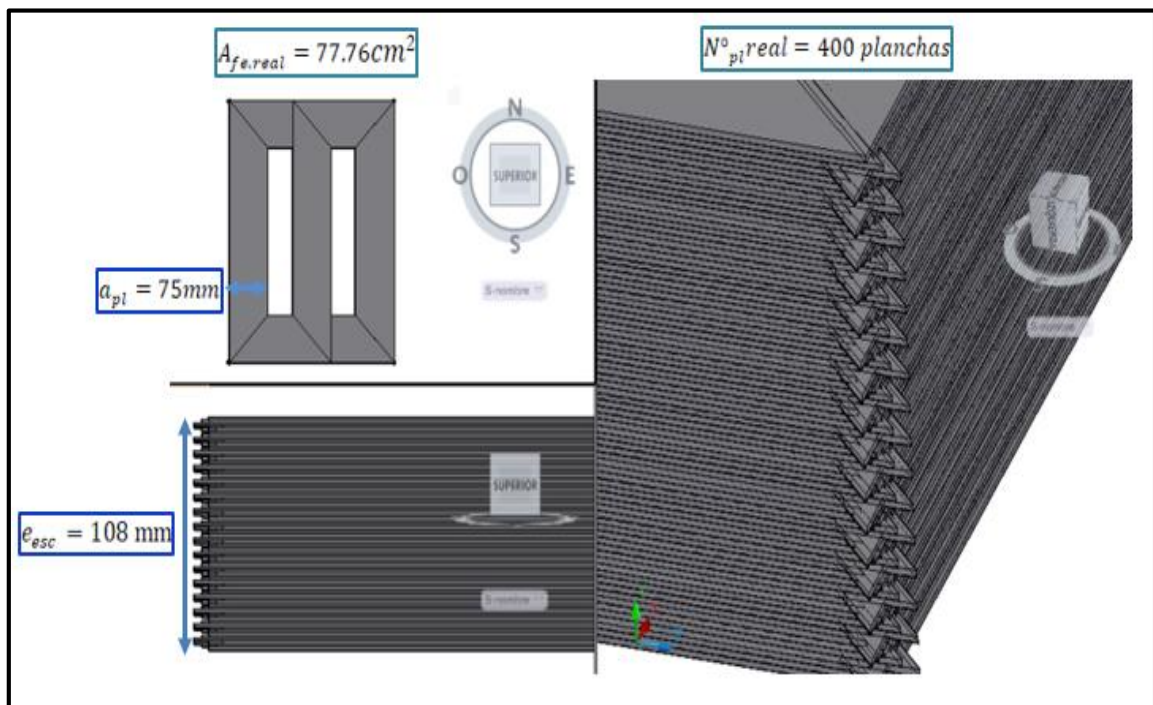
❖ **Cálculo de sección transversal de la columna del núcleo real ($A_{fe.real}$).**

$$A_{fe.real} = \frac{e_{esc} \times a_{pl} \times 0.96}{100}$$

$$A_{fe.real} = \frac{108 \times 75 \times 0.96}{100}$$

$$A_{fe.real} = 77.76 \text{ cm}^2$$

Figura 20. Dimensiones del ancho, espesor y área del núcleo magnético



Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de las dimensiones del bobinado primario y secundario del transformador

Para este diseño nos basaremos a un tipo de bobina de forma rectangular, la misma que consiste en procesar alternativamente, Capas de pletina esmaltada, Papel nomex y canales de refrigeración adecuado para su elaboración. Dimensiones en ambos casos que van a ser determinados por el proceso de Cálculo de las Bobinas.

❖ Cálculo de número de espiras del bobinado secundario ($N^{\circ}_{esp.b.s}$).

$$N^{\circ}_{esp.b.s} = \frac{U_{fb.s} \times 10^8}{4.44 \times f \times A_{fe\ real} \times B}$$

$$B = 15500 \text{ Gauss} = 1.55 \text{ (Wb/m}^2\text{)}$$

$U_{fb.s}$: tensión de fase del bobinado secundario (V)

Por ser **conexión estrella** en el bobinado secundario: $U_{fb.s} = \frac{U_{linea.b.s.}}{\sqrt{3}}$

Donde: $U_{linea.b.s.} = 400V$, reemplazando tenemos:

$$U_{fb.s} = \frac{400V}{\sqrt{3}}$$

$$U_{fb.s} = 230.94V$$

Obtenido este dato y los anteriores reemplazamos en la ecuación del

$N^{\circ}_{esp.b.s}$:

$$N^{\circ}_{esp.b.s} = \frac{230.94 \times 10^8}{4.44 \times 60 \times 77.76 \times 15500}$$

$$N^{\circ}_{esp.b.s} = 71.92 \approx 72 \text{ espiras}$$

❖ Cálculo de número de espiras del bobinado primario ($N^{\circ}_{esp.b.p}$).

$$N^{\circ}_{esp.b.p} = \frac{N^{\circ}_{esp.b.s} \times U_{fb.p}}{U_{fb.s}}$$

$U_{fb.p}$: tensión de fase del bobinado primario (V)

Por ser **conexión delta** en el bobinado primario: $U_{fb.p} = U_{linea}$.

Donde: $U_{linea.} = 230 V$, reemplazando tenemos:

$$U_{fb.p} = U_{linea.} = 230 V$$

Reemplazando en la ecuación anterior:

$$N^{\circ}_{esp.b.p} = \frac{72 \times 230}{230.94}$$

$$N^{\circ}_{esp.b.p} = 72 \text{ espiras}$$

❖ **Cálculo de la corriente de línea o corriente nominal del bobinado secundario ($I_n = I_{linea.b.s.}$).**

Para determinar la corriente nominal del transformador en el lado secundario se utiliza la siguiente fórmula general:

$$I_n = I_{linea.b.s} = \frac{S_n}{U_{linea.b.s} \times \sqrt{3}} \quad (\mathbf{A})$$

$$S_n = 50kVA$$

$$U_{linea.b.s} = 0.4kV$$

Reemplazamos en la fórmula correspondiente:

$$I_{linea.b.s} = 72.17 A$$

❖ **Cálculo de la corriente de fase del bobinado secundario ($I_{fb.s.}$)**

Por ser **conexión estrella**: $I_{fb.s} = I_{linea.b.s.}$, entonces sería:

$$I_{fb.s} = I_{linea.b.s.} = 72.17 A$$

❖ **Cálculo de la sección del conductor ($S_{cond.}$)**

$$S_{cond.} = \frac{I_{fb.s}}{\rho_{cond.AL}} \quad (mm^2)$$

Para este tipo de transformador refrigerado por flujo de aire natural y de material aluminio tomaremos como parámetro de diseño una densidad de

corriente del conductor de $\rho_{cond.AL} = 1.5A/mm^2$, cabe resaltar que estos valores están comprendidos entre: $1.3 \leq \rho_{cond.} \leq 1.8 A/mm^2$

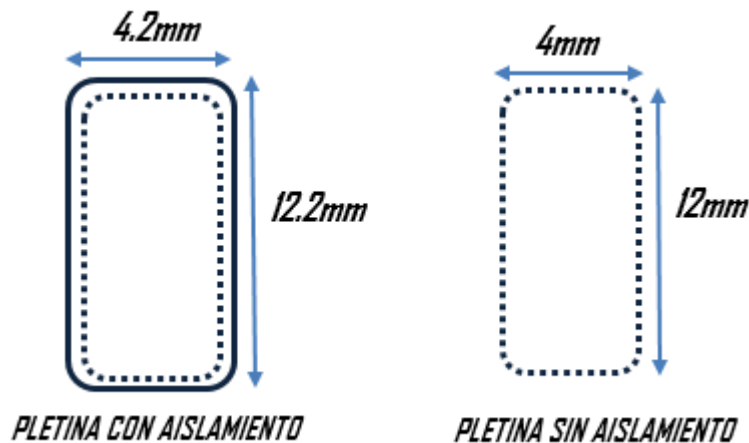
$$S_{cond.} = \frac{72.17A}{1.5A/mm^2}$$

$$S_{cond.} = 48.11mm^2$$

De acuerdo al stock de materiales proporcionado por nuestro proveedor sobre los conductores de Sección Rectangular Normalizados por fabricante, optamos por elegir:

Una pletina de 4 mm de espesor y 12 mm de ancho el cual nos da una **sección del conductor de $48mm^2$**

Figura 21. Dimensiones con y sin aislamiento de la pletina



Fuente: Elaboración propia.

Con la sección del conductor real se procede a calcular el valor nuevo de densidad de corriente del conductor, el cual se calcularía de la siguiente forma:

$$\rho_{cond.ALreal} = \frac{I_{f.b.s}}{S_{cond.real}}$$

$$\rho_{cond.ALreal} = \frac{72.17}{48}$$

$$\rho_{cond.ALreal} = 1.504A/mm^2$$

❖ **Cálculo de la longitud neta del bobinado secundario ($L_{N.b.s}$)**

$$L_{N.b.s} = (N^{\circ}_{esp/capa} + 1) \times (N^{\circ}_{cond.juntos} \times a_{cond.aisl.}) \quad (\text{mm})$$

Para calcular el $N^{\circ}_{esp/capa}$ primero se debe elegir el número de capas, para nuestro diseño del bobinado elegiremos: $N^{\circ}_{capas} = 4 \text{ capas}$

Entonces quedaría de la siguiente manera:

$$N^{\circ}_{esp/capa} = \frac{N^{\circ}_{esp.b.s}}{N^{\circ}_{capas}}$$

$$N^{\circ}_{esp/capa} = \frac{72}{4}$$

$$N^{\circ}_{esp/capa} = 18 \text{ esp/capas}$$

$$N^{\circ}_{cond.juntos} = 1$$

$$a_{cond.aisl.} = 12.2 \text{ mm} \quad (\text{se obtiene de la figura 21})$$

Con estos datos reemplazamos para calcular la longitud neta:

$$L_{N.b.s} = (18 + 1) \times (1 \times 12.2)$$

$$L_{N.b.s} = 232 \text{ mm}$$

A partir de este dato podemos definir la **longitud total de bobinado secundario**, sumándole un valor de ancho de relleno elegido por el diseñador, mediante la fórmula siguiente:

$$L_{T.bob} = L_{N.bob} + a_{relleno} \quad (\text{mm})$$

Para nuestro caso se eligió un $a_{relleno} = 8 \text{ mm}$, con el cual reemplazando:

$$L_{T.b.s} = 232 + 8$$

$$L_{T.b.s} = 240 \text{ mm}$$

❖ **Cálculo de espesor de aislamiento entre capas del bobinado ($e_{aisl.capas}$)**

$$e_{aisl.capas} = \frac{4 \times N^{\circ}_{esp/capa} \times U_{f.b.s}}{R.D.P \times N^{\circ}_{esp.b.s}} \quad (\text{mm})$$

$$U_{f.b.s} = 230.94 \text{ V}$$

$$N^{\circ}_{esp} b.s = 72 \text{ espiras}$$

$$N^{\circ}_{esp/capa} = 18 \text{ esp/capas}$$

Para el aislamiento entre capas de este tipo de bobinado se utiliza el material de papel nomex con el cual tomamos un parámetro de diseño de su rigidez dieléctrica del nomex $R.D.P = 12000V/mm$, luego reemplazamos en la fórmula anterior:

$$e_{aisl.capas} = \frac{4 \times 18 \times 230.94}{12000 \times 72}$$

$$e_{aisl.capas} = 0.02mm$$

Para este caso se aplica un factor de seguridad de $f_s = 12.5$, obteniendo:

$$e_{aisl.capas \text{ real}} = 0.02 \times 12.5$$

$$e_{aisl.capas \text{ real}} = 0.25mm$$

❖ **Cálculo del espesor lateral del bobinado secundario ($e_{lat. b.s}$).**

$$e_{lat. b.s} = F.C \times (N^{\circ}_{capas} b.s \times e_{cond.aisl. b.s} + (N^{\circ}_{capas} b.s - 1) \times (e_{aisl.capas} b.s))$$

(mm)

$F.C = 1.15$ (parámetro elegido por el diseñador de acuerdo a la potencia del transformador).

$$N^{\circ}_{capas} = 4 \text{ capas}$$

$$e_{cond.aisl. b.s} = 4.2mm$$

Reemplazamos:

$$e_{lat. b.s} = 1.15 \times (4 \times 4.2 + (4 - 1) \times 0.25)$$

$$e_{lat. b.s} = 20mm$$

❖ **Cálculo del diámetro interior del bobinado secundario ($D_{int. b.s}$).**

$$D_{int. b.s} = 2 \times (a_{pl} + e_{esc} + 2(e_{ad.molde}) + 1 + \pi(e_{aisl.BS/N})) \quad (\text{mm})$$

$$e_{ad.molde} = 5mm \text{ (criterio del diseñador)}$$

$e_{aisl.BS/N} = 1mm$ (valor establecido para transformadores secos en baja tensión)

$$e_{esc} = 108 mm$$

$$a_{pl} = 75mm$$

Reemplazando los datos en la fórmula anterior:

$$D_{int.b.s} = 2 \times (75 + 108 + 2(5) + 1 + \pi(1))$$

$$D_{int.b.s} = 394mm$$

❖ **Cálculo del diámetro exterior del bobinado secundario ($D_{ext.b.s}$).**

$$D_{ext.b.s} = (D_{int.b.s}) + 2\pi(e_{lat.b.s}) + 2(e_{canal.ref.b.s})(N^{\circ}_{canal.ref.b.s})$$

(mm)

Para este bobinado consideraremos el siguiente espesor y número de canales de refrigeración frontal

$$e_{canal.ref.b.s} = 8mm$$

$$N^{\circ}_{canal.ref.b.s} = 1:$$

$$D_{ext.b.s} = (394) + (2\pi \times 20) + 2(8)(1)$$

$$D_{ext.b.s} = 536mm$$

❖ **Cálculo de resistencia del bobinado secundario a 75 °C ($R_{75^{\circ}C.b.s}$).**

$$R_{75^{\circ}C.b.s} = 3.8 \times N^{\circ}_{esp.b.s} \times 10^{-5} \times \left(\frac{D_{int.b.s} + D_{ext.b.s}}{2 S_{cond.b.s}} \right) (\Omega)$$

Reemplazando:

$$R_{75^{\circ}C.b.s} = 3.8 \times 72 \times 10^{-5} \times \left(\frac{394 + 536}{2 \times 48} \right)$$

$$R_{75^{\circ}C.b.s} = 0.0261\Omega$$

❖ **Cálculo de pérdidas del bobinado secundario a 75 °C ($P_{75^{\circ}C.b.s}$).**

$$P_{75^{\circ}C.b.s} = 3 \times R_{75^{\circ}C.b.s} \times (I_f b.s)^2 \quad (w)$$

Dato: $I_f b.s = 72.17A$

Reemplazando:

$$P_{75^\circ C}.b.s = 3 \times 0.0261 \times (72.17)^2$$

$$P_{75^\circ C}.b.s = 414.14 \text{ w}$$

Para transformadores secos, las pérdidas generadas por el bobinado deben estar expresadas a una temperatura de referencia de 115 °C, y eso se realiza multiplicando un factor de corrección de temperatura del aluminio.

$$P_{115^\circ C}.b.s = 414.14 \times f.c \text{ de temperatura}$$

$$P_{115^\circ C}.b.s = 414.14 \times 1.13$$

$$P_{115^\circ C}.b.s = 467.97 \text{ w}$$

❖ **Cálculo del peso del conductor del bobinado secundario ($Peso_{b.s}$).**

$$Peso_{b.s} = 3 \left(2.7 \times 1.05 \times N^\circ_{esp} b.s \times S_{cond} \times 10^{-6} \times \frac{D_{int}.b.s + D_{ext}.b.s}{2} \right) (kg)$$

$$N^\circ_{esp} b.s = 72 \text{ espiras}$$

$$S_{cond.} = 48mm^2$$

Reemplazando los datos:

$$Peso_{b.s} = 3 \left(2.7 \times 1.05 \times 72 \times 48 \times 10^{-6} \times \frac{394 + 536}{2} \right)$$

$$Peso_{b.s} = 13.7kg$$

Para bobinado primario se realizó el mismo procedimiento de cálculo con las mismas fórmulas que se hizo en el bobinado secundario, a continuación, se tendrá un resumen en una tabla con los valores ya calculados:

Tabla 6. Resumen de cálculo de resultados del bobinado primario

Descripción	Símbolo	Resultados
Tipo de conexión	D	Delta
Tensión de línea	$U_{línea.b.p.}$	230 V
Tensión de fase	$U_{fase.b.p.}$	230 V
Corriente de línea	$I_{línea.b.p}$	125.51 A
Corriente de fase	$I_f.b.p$	72.46 A
Número de espiras	$N^{\circ}_{esp.b.p}$	72 espiras
Densidad de corriente del conductor	$\rho_{cond.AL}$	1.51 A/mm ²
Sección del conductor	$S_{cond.b.p}$	pletina de 4x12 mm
Número de conductores juntos	$N^{\circ}_{cond.juntos}$	1 conductor
Número de capas	$N^{\circ}_{capas.b.p}$	4 capas
Número de espiras por capas	$N^{\circ}_{esp/capa}$	18 espiras/capas
Longitud neta de bobinado	$L_{N.b.p}$	232 mm
Longitud total del bobinado	$L_{T.b.p}$	240 mm
Espesor de aislamiento de capas	$e_{aisl.capasb.p}$	0.25 mm
Espesor lateral de bobinado	$e_{lat.b.p}$	20 mm

Fuente: Elaboración propia.

❖ **Cálculo del diámetro interior del bobinado primario ($D_{int.b.p}$).**

$$\bullet \quad D_{int.b.p} = D_{ext.b.s} + 2(e_{aisl.BS/BP})\pi + 2(e_{canal.ref.bp/bs})$$

(mm)

Para esta parte del cálculo se tomará un espesor de canal de refrigeración frontal que divide el bobinado primario y secundario:

$$e_{canal.ref.bp/bs} = 8mm \text{ (define el diseñador)}$$

$$e_{aisl.BS/BP} = 1mm$$

$$D_{ext.b.s} = 536mm$$

Reemplazando en la fórmula anterior para determinar el diámetro interior del bobinado primario:

$$D_{int.b.p} = 536 + 2(1) \times \pi + 2(8)$$

$$D_{int.b.p} = 558mm$$

❖ **Cálculo del diámetro exterior del bobinado primario ($D_{ext.b.p}$).**

$$D_{ext.b.p} = (D_{int.b.p}) + 2\pi(e_{lat.b.p}) + 2(e_{canal.ref.b.p})(N^{\circ}_{canal.ref.b.p}) \quad (mm)$$

Para este bobinado consideraremos el siguiente espesor y número de canales de refrigeración frontal

$$e_{canal.ref.b.p} = 8mm$$

$$N^{\circ}_{canal.ref.b.p} = 1$$

$$e_{lat.b.p} = 20mm$$

Reemplazando valores:

$$D_{ext.b.p} = (558) + 2\pi \times (20) + 2(8)(1)$$

$$D_{ext.b.p} = 700mm$$

❖ **Cálculo de resistencia del bobinado primario a 75 °C ($R_{75^{\circ}C.b.p}$).**

$$R_{75^{\circ}C.b.p} = 3.8 \times N^{\circ}_{esp.b.p} \times 10^{-5} \times \left(\frac{D_{int.b.p} + D_{ext.b.p}}{2 S_{cond.b.p}} \right) \quad (\Omega)$$

Reemplazando:

$$R_{75^{\circ}C.b.p} = 3.8 \times 72 \times 10^{-5} \times \left(\frac{558 + 700}{2 \times 48} \right)$$

$$R_{75^{\circ}C.b.p} = 0.0359\Omega$$

❖ **Cálculo de pérdidas del bobinado primario a 75 °C ($P_{75^{\circ}C.b.p}$).**

$$P_{75^{\circ}C.b.p} = 3 \times R_{75^{\circ}C.b.p} \times (I_{fb.p})^2 \quad (w)$$

Reemplazando:

$$P_{75^{\circ}\text{C}.b.p} = 3 \times 0.0359 \times (72.46)^2$$

$$P_{75^{\circ}\text{C}.b.p} = 564.79 \text{ w}$$

Para transformadores secos, las pérdidas generadas por el bobinado deben estar expresadas a una temperatura de referencia de 115 °C, y eso se realiza multiplicando un factor de corrección de temperatura del aluminio.

$$P_{115^{\circ}\text{C}.b.p} = 564.79 \times f.c \text{ de temperatura}$$

$$P_{115^{\circ}\text{C}.b.p} = 564.79 \times 1.13$$

$$P_{115^{\circ}\text{C}.b.p} = 638.22 \text{ w}$$

Por lo tanto, las **pérdidas totales del bobinado a 115°C** sería:

$$P_{\text{totales } 115^{\circ}\text{C}.bobinado} = P_{115^{\circ}\text{C}.b.s} + P_{115^{\circ}\text{C}.b.p}$$

$$P_{\text{totales } 115^{\circ}\text{C}.bobinado} = 467.97 + 638.22$$

$$\mathbf{P_{\text{totales } 115^{\circ}\text{C}.bobinado} = 1106.19\text{w}}$$

❖ **Cálculo del peso del conductor del bobinado primario ($P_{\text{eso}_{b.p}}$).**

$$P_{\text{eso}_{b.p}} = 3 \left(2.7 \times 1.05 \times N^{\circ}_{\text{esp}b.p} \times S_{\text{cond}} \times 10^{-6} \times \frac{D_{\text{int}.b.p} + D_{\text{ext}.b.p}}{2} \right) (\text{kg})$$

Reemplazando:

$$P_{\text{eso}_{b.p}} = 3 \left(2.7 \times 1.05 \times 72 \times 48 \times 10^{-6} \times \frac{558 + 700}{2} \right)$$

$$P_{\text{eso}_{b.p}} = 18.5 \text{ kg}$$

Una vez determinado las dimensiones del bobinado primario, se procede a calcular las dimensiones generales del bobinado total como son:

❖ **Ancho total de bobina ($a_{\text{total de bobina}}$).**

$$a_{\text{total de bobina}} = a_{pl} + e_{ad.molde} + 2(e_{lat}.b.s + e_{lat}.b.p + e_{aisl.\frac{BS}{BP}} + e_{aisl.\frac{BS}{N}} + 2e_{aisl.capasb.p})$$

Reemplazando los datos obtenemos:

$$a_{\text{total de bobina}} = 165\text{mm}$$

❖ **Profundidad de la bobina ($PROF. bobina$).**

$$PROF. Total de bobina$$

$$= e_{esc} + (e_{ad.molde} + 13) + 2(e_{lat.b.s} + e_{lat.b.p})$$

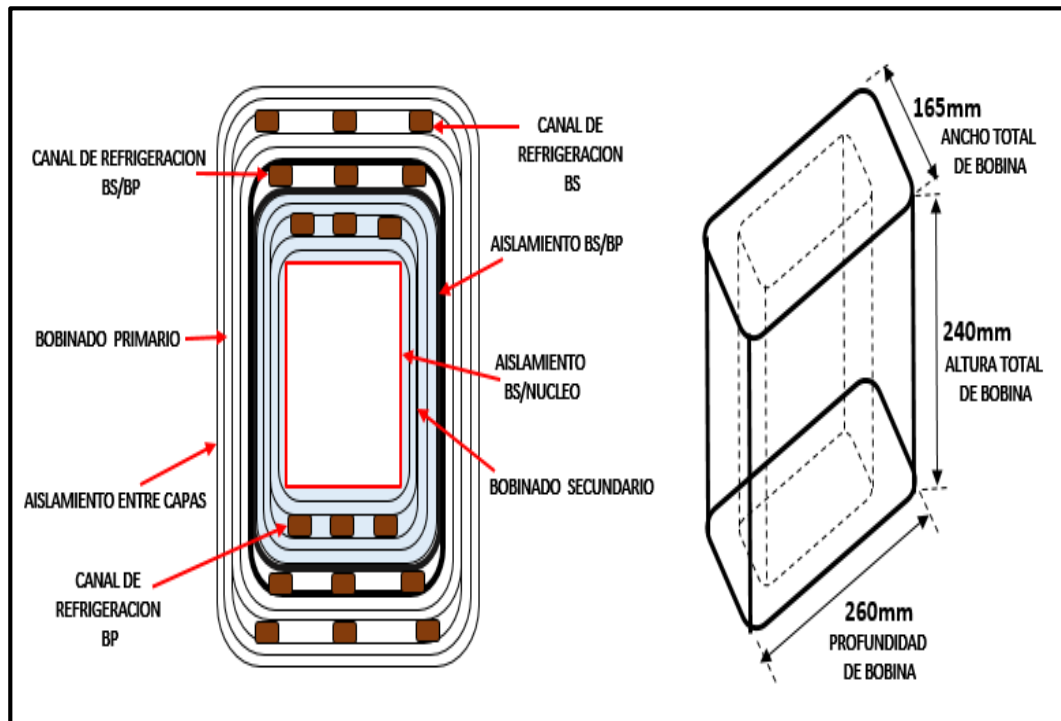
$$+ 2(e_{canal.ref.bp} + e_{canal.ref.b.p} + e_{canal.ref.b.s}) + 2(e_{aisl.BS/BP}$$

$$+ e_{aisl.N} + 2e_{aisl.capasb.p} + 2e_{aisl.capasb.s})$$

Reemplazando los datos obtenidos:

$$PROF. Total de bobina = 260mm$$

Figura 22. Dimensiones generales de la bobina



Fuente: Elaboración propia.

Ahora, una vez obtenido todas las dimensiones de los bobinados, se procede a definir las medidas restantes del núcleo magnético con las fórmulas siguientes:

Comenzaremos a calcular la **longitud de ventana** del núcleo magnético

$$L_{ventana.nucleo} = L_{T.b.s} + 2(e_{taco.BS})$$

Para este caso tomaremos:

$$e_{taco.BS} = 10mm$$

$$L_{T.b.s} = 240mm$$

Reemplazando:

$$L_{ventana.nucleo} = 240 + 2(10)$$

$$L_{ventana.nucleo} = 260mm$$

❖ **Cálculo de la distancia entre ejes del núcleo magnético ($D_{ejes\ nucleo}$).**

$$D_{ejes\ nucleo} = a_{pl} + e_{ad.molde} + F.C \times 2 \left(e_{aisl.\frac{BS}{N}} + e_{aisl.\frac{BS}{BP}} + 2(e_{lat.b.s} + e_{lat.b.p}) \right) + AISL_{entre.fases}$$

$$F.C = 1.15 \text{ (define el diseñador)}$$

$$e_{aisl.\frac{BS}{BP}} = 1mm \text{ (define el diseñador)}$$

$$e_{aisl.\frac{BS}{N}} = 1mm, e_{lat.b.s} = 20mm, e_{lat.b.p} = 20mm$$

$$AISL_{entre.fases} = 10mm \text{ (por ser un transformador de baja tensión)}$$

Reemplazando todos los datos:

$$D_{ejes\ nucleo} = 75 + 5 + 1.15 \times 2(1 + 1 + 2(20 + 20)) + 10$$

$$D_{ejes\ nucleo} = 175mm$$

❖ **Cálculo del ancho de ventana del núcleo magnético ($a_{ventana\ nucleo}$).**

$$a_{ventana\ nucleo} = D_{ejes\ nucleo} - a_{pl}$$

Reemplazando:

$$a_{ventana\ nucleo} = 175 - 75$$

$$a_{ventana\ nucleo} = 100mm$$

Con estos datos obtenidos del núcleo podemos calcular las dimensiones generales, el ancho, altura y peso de núcleo magnético con las siguientes fórmulas:

❖ **Cálculo del ancho total del núcleo magnético ($a_{total\ nucleo}$).**

$$a_{total\ nucleo} = 2 \times D_{ejes\ nucleo} + a_{pl}$$

Reemplazamos los valores:

$$a_{total\ nucleo} = 2 \times 175 + 75$$

$$a_{total\ nucleo} = 425mm$$

❖ **Cálculo de altura total del núcleo magnético ($alt_{total\ nucleo}$).**

$$alt_{total\ nucleo} = L_{ventana.\ nucleo} + 2 \times a_{pl}$$

Reemplazamos los valores:

$$alt_{total\ nucleo} = 260 + 2 \times 75$$

$$alt_{total\ nucleo} = 410mm$$

❖ **Cálculo del peso total del núcleo magnético ($Peso_{total\ nucleo}$).**

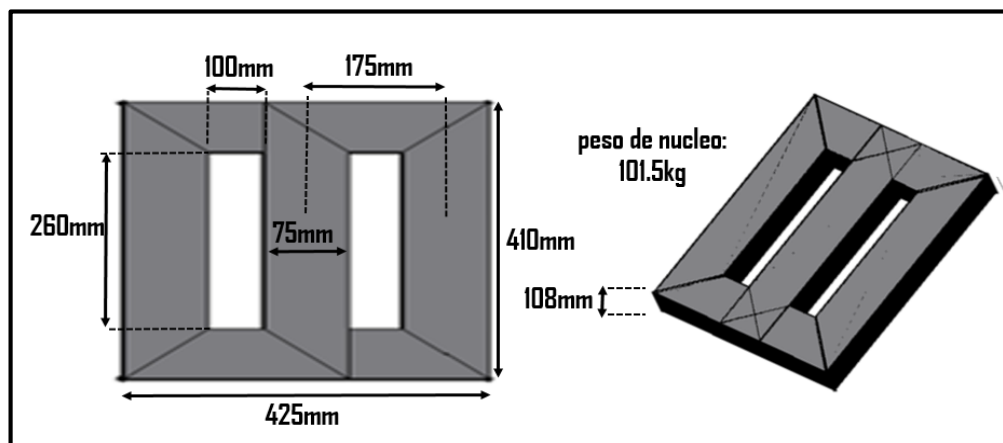
$$Peso_{total\ nucleo} = \frac{1.005(3 \times alt_{total\ nucleo} + 4 \times a_{ventana\ nucleo}) \times 7.65 \times A_{fe.real} \times 10^{-4}}{0.96}$$

Reemplazando para poder determinar el peso total:

$$Peso_{total\ nucleo} = \frac{1.005(3 \times 410 + 4 \times 100) \times 7.65 \times 77.76 \times 10^{-4}}{0.96}$$

$$Peso_{total\ nucleo} = 101.5kg$$

Figura 23. Dimensiones generales del núcleo magnético



Fuente: Elaboración propia.

❖ **Cálculo de las pérdidas en el núcleo magnético (P_{nucleo}).**

Se tomará de la gráfica de curva de saturación del material magnético (ANEXO N°1), el valor de **1.107 w/kg de pérdidas específicas** de acuerdo a la inducción magnética tomada para el diseño y también se tendrá en cuenta de acuerdo al tipo de corte y armado un **factor de trabajo de 1.4**, con lo cual reemplazaremos en la siguiente fórmula:

$$P_{nucleo} = P_{eso_{total\ nucleo}} \times P_{esp} \times f \cdot t \times 0.96$$

$$P_{nucleo} = 102.5 \times 1.107 \times 1.4 \times 0.96$$

$$P_{nucleo} = 151.02w$$

❖ **Cálculo de la eficiencia del transformador ($Eficiencia_{tranf.}$).**

$$Eficiencia_{tranf.} = \frac{POTENCIA\ DE\ SALIDA}{POTENCIA\ DE\ ENTRADA} \times 100$$

Obtenemos un transformador con una **eficiencia de 97.04%**.

Cálculo de las dimensiones de la caja de protección del transformador

Una vez obtenido todas las medidas del bobinado total y núcleo magnético se proceden a realizar el dimensionamiento de la caja de protección, para eso primero se debe calcular el salto de temperatura promedio de los bobinados:

❖ **Cálculo del salto de temperatura del bobinado (ΔT)**

Esta fórmula aplica cuando el conductor a utilizar es del tipo **pletina**.

$$\Delta T = \frac{3.68 \times S_{cond.} \times \rho_{cond.}^2 \times \xi}{750 \left[a_{condsin aisl.} + 2 \left(\frac{a_{cond. aisl.} - a_{condsin aisl.}}{3} \right) \right]} \left(\frac{N^{\circ} capas}{N^{\circ} canal.ref. + 1} \right) \times 71.43 +$$

$$\left(a_{cond. aisl.} - a_{condsin aisl.} + e_{aisl. capas} \right) \xi \times \left(\frac{\frac{N^{\circ} capas}{N^{\circ} canal.ref.} + 0.45}{0.054} \right) (1 +$$

$$0.01 \left(\frac{a_{condsin aisl.}}{a_{cond. aisl.}} \right)^2 \times 1.34 \times 10^{-3} \times e_{condsin aisl.}^4) \left[(\tau \times N^{\circ} capas)^2 - 0.2 \right]$$

Donde:

ξ : constante dependiente de la configuración de la espira y canales de refrigeración.

τ : constante que depende de la configuración de la espira.

Para nuestro diseño los valores quedan establecidos por:

$$\xi = 0.5, \tau = 1.$$

reemplazando los datos obtenidos en los anteriores cálculos:

- **Salto de temperatura del bobinado secundario ($\Delta T_{b.s}$)**

$$\Delta T_{b.s} = 3.9^\circ\text{C}$$

- **Salto de temperatura del bobinado primario ($\Delta T_{b.p}$)**

$$\Delta T_{b.p} = 3.9^\circ\text{C}$$

Por lo tanto, el **salto de temperatura promedio del bobinado** es:

$$\Delta T_{promedio} = 4^\circ\text{C}$$

❖ **Cálculo de la superficie de disipación de calor teórica ($Sdc_{teorica}$)**

$$Sdc_{teorica} = \frac{P_{nucleo} + P_{totales\ 115^\circ\text{C.}\ bobinado}}{\psi \left\langle \frac{\left[\left(\frac{T_s - T_{amb.}}{1.05} \right) \left\{ 1 - 0.004 \left(\frac{altitud - 1000}{100} \right) \right\} \right] - \Delta T_{promedio}}{0.85} - 8 - \lambda \right\rangle}$$

T_s : temperatura de servicio del transformador.

$T_{amb.}$: temperatura ambiente máxima

λ : temperatura de reducción

ψ : factor de disipación térmica

Para nuestro caso estos valores están dado por:

$$T_s = 130^\circ\text{C}, T_{amb} = 40^\circ\text{C}, \lambda = 5^\circ\text{C}, \psi = 14 \frac{\text{w}}{\text{m}^2\text{C}}$$

Reemplazando los datos:

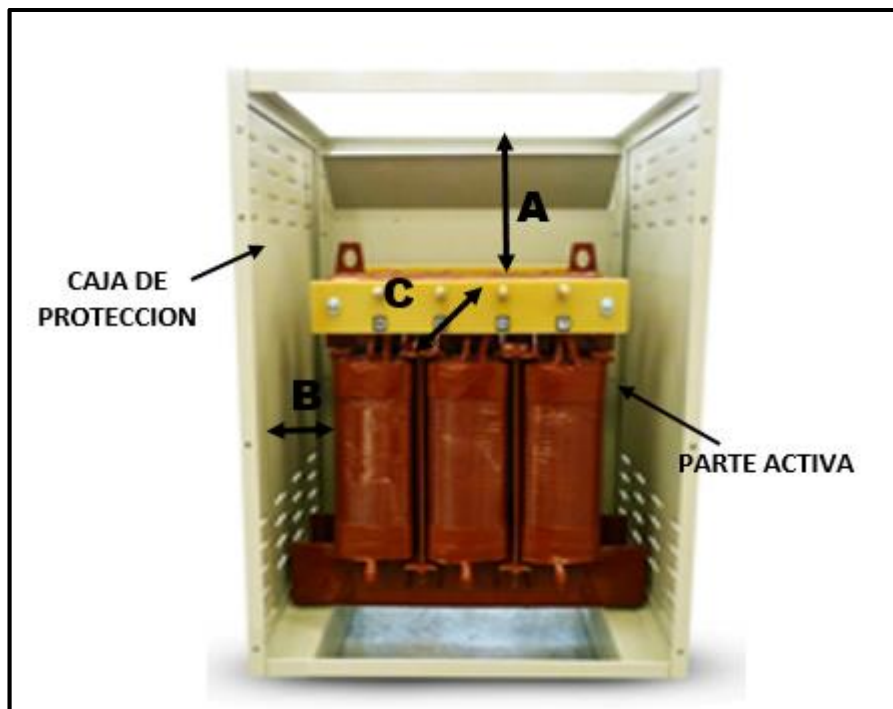
$$Sdc_{teorica} = 1.08m^2$$

Con este valor resultante podemos tener como referencia las dimensiones referenciales de la caja de protección

Debemos tener en cuenta:

Para la Fabricación de Transformadores secos de baja tensión, se han determinado algunos valores mínimos de Distancias internas, sobre la Base de la Experiencia; y por la innumerable cantidad de Ensayos de Laboratorio a los que se han sometido los Transformadores. En esta parte daremos algunas de las Distancias mínimas que se utilizan en la Fabricación de su caja de protección.

Figura 24. Distancias mínimas internas de la parte activa con la caja de protección



Fuente: Elaboración propia.

En donde, los valores de las variables de la figura anterior deben considerarse de la siguiente manera:

$50mm \leq A \leq 100mm$, para nuestro diseño será $A=70mm$

$200mm \leq B \leq 400mm$, para nuestro diseño será $B=340mm$

$50\text{mm} \leq C \leq 100\text{mm}$, para nuestro diseño será $C=70\text{mm}$

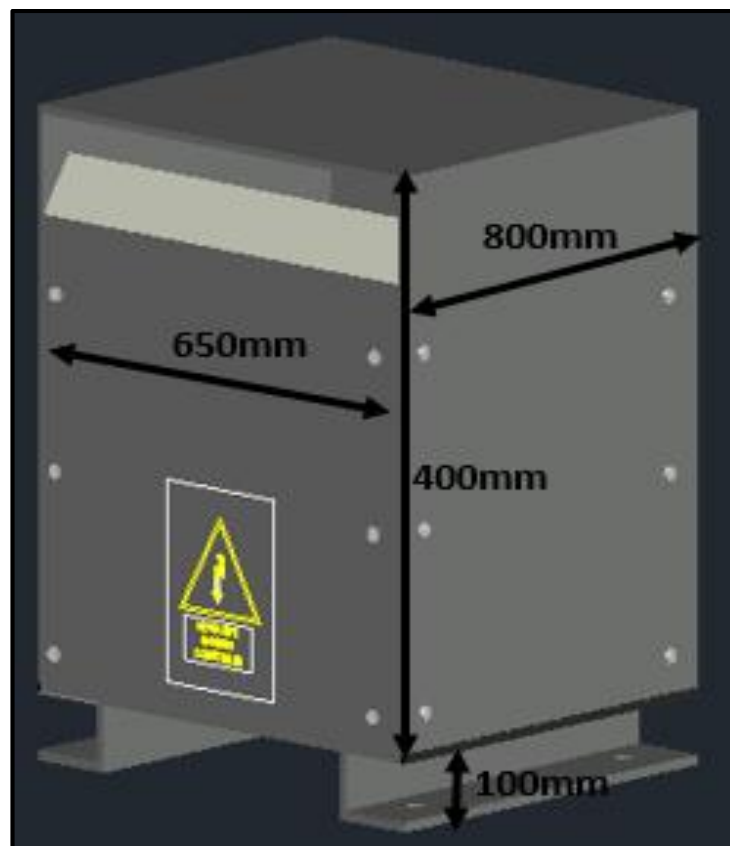
Por lo tanto, la dimensión real de la caja de protección será:

$$ALT_{cpreal} = 800\text{mm}$$

$$LARGO_{cpreal} = 650\text{mm}$$

$$PROF_{cpreal} = 400\text{mm}$$

Figura 25. Dimensiones generales de la caja de protección



Fuente: Elaboración propia.

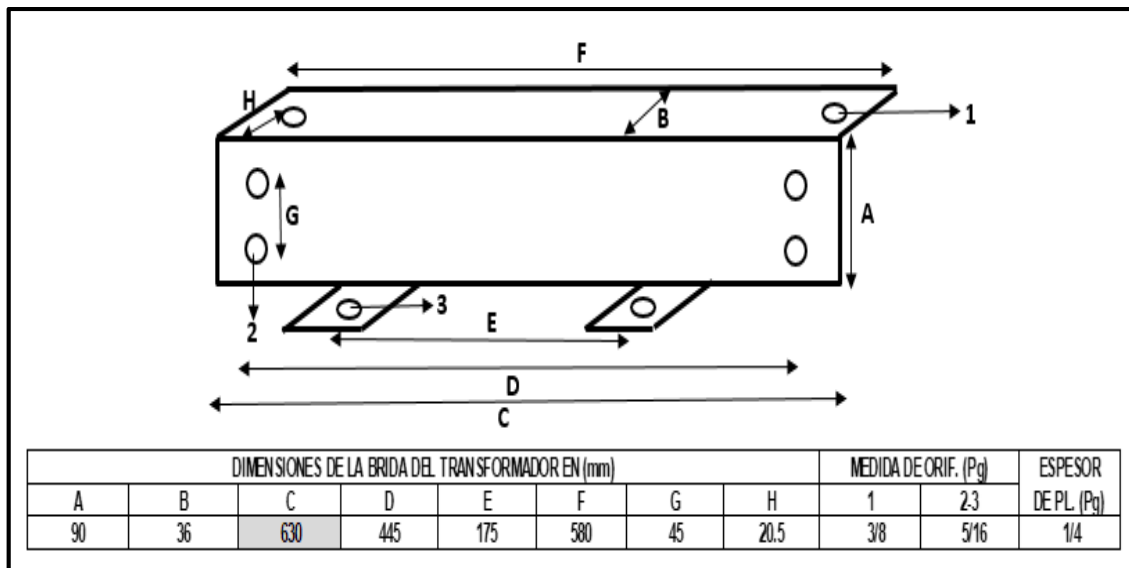
Con estas dimensiones obtenemos la **superficie de disipación de calor real** (Sdc_{real})

$$Sdc_{real} = ALT_{cpreal}(2LARGO_{cpreal} + 2PROF_{cpreal}) \times 10^{-6}$$

$$Sdc_{real} = 1.68\text{m}^2$$

Culminamos con el dimensionamiento de **las bridas de sujeción** dado a continuación:

Figura 26. Dimensiones generales de la brida de sujeción



Fuente: Elaboración propia.

3.2. Fabricación del transformador seco trifásico 50 kVA 230/400 V Dyn5

Concluido con el proceso de diseño del transformador trifásico y elegido también los materiales y materia prima que se utilizara de acuerdo a la información técnica de cada uno, se emite la lista de materiales que nos tendrán que suministrar la parte de logística de almacén, que servirá para la producción de la parte activa y finalmente integrarlo junto con las partes para la culminación de la fabricación del transformador.

Se detalla el proceso de manufactura de cada línea de producción para las partes del transformador

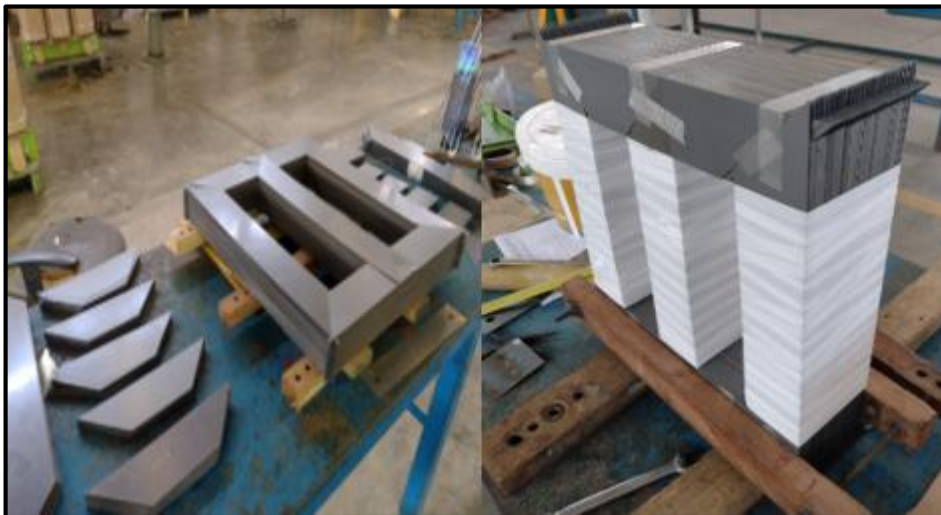
Proceso de corte y armado del núcleo magnético

En esta sección ingresan la materia prima, fleje de fierro silicoso de grano orientado **Powercore C120-27** a ser cortado de acuerdo a las dimensiones del diseño eléctrico realizado, para en lo posterior armar el núcleo.

- Corroborar las dimensiones de corte con las medidas de diseño.

- Colocar una base de apoyo para el núcleo.
- Colocar las planchas de fierro silicoso de 2 en 2 de forma cruzada.
- Una vez culminado con el armado verificar la altura de paquete del núcleo.
- Por último, abrazar con espárragos de sujeción y ponerlo de forma vertical para poder encintar todo el contorno de columna de núcleo.

Figura 27. Proceso de armado de núcleo magnético



Fuente: empresa FASETRON S.C.R.L

Proceso de bobinado del transformador

En esta línea de producción se construyen el bobinado primario y secundario para el transformador tipo seco, a continuación, el detalle del proceso:

- Se habilita el molde de madera de forma rectangular de acuerdo a la dimensión del diseño.
- Se coloca encima del molde la base de cartón de 1 mm para poder iniciar el bobinado

- Se inicia el proceso de bobinado secundario de acuerdo a la cantidad de espiras, aislamiento y canal de refrigeración si fuera el caso.
- Colocar un aislamiento y canal de refrigeración entre el bobinado secundario y bobinado primario.
- Culmina con el bobinado exterior que es el primario con la cantidad de espiras, aislamiento y canal de refrigeración de acuerdo al diseño.

Figura 28. Proceso de bobinado primario y secundario



Fuente: empresa FASETRON S.C.R.L

Proceso de fabricación de bridas y caja de protección

En la sección metalmecánica no solo se fabrica la caja de protección del transformador, sino también se elabora todo lo que son trabajos en metal como por ejemplo bridas de sujeción del núcleo, prensas, soportes, platinas, orejas de izamiento, etc.

- Se habilita los cortes de plancha de acuerdo al espesor indicado en el diseño de las bridas y caja de protección.
- Una vez habilitado las planchas se comienza con los dobles

indicado en el plano y diseño de su estructura.

- Se procede con la perforación de orificios para los pernos de fijación de la caja de protección y bridas.
- Se procede a soldar las uniones para juntas todas las partes de su estructura.
- Se culmina con el proceso de afinado (esmerilado de sus uniones tanto de la brida de sujeción como la de la caja de protección).

Figura 29. Proceso de fabricación de bridas y caja de protección



Fuente: empresa FASETRON S.C.R.L

Proceso de pintado de bridas y caja de protección

Terminado el proceso de carpintería metálica, bridas y caja de protección se trasladan al área de pintura para realizar los trabajos que se detallan a continuación:

- Con ayuda de herramientas como cincel, martillos, etc. Se realiza la limpieza de escorias y rebabas que quedan como rezagos del proceso de soldadura. Finalmente, como acabado de este proceso, se procede a lijar la superficie metálica

- Cuando la superficie se encuentra libre de escoria y rebabas de soldadura. Se procede a lavar con el acondicionador para metales para eliminar cualquier rastro de óxido y grasa en la superficie.
- Una vez limpia la superficie se aplica a las bridas base de pintura líquida.
- En el caso de la caja de protección se utiliza pintura en polvo, luego de las etapas de pretratamiento y secado, se dirige a la cabina de aplicación, donde la pintura se aplica por aspersion electrostática, utilizando pistolas especiales.
- La última etapa del proceso es el curado. En ella el polvo es expuesto a una temperatura de 200 °C y comienza a fundirse en un tiempo de 30 minutos. Posteriormente, se da la reacción química de polimerización en forma de red. Obteniendo una óptima adhesión la pintura con el metal, y un excelente acabado.

Figura 30. Proceso de pintado de bridas y caja de protección



Fuente: empresa FASETRON S.C.R.L

Proceso de ensablado del transformador

En esta parte del proceso se tiene elaborado el núcleo, la bobina, bridas y la caja de protección, entonces se procede a montar el bobinado en el núcleo, como se detalla a continuación.

- Se procede a la colocación de bridas inferiores con los espárragos y sus respectivas tuercas, arandelas y anillos de ajuste.
- Se retira los yugos superiores y se colocan los tacos aislantes de vitronite de acuerdo a sus medidas en la parte inferior para posterior a eso montar las bobinas de las tres fases.
- Una vez colocado las bobinas se procede a colocar los yugos de núcleo extraído de la parte superior.
- Seguido a eso para fijar las bobinas y no tenga movimiento se procede a colocar cuñas de ajuste en cada lado de la bobina junto a la columna del núcleo, luego se monta las bridas superiores con sus respectivos espárragos, tuercas, arandelas y anillo de ajuste.
- Este proceso termina con el acabado de la parte activa.

Figura 31. Proceso de ensamblado de la parte activa



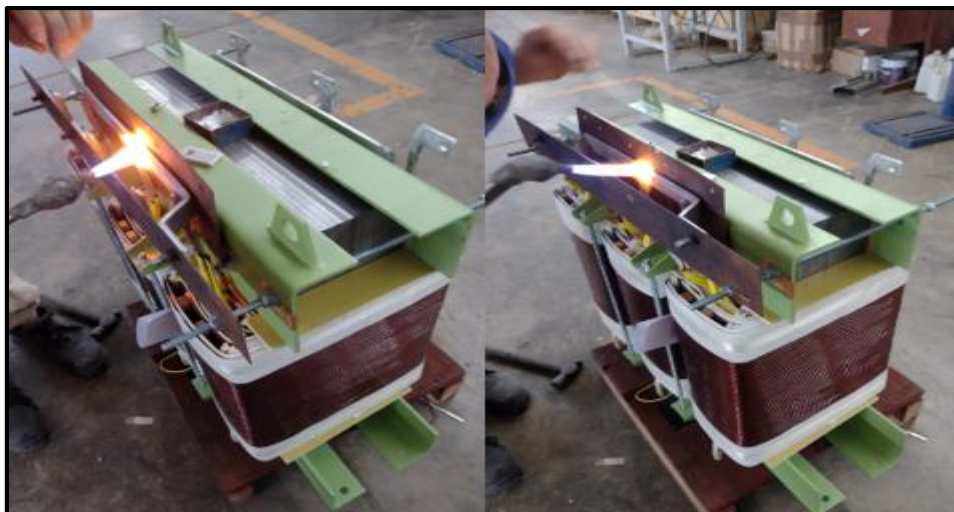
Fuente: empresa FASETRON S.C.R.L

Proceso de conexionado del transformador

En este proceso se realiza todas las conexiones que permiten el funcionamiento del transformador trifásico, aquí las bobinas y el núcleo de hierro silicoso se denominan como la parte activa del transformador. Para este proceso se realiza los siguientes pasos:

- Se identifica el grupo de conexión de acuerdo al diseño elaborado.
- Se identifica los principios y finales del bobinado primario, bobinado secundario, neutro, tierra, y sacamos las puntas de estos de acuerdo a las medidas del tablero de conexión donde en lo posterior irán fijados con pernos de su capacidad nominal a los respectivos elementos de acople
- Se procede a conectar el lado primario y secundario del bobinado con soldadura de aluminio
- Terminado las conexiones, se procede a aislar todos los conductores de tal forma que se pueda evitar el contacto de los mismos, el aislamiento se lo hace con cinta nomex, se debe sujetar todos los conductores para evitar que entren en vibración y puedan cortocircuitarse.

Figura 32. Conexionado de la parte activa



Fuente: empresa FASETRON S.C.R.L

Proceso de secado y barnizado de la parte activa

Verificado y sin inconvenientes la parte activa entra al horno para el proceso de secado durante 12 horas ya que no debe contener humedad porque es perjudicial para el funcionamiento normal del equipo, en el horno va a evaporar toda la humedad, a medida que está secándose se le realizan pruebas de humedad por medio del Megohmetro digital, el cual nos demuestra que la parte activa está seca con un valor promedio mayor a $1G\Omega$ y se puede proceder al barnizado y su posterior secado.

Figura 33. Barnizado de la parte activa



Fuente: empresa FASETRON S.C.R.L

Proceso final de ubicación de tablero de conexión y caja de protección

En este proceso se realiza todos los trabajos finales que permiten que el transformador quede listo para proceder a sus posteriores pruebas eléctricas, para este proceso se realiza los siguientes pasos:

- Una vez que el barniz aislante de la parte activa se encuentre seco, se empieza realizar la limpieza de sus bornes de conexión.
- Luego se procede a la ubicación del tablero aislante de material

vitronite con sus respectivos pernos, arandelas y tuercas que son elegidos de acuerdo a una tabla interna que maneja el ensamblador donde se encuentra las diferentes capacidades por medidas para la conexión del bobinado primario y secundario.

- Seguido de eso se procede a la colocación y fijación de la parte activa en la base de la caja de protección.
- Se culmina con la respectiva puesta de señalización general del transformador.

Figura 34. Proceso final de fabricación del transformador



Fuente: empresa FASETRON S.C.R.L

Se culmina con las pruebas eléctricas realizadas en el laboratorio especializado de FASETRON, el cual se adjunta protocolo de pruebas (ver **ANEXO N° 6**).

3.3. Evaluación técnica – económico

Figura 35. Presupuesto general de venta del transformador trifásico de 50 kVA

ITEM	MATERIALES PARA EL ARMADO DEL NUCLEO	COSTO (\$)	
1	NUCLEO MAGNETICO	640.00	
2	BRIDA PARA EL NUCLEO		
3	ESPARRAGOS DE AJUSTE LONGITUDINAL 5/16		
4	ESPARRAGOS DE AJUSTE RADIAL 5/16		
5	ANILLO DE PRESION CINCADO A UTILIZAR 5/16		
6	ARANDELA PLANA CINCADA A UTILIZAR 5/16		
7	TUERCAS CINCADAS A UTILIZAR 5/16		
8	CINTA DE ALG. DE A. DE COL. DE NUCLEO		
9	OTROS		
ITEM	MATERIALES PARA LA BOBINA SECUNDARIA	COSTO (\$)	
1	CARTON DASE AISL. NUCLEO - BOBINA SEC.	420.00	
2	CONDUCTOR A UTILIZAR EN EL DEVANADO 4X12MM		
3	AILAMIENTO ENTRE CAPAS DEL BOBINADO S. 0.25MM		
4	RELLENO DEL BOBINADO SECUNDARIO		
5	AILAMIENTO ENTRE BS/BP		
6	TACOS PARA CANAL DE REF. BS		
ITEM	MATERIALES PARA LA BOBINA PRIMARIA		COSTO (\$)
1	CONDUCTOR A UTILIZAR EN EL DEVANADO 4X12MM		420.00
2	AILAMIENTO ENTRE CAPAS DEL BOBINADO P. 0.25MM		
3	RELLENO DEL BOBINADO PRIMARIO		
4	GOMA A UTILIZAR PARA AMBAS BOBINAS		
5	C. ONDULADO PARA CANAL DE REF. BP		
6	OTROS		
ITEM	MATERIALES PARA CAJA DE PROTECCION	COSTO (\$)	
1	PLANCHA 1/16 PULG. PARA TAPAS DE CAJA DE PROT.	135.00	
2	PLANCHA 1/4 PULG. PARA BASE DE CAJA DE PROTECCION		
3	ELECTRODO PARA SOLDAR (CELLOCORD)		
4	ELECTRODO PARA SOLDAR (OVERCORD)		
5	DISCO DE CORTE		
6	DISCO DE PULIR		
7	OTROS		
ITEM	MATERIALES PARA TRATAMIENTO ANTICORROSIVO Y PINTURA ELECTROSTATICA	COSTO (\$)	
1	ACONDICIONADOR PARA METALES	120.00	
2	PINTURA EN POLVO RAL 7032		
3	TRAPO INDUSTRIAL		
4	LIJAS		
5	TIEMPO DE TRATAMIENTO TERMICO		
6	OTROS		
ITEM	MATERIALES PARA ENSAMBLADO Y SEÑALIZACION GENERAL DEL TRANSFORMADOR	COSTO (\$)	
1	CINTA NOMEX PARA FORRADO DE BOBINADO	220.00	
2	ESPAGUETIS DE AISLAMIENTO		
3	CARTON PRESPAN PARA AISLAR YUGOS		
4	PLETINA PARA CONEXIÓN DEL BP.		
5	PLETINA PARA CONEXIÓN DE BS.		
6	TABLERO DE VITRONITE 12MM		
7	PERNOS DE CONEXIÓN BP		
8	PERNOS DE CONEXIÓN BS		
9	BARNIZ AISLANTE CLASE F		
10	TIEMPO DE TRATAMIENTO TERMICO		
11	OTROS		
	COSTO TOTAL DE MATERIALES (\$)	1535.00	
	COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA (\$)	153.5	
	GASTOS ADMINISTRATIVOS (\$)	61.4	
	COSTO TOTAL DE FABRICACION (\$)	1749.90	
	MARGEN DE GANANCIA	0.30	
	COSTO DE VENTA DEL PRODUCTO (\$)	2274.87	

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

- Según Flores, Indirique y Meza; en su tesis concluye que para obtener la mejor eficiencia de un transformador, se debe de utilizar una forma de núcleo del tipo cruciforme y no la del tipo rectangular utilizando material M-4/125, con una inducción de **17000 Gauss** con pérdidas específicas de **1.52 w/kg**; sin embargo en este informe, el diseño de núcleo que se utilizó fue de tipo rectangular con material Powercore de grado C120-27 el cual genera una menor pérdida específica de **1.107 w/kg** para una inducción magnética de diseño de 15500 Gauss, así mismo el corte y armado que manejamos en nuestra manufactura hace que sea uno de los más eficientes lo cual es comprobado en el laboratorio de pruebas con los resultados obtenidos (ver **ANEXO N° 6**).
- Según Alvis, en su tesis concluye que el conocimiento de los diferentes métodos de cálculo de un transformador eléctrico, facilita la elección correcta de la táctica matemática a ejecutar, lo que permite de manera eficaz y simple hallar los datos necesarios con un bajo margen de error; siendo este compatible con nuestro informe, el cual también utiliza los conocimientos adquiridos aplicando diferentes métodos de cálculo, incluyendo así factores de corrección en cada etapa del diseño del transformador, lo cual ayudo a tener menor error en los cálculos realizados, siendo esto corroborado en la fabricación del transformador.

4.2. Conclusiones

Del presente proyecto realizado se concluye:

- Se elaboró el diseño del transformador 50 kVA 230/400 V, de acuerdo a las condiciones y características fijadas por la ficha técnica, teniendo en consideración las normas de fabricación según la IEC 60076 y la NTP ITINTEC 370.002 para suministrar de energía eléctrica en el Laboratorio de Nutrición y Ciencia de Alimentos de la UPCH.
- El proceso de producción se realizó en las instalaciones de FASETRON, y se comprobó que en el diseño eléctrico y en el proceso de manufactura, aparecen variables no consideradas al realizar la etapa de selección de materias primas y de proveedores, originando cambios que se adaptaron mediante factores de corrección en el diseño.
- La fabricación del transformador se construyó de acuerdo al diseño y a las normas: IEC 60076 y la NTP INTITEC 370.002. Que mediante pruebas realizadas en el laboratorio de FASETRON (**ver ANEXO N°6**), se obtuvieron resultados satisfactorios.

V. RECOMENDACIONES

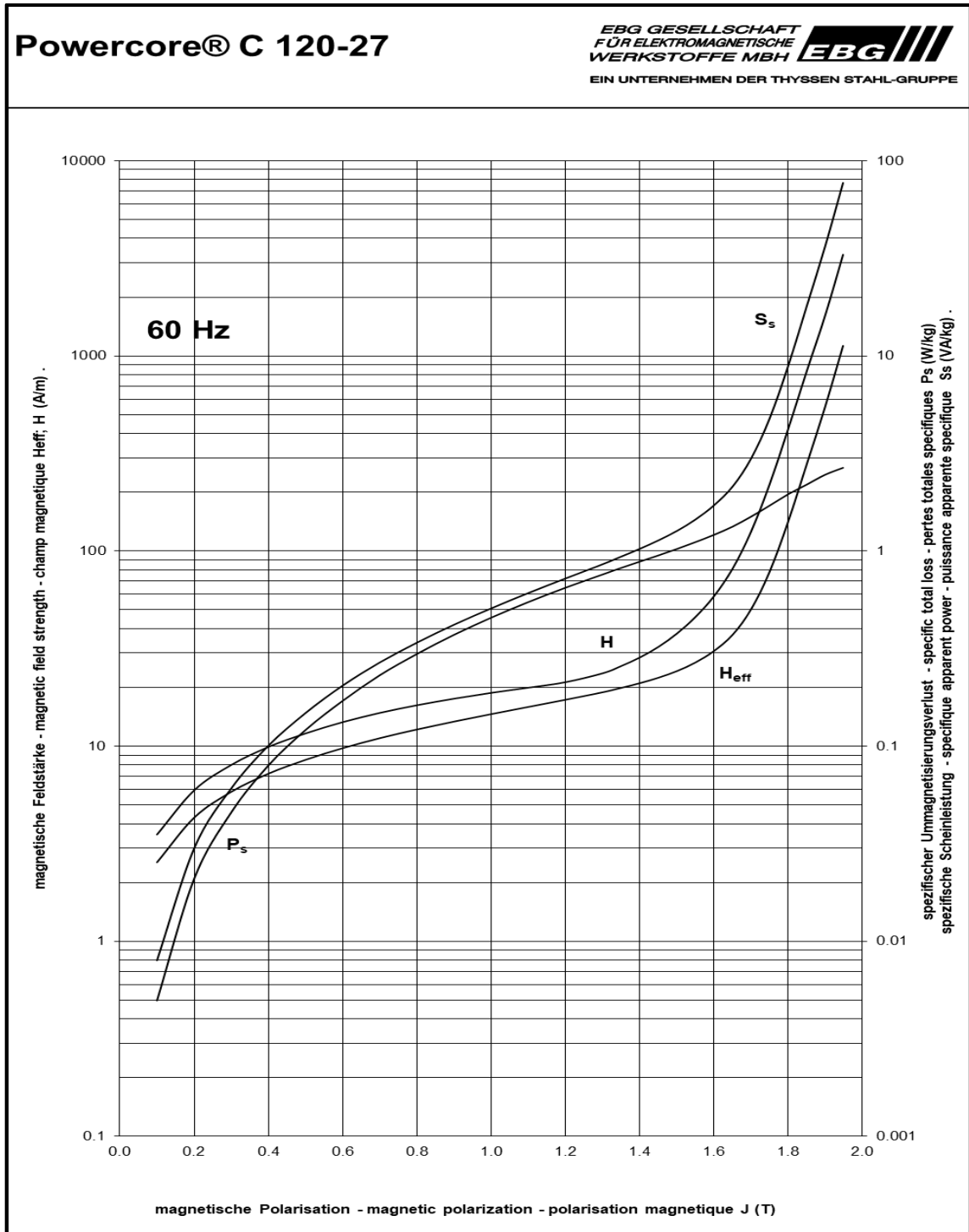
- Se recomienda diseñar y fabricar transformadores con regulación de voltaje en la entrada que soporte variaciones del $\pm 5\%$ como máximo, para garantizar el voltaje de salida requerido.
- Se recomienda que las pruebas de los transformadores sean realizadas en un laboratorio certificado con equipos calibrados para verificar que los parámetros estén de acuerdo al diseño.
- Se recomienda realizar mantenimientos preventivos semestrales para garantizar el funcionamiento permanente del transformador.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- 1968, Norma Técnica Peruana ITINTEC 370.002, Lima Perú.
- IEC 60076(1-14)-Transformadores de Potencia.
- Corrales Martin J., 1969, Teoría cálculo y construcción de transformadores, Barcelona-España, Editorial Labor S.A.
- Corrales Martin J., 1976, Calculo Industrial de Maquinas Eléctricas (Tomo I y II), Barcelona-España, Marcombo de Boixareu Editores.
- Staff del MIT E.E., 1943, Circuitos Magnéticos y Transformadores., Cambridge Massachusetts- EE.UU., Editorial Reverté S.A.
- Lagoma A., 1961, Teoría y Práctica de los Transformadores, Barcelona España, Editor Juan Brugher.
- Camarena M. P., 1980, Transformadores Eléctricos Industriales (Reparación diseño y construcción), México, Compañía Editorial Continental S.A.
- [Avelino Pérez P., 2001, Transformadores de Distribución (Teoría, calculo, construcción y pruebas), México, Editorial Reverté SA.
- Ras Oliva E., 1991, Transformadores de potencia, de medida y de protección, Barcelona-España, Editorial Marcombo S.A.
- Salvador Gonzales M., 2001, Maquinas Eléctricas Estáticas, Lima-Perú, Salvador Editores
- Sandoval Palis I.P., 2000, Diseño de transformadores de Distribución asistido por computador, Quito - Ecuador, Tesis Pregrado.
- Solis, R. G.-J. (2008). Optimización aplicada al diseño y cálculo de un transformador de distribución. Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional, México.
- Lorite, L. Á. (2015). Transformadores trifásicos respuesta ante cargas lineales y no lineales, ensayos y simulación. Trabajo de grado, Jaén.

ANEXOS

ANEXO N° 1. CURVA DE SATURACION DE FIERRO SILICOSO C120-27



ANEXO N° 2. PLANO DE CAJA DE PROTECCION DEL TRANSFORMADOR

VISTA FRONTAL

VISTA LATERAL

ENTRADA Y SALIDA DE LOS CABLES POR LA PARTE INFERIOR PARA SU INSTALACION

AGUJEROS DE ANCLAJE DE 12 mm

Color: RAL 7032
 GROSOR DE LA PLANCHA : 1/16 PULGADAS
 TAPA EMPERNADA: FRONTAL - POSTERIOR - LATERALES.

POTENCIA (KVA)	DIMENSIONES APROXIMADAS CAJA DE PROTECCION (m.m)				PESO (kg)
	A	B	C	D	
50	900	650	400	100	190

CUENTE : PROYECTO UPCH	DENOMINACION DE LA CAJA DE PROTECCION Denominación: TRANSFORMADOR DE 50 KVA 20 / 400 V. DISEÑO 1E-1-1000000000 Ing. responsable: [Redacted] Dibujo CAD: [Redacted] Revisado: [Redacted] Aprobado: [Redacted] Fecha: 01/09/2021 Form: A-4 Escala: 3/4E Supervisado: [Redacted]	CONFIRMACION: XXXXXX SERIE: XXXXXX
--------------------------------------	---	--

ANEXO N° 3. PLANO DE PARTE ACTIVA DEL TRANSFORMADOR

VISTA FRONTAL

VISTA LATERAL

VISTA SUPERIOR

Transformador Seco
Factor K-1

DIMENSIONES DE LA PARTE ACTIVA DEL TRANSFORMADOR (m.m)		
A	B	C
500	630	300

CLIENTE :	DISEÑO DE LA PARTE ACTIVA DEL TRANSFORMADOR ESTO	CONFIRMACION:
PROYECTO UPCH	Denominación:	XXXXXX
	TRANSFORMADOR DE 10 KVA/220V/110V Y 100V/110V/220V	
	Ing. responsable :	Dibujo CAD :
	Revisado :	Aprobado :
Fecha:	Form:	Serie:
01/11/2001	A - 4	S/E
		Superviso :
		XXXXXX

Activa Wir
Ve a la Oficina

ANEXO N° 4. CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR TRIFASICO









ITEM 1: CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR TRIFASICO SECO

ESTANDAR DE FIEVVA

Transformador en Seco Barrizado, con arrollamiento de aluminio, núcleo de hierro sílico en corte de 45°, enfriamiento natural, previsto para las siguientes condiciones:

Fabricante	:	FASETRON
País de Fabricación	:	PERU
Marca	:	FASETRON
Tipo	:	Seco
Potencia	:	50KVA
Factor	:	K=1
Fases	:	Trifásico
Norma de Ejecución	:	IEC - 76, ITINTEC 370 - 002, UL -1562
Frecuencia	:	60 Hz.
Tensión Primaria	:	230VAC
Regulación Primaria	:	1
N° de Borneo Primario	:	3
Tensión Secundaria (fase-fase)	:	400AC (L-L)
Tensión secundaria (fase-neutro)	:	230 (L-N)
N° de Borneo Secundario	:	4
Grupo de Conexión	:	Dyrd
Nivel de Aislamiento	:	1.1 / 3 F - KV.
Distorsión Armónica	:	3% a plena carga
Tensión de Corto circuito	:	4%
Grado de Protección	:	IP21
Clase	:	F (155°C)
Eficiencia	:	mayor a 96%
Sobrecarga admisible	:	148% por 30 minutos a 40 °C
Protección	:	Interna
Montaje	:	Interior
Refrigeración	:	ANAN
Servicio	:	Continuo
Apantallamiento Electrostatico	:	-

CARACTERISTICAS FISICAS

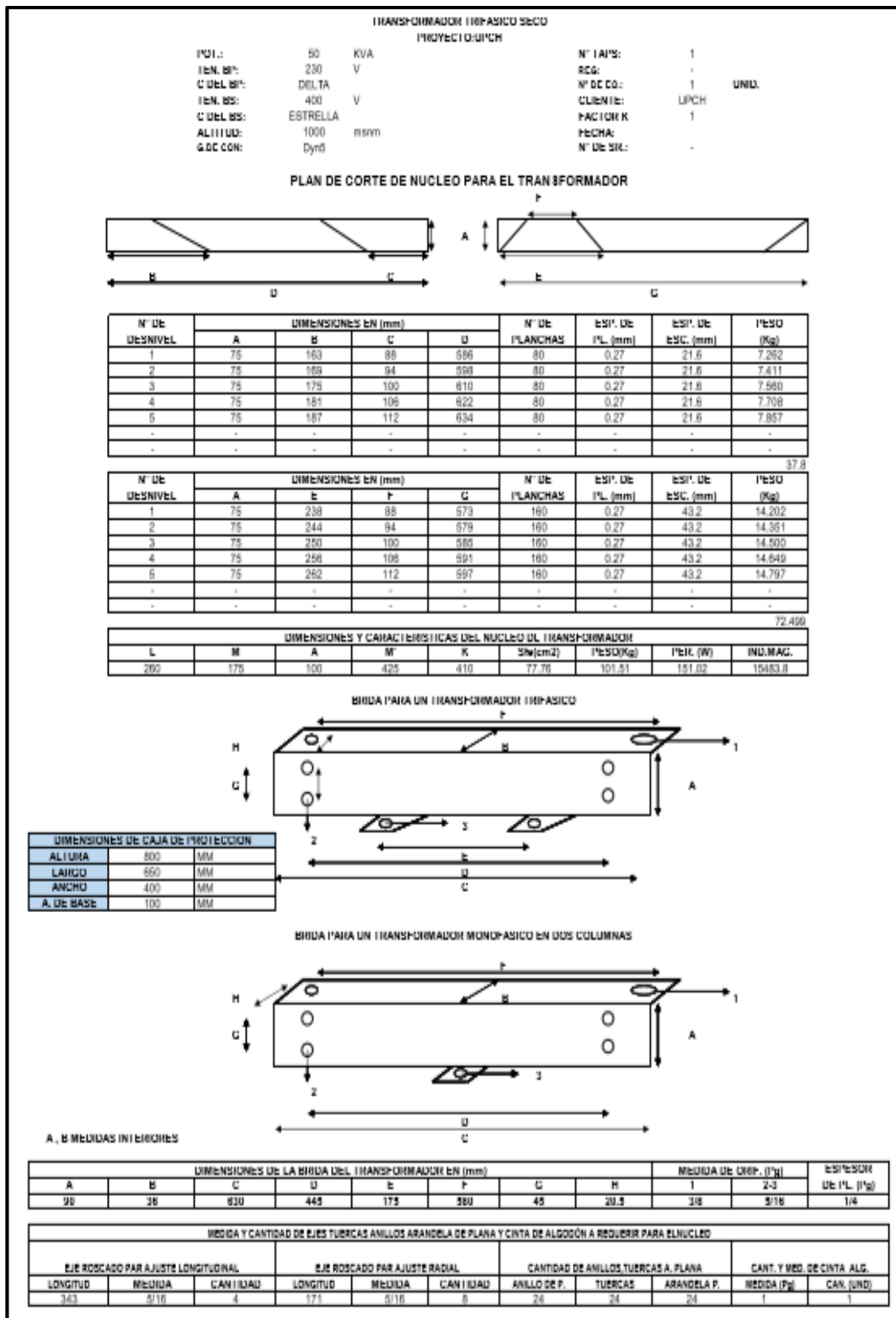
- Gabinete Metálico : El transformador con todos sus componentes. Estará instalado en un Gabinete metálico, grado de Protección IP21, con tapa en la parte superior y Accesible por los lados. Este provisto de orificios de Ventilación. La entrada y salida de cables es por los lados ó por el piso del gabinete. Fabricado en Panchas LAF
- Montaje : Horizontal
- Acabados y Color : El Gabinete será sometido a un proceso Anticorrosivo de tipo decapado (El material a usar Estará Libre de grasa y polvo). El pintado será de tipo epoxico anticorrosivo aplicado en pintura en polvo electrostatica. El acabado será epoxico gris ó RAL 7032

CARACTERISTICAS AMBIENTALES

- Nivel de Ruido Audible : 40 Db
- Temperatura : (0°C a 40 °C)
- Nivel de Humedad : Hasta 90% sin condensación
- Altitud de Operación : 10000 metm.
- Vida Útil : 10 Años
- Ventilación : Natural

OPICINA Y PLANTA: Calle Los Rostales 912, II Et. ó Urb. Shangri-La Pta. Piedra
 Telefonos: 321-1622 / 321-4212 / 321-2252
 E-mail: ventas@fasetron.com Home page: www.fasetron.com

ANEXO N° 5. DISEÑO DEL TRANSFORMADOR TRIFASICO



**TRANSFORMADOR TRIFASICO BECO
PROYECTO:UPCH**

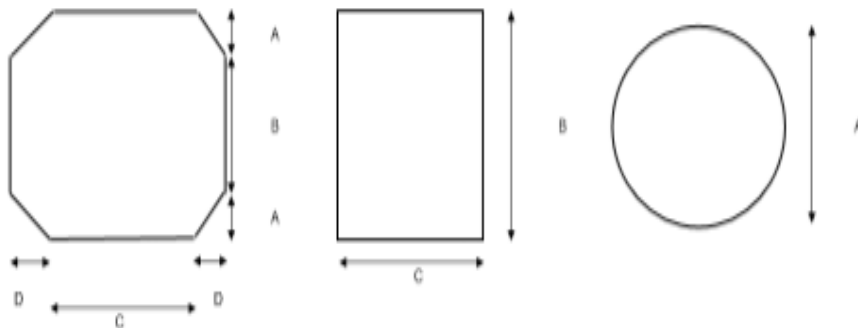
POT.: 50 KVA
TEN. BP: 230 V
C DEL BP: DELTA
TEN. BS: 400 V
C DEL BS: ESTRELLA
ALTITUD: 1000 mm
GRUPO CON: Dyn5

Nº TAP: 1
Hc: -
Nº DE BU.: 1 UNID.
CLIENTE: UPCH
FACTOR K: 1
FECHA:
Nº DE SR: -

BOBINADO DEL TRANSFORMADOR TRIFASICO BECO

BOBINADO SECUNDARIO (CONDUCTOR ALUMINIO)						BOBINADO PRIMARIO (CONDUCTOR ALUMINIO)					
L.DRUTA DS (mm)	L.NETA DE LA DS (mm)	ANCHO DE LA DS (mm)	PROF. DE LA DS (mm)	P. AL DS A 75°C (W)	PCR. AL T. A 75°C (W)	L.DRUTA DP (mm)	L.NETA DE LA DP (mm)	ANCHO DE LA DP (mm)	PROF. DE LA DP (mm)	P. AL DP A 75°C (W)	
240	232	122	175	414.14	878.85	240	232	165	268.3782808	564.79	
PCR. AL T. A 115°C (W)	TOC 115°C (%)	ICC BP (A)	ESP. AIS. NUCL. DS	P. DEL AIS. NDS (Kg)		TIPO DE DDO. DP	TIPO DE TRANS. DP	Nº DE CON. JUNTOS DP	Nº DE CON. SUPER. DP	SENTIDO DE LA DP	
1108.19	3.84	3888.4	1	0.4		RECT. CLIN.	NORMAL	-	-	DERECHA	
TIPO DE DDO. DS	TIPO DE TRANS. DS	Nº DE CON. JUNTOS DS	Nº DE CON. SUPER. DS	SENTIDO DE LA DS		Nº DE ES. DEL DP	Nº DE CAPAS DP	ESP. POR CAPA DP	DIM. DEL COND. DP		
RECT. CLIN.	NORMAL	-	-	DERECHA		72	4	18	ESP. (mm)	ANCHO (mm)	
									DIM. DEL COND. DP		
Nº DE ES. DEL DS	Nº DE CAPAS DS	ESP. POR CAPA DS	DIM. DEL COND. DS			PESO DEL COND. (Kg)	E. DE AIS. DEL C. DP	P. DE AIS. DE CD. (Kg)	AIS. POR CAPA DP	P. DEL AIS. POR C. (Kg)	
72	4	18	ESP. (mm)	ANCHO (mm)		18	0.3	1	0.25	0.6	
P. DEL CD. DS (Kg)	E. DE AIS. DEL C. DS	P. DE AIS. DE CD. (Kg)	AIS. POR CAPA DS	P. DEL AIS. POR C. (Kg)		R. DEL DP OIM 75°C	DIM. DEL RELLENO DP		PESO DE REL. (Kg)	TIPO DE C. DE REF. DP	
14	0.3	0	0.25	0.4		0.04	ANCHO 1	ANCHO 2	1.0	FRONTAL	
DIM. DEL RELLENO DS		PESO DE REL. (Kg)	TIPO DE C. DE REF. DS	P. DEL DS OIM 75°C		Nº DE C. DE REF. DP	UBICACIÓN DEL CANAL DE REF. DP			ESP. DE C. DE REF. DP	
ANCHO 1	ANCHO 2	0.7	FRONTAL	0.02651		1	CAPA	-	-	8	
Nº DE C. DE REF. DS	UBICACIÓN DEL CANAL DE REF. DS			ESP. DE C. DE REF. DS		TENSIÓN POR TAP PARA EL BOBINADO PRIMARIO					
1	CAPA	-	-	8		-	-	1	-	-	
						-	-	230	-	-	
T DE C. DE REF. DS DP	E. DE C. DE REF. DS DP	ESP. AIS. DS DP	PESO AIS. DS DP (Kg)	DERIVACIONES DEL BOBINADO PRIMARIO EN LA E DP							
FRONTAL	8	1	0.5	-	-	1	-	-	-	-	
				0	0	72	0	0			

MOLDE	DIMENSIONES Y TIPO DE MOLDE DEL BOBINADO					TIPO DE BOBINA
	A	B	C	D	LONGITUD	
RECTANGULAR	-	115	80	-	240	RECT. CLIN.



ANEXO N° 6. PROTOCOLO DE PRUEBAS

PROTOCOLO DE PRUEBA			
TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO			
CLIENTE : UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA			
1 - CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR			
Marca	: FASETRON		
Tipo	: BST50K0		
Serie	: 310310		
Potencia Nominal	: 50KVA		
Relacion de Transformación	: 230V/400V		
Relacion de Corriente	: 125.51/72.17Amp.		
Grupo de Conexión	: Dyn5		
Frecuencia	: 60 Hz.		
Factor	: K - 1		
N° de fases	: 3 ϕ		
Clase de Aislamiento	: F		
Enfriamiento	: ANAN		
Nivel de Aislamiento Primario	: 1.1 / 2,5kV		
Nivel de Aislamiento Secundario	: 1.1 / 2,5kV		
Vcc a 115 ° C (%)	: 3.93		
Altitud de Operación	: 1000 msnm		
Montaje	: INTERIOR.		
Servicio	: Continuo.		
Norma de Fabricación	: IEC Pub - 76		
Año de Fabricación	: 2021		
Peso Total	: 185kg		
2 - RESISTENCIA DE AISLAMIENTO T amb. = 22°C			
Megohmetro Digital de 5 kV. Marca Amprobe Tipo AMB-5KVD			
SEÑALIZACION	Resistencia de Aislamiento (1')	Voltaje Aplicado	Indice Polarización
Primario - Secundario	15500 M Ω	2 500 VDC	IP > 2
Primario - Masa	12400 M Ω	2 500 VDC	IP > 2
Secundario - Masa	8500 M Ω	2 500 VDC	IP > 2
RESULTADO Conforme.			
3 - MEDIDA DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS.			
Miliohmetro Digital Marca Megabras Tipo M0 2Kc			
Marcacion	Bobinado AT 230V	Marcacion	Bobinado BT 400V
R - S	20.80 m Ω	r - s	44.50 m Ω
S - T	21.50 m Ω	s - t	44.55 m Ω
T - R	21.60 m Ω	t - r	44.60 m Ω
RESULTADO : Conforme. Según Normal IEEE C57.152			

4 - MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION, POLARIDAD Y GRUPO DE CONEXIÓN :

TTR - 330 Trifásico Marca Megger

RELACION TEORICA	MEDIDA DE LA RELACION			Error de relación (%)	Grupo de Conexión
	R-S/n-r	S-T/n-s	T-R/n-t		
0.9959	0.9940	0.9910	0.997	0.108	Dyn5

RESULTADO Conforme. Según Normal IEEE C57.152

5 - PRUEBA EN VACIO : Alimentación por el lado Secundario 400V

ZIMMER ELECTRONIC SYSTEMS Modelo LMG 500

Marzoación	Voltios Cv =	1.732l	Amperios Ca =	1.0	Perdidas Fe (watts)
r - s	230.730	399.636	1.009	1.009	
s - t	233.030	403.620	0.568	0.568	146.340
t - r	230.310	398.909	0.961	0.961	

6 - PRUEBA DE CORTO CIRCUITO : Alimentación lado Primario. 230V

T amb. = 22°C

ZIMMER ELECTRONIC SYSTEMS Modelo LMG 500

Marzoación	Voltios Cv =	1.732l	Amperios Ca =	1.0	Perdidas Cu (watts)
R - S	4.78	8.279	126.930	126.930	
S - T	4.745	8.219	130.920	130.920	801.994
T - R	4.7760	8.272	117.850	117.850	

7 - PRUEBA DE TENSION APLICADA

Transformador Elevador de 50 KV (50000 / 220 V)		I Medida (mA)	Tiempo
Primario / Secundario - Masa	2.50 kV.	1.520	60 Seg.
Secundario / Primario - Masa	2.50 kV.	0.600	60 Seg.

RESULTADO : Conforme.

8 - PRUEBA DE TENSION INDUCIDA

Modelo KML - CFW09


Varidor de Frecuencia Electronico Marca WEG.	Voltaje Aplicado	Frecuencia	I Medida (Amp)	Tiempo
	800V	120 Hz.	0.846	60 Seg.

RESULTADO : Conforme.

OOBSERVACION: -

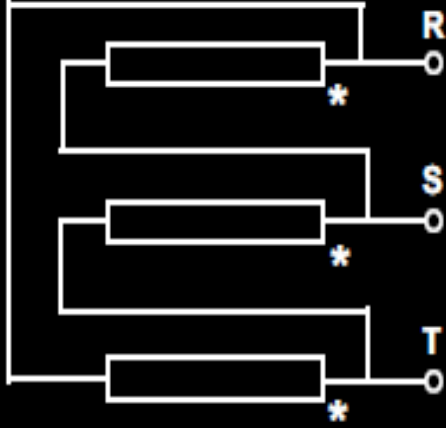
9 - RESUMEN DE LAS PERDIDAS	Valor Medido	FASETRON S.R.L.		
		Fecha de:	Prueba y V° B°	15/11/2021
Pfe a Vnom (Watts)	145.814	Emisión de Protocolo		15/11/2021
Pal a 115 °C a Inom (Watts)	1098.550	Revisado Por:	ING. CESAR PALACIOS AVILA	
Tec a 115 °C a Inom (%)	3.93	Elaborado por:	Bach. Azafra Silva, Julio	
Io a Vnom (%)	1.17	Supervisor:		
Pal a 20 °C a Inom (Watts)	794.967			
Tec a 20 °C a Inom (%)	3.59			

ANEXO N° 7. PLACA CARACTERISTICAS DEL TRANSFORMADOR



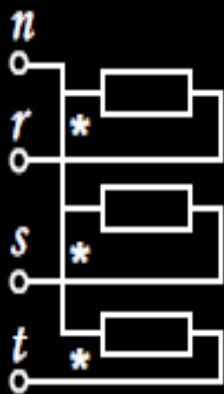
TRANSFORMADOR SECO

AÑO DE FAB.	2021	N° DE SERIE	310310	TIPO	BST50K0	NORMA	ANSI C57.12.10 ITINTEC 370.002
m.s.n.m.	1000	FACTOR K	1	GRUPO DE C.	Dyn5	MONTAJE	Interior
KVA	50	FASES	3 ϕ	Hz	60	NIVEL DE AISLAMIENTO TENSION SOPORTABLE	BP BS
CLASE DE AISL. BP/BS	F / F		REFRIGERACION	ANAN	FRECUENCIA INDUSTRIAL (KV)	2.5	2.5
LIMITES DE ELEV. TEMP. ARROLL. BP / BS	100 / 100 °C		IMPULSO ATMOSFERICO (KV)	- . -			
IMPEDANCIA A 115 °C	3.93 %		TEMPERATURA AMB. MAX.	40 °C			



BOBINADO PRIMARIO R-S-T

VOLTIOS	AMPERIOS
230	125.5



BOBINADO SECUNDARIO r-s-t-n

VOLTIOS	AMPERIOS
400	72.2

PESO P. ACTIVA	170 Kg.	PESO TOTAL	185 Kg.
----------------	---------	------------	---------

OFICINA Y PLANTA: Calle Los Rosales Mz.H L.T. 8 Urb. Shangrila Puente Piedra TEL: 551-1055 / 551-1212
 E-mail: fase@fasetron.com Home Page: www.fasetron.com

ANEXO N° 8. FICHA TECNICA DEL PAPEL NOMEX



SWECO Inc.

92, Nangnaegijil, Bongdam-eub,
Hwasang-city, Gyeonggi-do, Korea.

Tel: +82 31 227 2900

Fax: +82 31 227 2910

E-Mail : sweco@swecomica.com

Website : <http://www.swecomica.com>

SWECOMEX (NOMEX/POLYESTER FILM/NOMEX)

Description : NTN is three layer composite paper made of Nomex paper laminated on both side of polyester film.

It is suitable for automatic winding of class F and H electric motor because of its toughness and flexibility.

VALUE	UNIT	NTN212	NTN222	NTN232	NTN242	NTN252
Thickness	mm	0.13±0.02	0.17±0.02	0.2±0.02	0.23±0.02	0.24±0.03
Tensile strength(MD)	kg/15mm	18↑	20↑	22↑	23↑	25↑
Tensile strength(TD)	kg/15mm	14↑	18↑	24↑	26↑	30↑
Tear resistance(MD)	kg/20mm	20↑	25↑	30↑	31↑	33↑
Tear resistance(TD)	kg/20mm	18↑	30↑	35↑	36↑	38↑
Breakdown voltage	kV	7↑	9↑	10↑	10↑	11↑
Thermal class	IEC 216	F	F	F	F	F
Thermal class	UL E227399 SWS-H1	180°(H) UL1446				

VALUE	UNIT	NTN262	NTN272	NTN2102	NTN2122	NTN2142
Thickness	mm	0.25±0.03	0.3±0.03	0.35±0.03	0.42±0.03	0.48±0.03
Tensile strength(MD)	kg/15mm	27↑	30↑	32↑	34↑	35↑
Tensile strength(TD)	kg/15mm	31↑	32↑	35↑	37↑	38↑
Tear resistance(MD)	kg/20mm	34↑	35↑	40↑	43↑	45↑
Tear resistance(TD)	kg/20mm	39↑	40↑	45↑	48↑	50↑
Breakdown voltage	kV	11↑	12↑	13↑	14↑	15↑
Thermal class	IEC 216	F	F	F	F	F
Thermal class	UL E227399 SWS-H1	180°(H) UL1446				

Remark

Nomex is a Dupont registered trademark

This information is the best current available on the subject. The result should, however, only be regarded as a general guide to material properties and not as a guarantee. Some of the properties can be changed as a result of supplier's efforts to improve the quality or production efficiency of the subject.

ANEXO N° 9. FICHA TECNICA DE LA PLETINA DE ALUMINIO



Testing Report of Enameled Aluminum Flat Wire

Model: Q(Z/Y)LB—2/180

Specification: 5.0mm×12mm

Administer Standard: MW36-A

No.	Inspection Item		Unit	Technical Requirements	Experimental Results	
1	Appearance			Smooth, Uniform Color, Clean and Bright	OK	
2	Size	Max. Outside Diameter	mm	≤ 5.190×12.220	5.102×12.126	
3		Bare Conductor	Narrow side	mm	± 1%	5.001mm
			Wide side	mm	± 0.080 mm	11.986mm
4		Thickness of Insulation Film	Narrow side	mm	0.100 mm—0.140mm	0.101mm
5			Wide side	mm	0.100 mm—0.140mm	0.140mm
6	Nominal Resistance (20℃)		$\Omega \cdot m \cdot m^2 / m$	≤ 0.02785	0.02761	
7	Flexibility and Adhesion			Tensile 15%, No cracking of film	Not cracking	
8	Elongation			≥ 15%	26%	
9	Thermal Shock		℃	Tensile 10% 200℃ Insulation Film no Cracking	No Cracking	
10	Breakdown Voltage (Room Temperature)		KV	Min. Breakdown Voltage of four, three is not less than 2.5KV, one is not less than 0.9KV	3.0, 2.9, 3.7, 3.4 (Aluminum foil method)	
11	Package			Conforms the standards	ok	
12	QC Results			Conformity		

ANEXO N° 10. FICHA TECNICA DE LA CINTA FILAMENTADA

Cinta Filamentada

Descripción:

Cinta reforzada con elementos de fibra de vidrio, para sujeción de bajo-medio peso, refuerzo o amarre. Posee un adhesivo de caucho sintético con buena adhesión a la mayoría de las superficies de cartón, y variedad de metales y plásticos.

Es cinta de grado utilitario. Puede aplicarse utilizando dispensadores manuales

Información técnica:

Construcción	
Adhesivo	Caucho sintético sensible a la presión
Refuerzo	Fibra de vidrio
Color	Trasparente

Medidas Disponibles	
Espesor	0.10 - 0.18 mm.
Ancho	20 mm.
Largo	50 M
Diámetro centro	75 mm.

Usos:

Sellar y reforzar cajas de cartón pesadas

Sostener cajas en pallets

Atar tubos plásticos o metálicos

Atar productos pesados

Precauciones:



La cintas deben ser almacenadas en lugares limpios y secos, a temperatura ambiental y 40- 50% de humedad relativa. Bajo estas condiciones la cinta mantendrá sus características.

Empaque:

Paquetes de 12 rollos en cajas de 6 unidades



ANEXO N° 11. FICHA TECNICA DEL AISLANTE VITRONITE

 <p>SERTEK</p>	Especificación Técnica de Producto	Página: 1 / 2  RC-CMP-1100
<p>Insul-Vitropox 4201 Insul-Vitropox 4202 Insul-Vitropox 4203</p>		
<p>Composición:</p> <p>Estratificado compuesto a base de Tejido de Vidrio, extremadamente fino, impregnado con resina Epóxica de resistencia a altas temperaturas, prensadas bajo temperatura y alta presión de acuerdo a estándares internacionales. NEMA LI 1 : Equivalente a G10 – G10FR4 – G11</p>		
<p>Propiedades:</p> <p>El tipo 4201, presenta buen comportamiento mecánico bajo condiciones de moderada temperatura (130° a 155°C), siendo los tipos 4202 y 4203, por su resina modificada, el que propone los valores más altos en temperaturas hasta 180°C. El tipo 4202, se propone UL94-V0. Toda la línea Vitropox, presenta excelente comportamiento eléctrico bajo condiciones de alto porcentaje de humedad.</p>		
<p>Aplicaciones:</p> <p>Estratificado Insul-Vitropox 4201-4203, es excelente para todo tipo de máquinas, rotativas y estáticas, tipo Motores, Transformadores y Tableros en General. Por su buena resistencia a impacto es ideal para Rondanas o piezas troqueladas, con buen comportamiento como relleno e incluso cuña de cierre de Motores. Muy buen comportamiento a soportería en general.</p>		
<p>Presentación:</p> <p>Espesores: 0,18 mm en adelante. Especiales hasta 100 mm</p> <p>Hojas en formato: 1970 ± 25 x 970 ± 15 mm. 2040 ± 25 x 1020 ± 15 mm. <small>Tolerancias en copiosos milímetros.</small></p> <p>Material en hojas, así como, cualquier tipo de corte o pieza según plano.</p>		
<p>Almacenaje:</p> <p>En condiciones normales (20° C, 50% h.r.), se puede considerar ilimitada.</p>		
Insul-Vitropox 4201-4202-4203.doc	Autor: SERTEK Fecha: 15/12/2008	



Insul-Vitropox 4201 Insul-Vitropox 4202 Insul-Vitropox 4203

Datos Técnicos*


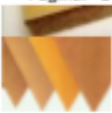
Insul-Vitropox			4201	4202	4203
Propiedades	Método	Unidad	Valor	Valor	Valor
Densidad	ISO 1183-A	g/cm ³	1.80 – 2.00		
Resistencia a la Flexión 25° / 150°C	ISO 178	MPa	300 / 105	340 / 125	340 / 170
Resistencia al impacto paralelo a capas (Charpy)	ISO 179-3C	KJ/m ²	33	33	33
Rigidez Dieléctrica perpendicular a capas. 90°	IEC 243	KV/mm	14	14	14
Voltage de Ruptura en aceite paralelo a capas. 90°	IEC 243	kV	35	35	35
Resistencia aislamiento después inmersión en Agua	IEC 167	Ω	5x10 ⁸	1x10 ⁹	1x10 ⁹
Estabilidad Térmica	W/MARTENS	°C	155	180	200
Absorción de Agua. 10 mm	ISO 62-1	mg	20	20	20
Conductividad Térmica	DIN 52612	W/mK	0.3	0.3	0.3
Flamabilidad	UL94		-	V0	HB
Aspecto			Amarillo Natural	Verde	Verde
Equivalencias a			Epoxy Glass	Nema G10/FR4	Nema G11

La información descrita en los Datos Técnicos*, están basados en resultados de pruebas realizadas en laboratorios certificados.

ANEXO Nº 12. FICHA TECNICA DEL BARNIZ AISLANTE CLASE H

	S.E.G. ROYAL DIAMOND,S.A. Aislantes eléctricos																			
INFORMACION TECNICA		Edición:19.09.2007																		
ANTIFLASH 214 SR ELECTROESMALTE ROJO		CLASE TERMICA H (180°C)																		
<p>El electroesmalte ANTIFLASH 214 SR, está elaborado a base de resinas silicona modificadas y pigmento inorgánico rojo. Debe aplicarse sobre toda clase de materiales sometidos a condiciones sumamente desfavorables, elevadas temperaturas, productos y humos agresivos, envejecimiento, humedad, tropicalización, etc....</p>																				
CAMPO DE APLICACION																				
<p>Electroesmalte muy apropiado para aplicar sobre el aparellaje eléctrico que deba responder a la clase térmica "H". Es decir, servicio de funcionamiento en continuo a temperatura de 180°C admitiendo puntas más elevadas. Debe tenerse en cuenta que siempre que se proceda a un aislamiento clase H hay que prescindir de los aislantes orgánicos corrientes : algodón, seda, barnices grasos, etc..... debiendo utilizarse solamente materias que resistan las elevadas temperaturas: fibras, tejidos de vidrio, mica, etc.....</p>																				
MODO DE EMPLEO																				
<p>Se aplica normalmente a pincel sobre las partes externas del bobinado o interior de carcasa del motor. Puede igualmente emplearse a pistola, después de diluirlo convenientemente. El secado se efectúa a temperatura ambiente. Si se desea mayor rapidez de secado, pueden pintarse los bobinados calientes (80°C) a la salida del horno. Se recomienda remover bien el producto antes de su aplicación, a fin de homogeneizar las cargas minerales que contiene.</p>																				
CARACTERISTICAS FISICAS																				
<table> <tr> <td>Color</td> <td>Rojo (RAL 3011)</td> </tr> <tr> <td>Densidad a 20°C (grs/cm³).....</td> <td>1.04</td> </tr> <tr> <td>Viscosidad Copa Ford Nº 4 a 20°C (seg).....</td> <td>45+-10</td> </tr> <tr> <td>Materia fija (%).....</td> <td>50+-5</td> </tr> <tr> <td>Clasificación Térmica.....</td> <td>H (180°C)</td> </tr> <tr> <td>Película resultante</td> <td>Brillante, adherente, muy dura y flexible.</td> </tr> <tr> <td>Estabilidad almacenaje a 20°C.....</td> <td>12 meses.</td> </tr> <tr> <td>Secado tacto sobre placa 20°C (min.)</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Secado en profundidad (min.)</td> <td>60-90</td> </tr> </table>			Color	Rojo (RAL 3011)	Densidad a 20°C (grs/cm ³).....	1.04	Viscosidad Copa Ford Nº 4 a 20°C (seg).....	45+-10	Materia fija (%).....	50+-5	Clasificación Térmica.....	H (180°C)	Película resultante	Brillante, adherente, muy dura y flexible.	Estabilidad almacenaje a 20°C.....	12 meses.	Secado tacto sobre placa 20°C (min.)	15	Secado en profundidad (min.)	60-90
Color	Rojo (RAL 3011)																			
Densidad a 20°C (grs/cm ³).....	1.04																			
Viscosidad Copa Ford Nº 4 a 20°C (seg).....	45+-10																			
Materia fija (%).....	50+-5																			
Clasificación Térmica.....	H (180°C)																			
Película resultante	Brillante, adherente, muy dura y flexible.																			
Estabilidad almacenaje a 20°C.....	12 meses.																			
Secado tacto sobre placa 20°C (min.)	15																			
Secado en profundidad (min.)	60-90																			
CARACTERISTICAS DIELECTRICAS																				
<p>Perforación dieléctrica sobre placa de cobre por grueso de película 0.01 mm: ESTADO NATURAL.....930 V Después de 8 días al aire (90 % humedad).....810 V Después de 8 días en agua destilada.....770 V Resistencia térmica continuada.....180°C</p>																				
DILUYENTE																				
<p>En caso que se desee reducir la viscosidad, debe emplearse nuestro DILUYENTE F-5 incorporándolo al barniz con agitación hasta conseguir una buena homogeneización.</p>																				
FORMA DE SUMINISTRO																				
<p>En envases de hojalata litografiados y precintados de 1,5 y 25 litros. En bidones de plancha de hierro de 50, 100 y 200 litros.</p>																				
<p><small>La información que le ofrecemos es de carácter orientativo y como resultado de nuestros ensayos, pero sin asumir ninguna responsabilidad derivada de su aplicación.</small></p>																				
S.E.G. ROYAL DIAMOND,S.A. Tel- 93 791 80 06	Fax: 93 791 91 25	Polígono Industrial S/N 08319 Dosrius (Barcelona) España e-mail: royal-diamond@royal-diamond.es www.royal-diamond.es																		

ANEXO N° 13. FICHA TECNICA DEL CARTON BASE

	Especificación Técnica de Producto Insul-Pressboard 5001	Página: 1 / 3  RC-CMP-1100
---	---	---

Composición:

Insul-Pressboard 5001, es un cartón de muy alta densidad, prensado a partir de pulpa de sulfato de celulosa de madera absolutamente exento de impurezas.

Propiedades:

Cartón que cumple los estándares **Tipo: B.3.1**

Alta pureza química con excelente acabado superficial y alta resistencia a la compresión. Muy estable dimensionalmente hablando, con bajo encogimiento superficial y excelente resistencia mecánica.

Aplicaciones:

Insul-Pressboard 5001, se utiliza como aislante para Transformadores de Media y Alta Potencia, así como, Transformadores de Distribución sumergidos en Aceite. Por sus propiedades, es excelente para: Separadores o espaciadores, "Duct Strip", Tiras de fijación, Anillos, Discos, Cilindros, Soportes, etc.

Normas:

Material Aislante Clase A (105° C). Tipo: 3.1 Según IEC 641-1-3-1

Presentación:

Hojas en Espesores: 0.60 mm hasta 4.00 mm. Prensado hasta 50 mm.

Hojas en Formatos: 2000 y 3000 x 1000 mm / 6300 x 3200 mm ó múltiplos.

Material en hojas, así como, cualquier tipo de corte o pieza según plano.

Almacenaje:

El cartón en Hojas, así como, todos aquellos productos fabricados a partir de pulpa de celulosa, son productos susceptibles a absorción de humedad. Mantener en lugares con humedad controlada, a poder ser ambiente seco, y fuera de cambios bruscos (frio-calor-humedad). Mantener en embalaje original, protegiendo, una vez abierto, con plástico anti humedad.

La humedad, reblandece y deforma el producto.

Insul-PressBoard 5001
Sera Global Technology

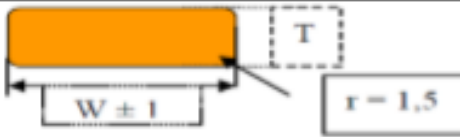



Autor: SERTEK Fecha: 15/12/2008
www.sertekglobal.com sertek@sertekglobal.com

Datos Técnicos*					
Propiedades	Unidad	Valor	Valor	Valor	
Espesores Nominales	Mm	≤ 1.60	1.60 a 3.00	>3.00 a 6.00	
Desviación en espesor frente a nominal	%	7.5	5	5	
Densidad aparente	g/cm ³	1.10 a 1.20	1.10 a 1.25	1.15 a 1.30	
Resistencia a Tracción (mínimos)	MD	N/mm ²	100	105	1010
	CMD		75	80	85
Elongación a Rotura	MD	%	3.0		
	CMD		4.0		
Compresión	C	%	Max. 10	Max. 7.5	
	Crev		Min. 45	Min. 50	
Encogimiento	MD	%	Max. 0,50		
	CMD		Max. 0,70		
	Espesor		Max. 5.0		
Contenido de Humedad (Entrega)	%	Max. 6.0			
Contenido en Cenizas	%	Max. 1.0			
pH del extracto acuoso		6-9			
Conductividad del extracto acuoso	mS/m	5.0	6.0	8.0	
Rigidez dieléctrica en Aceite	kV/mm	Min. 40	Min. 30	Min. 30	

MD: Machine Direction. CMD: Cross Machine Direction

La información descrita en los Datos Técnicos*, están basados en resultados de pruebas realizadas en laboratorios certificados.



Presentación de TIRAS estándares. "STRIPS"			
Dibujos	Tipo	[*] T	^{**} W
	Strip 1	Espesor	Ancho
		^{***} Largo:	
Dibujos	Tipo	[*] T	^{**} W
	Strip 2	Espesor	Ancho
		^{***} Largo:	
Dibujos	Tipo	[*] T	^{**} W
	Strip 3	Espesor	Ancho
		^{***} Largo:	
Dibujos	Tipo	[*] T	^{**} W
	Strip 4	Espesor	Ancho
		^{***} Largo:	
^{***} Largo:	Estándares: 2000 / 3000 / 3200 / 4200 mm		
[*] T & ^{**} W	Definir medidas según plano. T&W : Mínimo 4 x 4 mm		