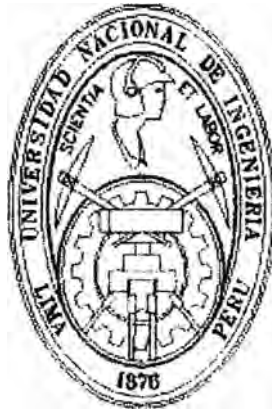


Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA
PARA MEDIR EL DESEMPEÑO DEL PROCESO DE
FABRICACIÓN DE TRANSFORMADORES DE
DISTRIBUCIÓN”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

ROBERTO MISAEL TEJEDA VASQUEZ

PROMOCION 2003.I

**LIMA • PERÚ
2008**

DEDICATORIA

A Roberto y Claudina, mis padres por su cariño apoyo incondicional

A mis hermanos Susan, Jose y Diana

A Rocio por estar a mi lado, ser parte de mi vida y complemento de mi corazón

A Dios por permitirme ser quien soy hoy y dejarme encaminar mi mañana

ÍNDICE

PRÓLOGO	1
 CAPITULO I	
INTRODUCCION Y DEFINICIONES	3
1.1 Antecedentes y objeto del informe	3
1.1.1 Antecedentes	3
1.1.2 Objeto y limitaciones del informe	6
1.1.3 Alcance y norma	7
1.2 Términos y definiciones	8
 CAPITULO II	
DEFINICION DEL PROCESO	11
2.1 Descripción y establecimiento de mapa de proceso	11
2.1.1 Descripción del proceso	11
2.1.2 Diagrama de flujo del proceso	22
2.1.3 Diagrama SIPOC (PEPSC)	24
2.1.4 Mapa del proceso	26
2.2 Identificación de problemática	28
2.2.1 Definición de los CTQs	28
2.2.2 Función de despliegue de la calidad (QFD)	30

CAPITULO III

MEDICION DE LOS PARÁMETROS DEL PROCESO	32
3.1 Establecimiento de los defectos del proceso	32
3.1.1 Diagrama causa – efecto	32
3.1.2 Parámetros de muestreo	34
3.2 Mapa detallado del proceso	35
3.3 Medición de defectos del proceso	37
3.3.1 Desarrollo del plan de recolección de datos	37
3.4 Gráficas de control estadístico del proceso	39
3.4.1 Diagrama de dispersión	39
3.4.2 Histogramas	41
3.5 Determinación de la capacidad del proceso y el nivel	
Sigma del proceso	42

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA	45
4.1 Definición de objetivos	45
4.2 Definición de fuentes de variación	46
4.2.1 Gráficos de Pareto	46
4.2.2 Histograma y gráfico de frecuencia	47
4.3 Desarrollo de hipótesis	48
4.3.1 Análisis del modo de falla (AMFE)	48

4.4 Identificación/enfoque de las variables claves de entrada	
del proceso	51
4.4.1 Análisis de regresión	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFIA	64
ANEXOS	66

PROLOGO

El objetivo del presente informe es aplicar la metodología SIX SIGMA (metodología de calidad aplicada para el estudio y optimización de procesos) para definir, medir y analizar el desempeño del proceso de fabricación de transformadores de distribución, en busca de establecer herramientas para la mejora de dicho proceso, estudiando, midiendo y analizando los defectos hallados durante las diversas etapas del proceso de fabricación para lo cual se ha planteado los siguientes capítulos:

Capítulo I. Se hace una introducción al tema del informe, estableciendo los antecedentes, el porque del estudio y la metodología utilizada; se detalla el objeto y limitaciones, así mismo se indica el alcance y normas validas para el proceso en estudio.

Capítulo II. Se define el proceso, las necesidades y requisitos del cliente, parámetros claves para el desarrollo del informe, se establece el mapa de proceso detallado obtenido a través del esquema SIPOC y se identifica la problemática a través de los CTQs y la metodología de despliegue de la calidad.

Capítulo III. Se realiza la medición de las variables principales, para lo cual se utiliza la espina de pescado; se revisa el mapa detallado del proceso para establecer responsables y puntos de medición, se realiza la recolección de datos, y se categoriza los defectos; en este capítulo se hace uso de las herramientas gráficas de control tales como el histograma y el diagrama de dispersión para establecer parámetros e indicadores del proceso; se determina la capacidad del proceso y el nivel sigma, el costo de calidad y se valida el proceso de medición.

Capítulo IV. Se realiza el análisis de los datos obtenidos en el capítulo anterior en busca de la causa raíz de los defectos, para lo cual se utiliza la gráfica de Pareto y diagramas de regresión; se desarrolla una hipótesis utilizando el análisis modal de falla – efecto (AMFE).

Conclusiones y Recomendaciones. Se realiza una síntesis del capítulo final y se establecen las conclusiones del informe, así mismo en base al análisis de las variables se establecen recomendaciones para la implementación y para la mejora del proceso centrándose en los resultados obtenidos.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN Y DEFINICIONES

1.1 ANTECEDENTES Y OBJETO DEL INFORME

1.1.1 Antecedentes

Hoy en día el constante desarrollo de la tecnología y los equipos nos llevan a competir por satisfacer las necesidades, frente a un mercado tan competitivo donde prima la buena atención al cliente, cumplimiento en la entrega y la alta calidad, la única forma de sobrevivir es siendo eficaces y eficientes.

Frente a esta necesidad se han planteado diferentes tipos análisis de procesos para lograr optimizar y reducir los defectos y así ofrecer al cliente productos de calidad. El actual estudio se centra en el análisis del proceso de fabricación de transformadores de distribución, para lo cual se utilizará la metodología Six Sigma.

Para la fabricación de transformadores de distribución se utilizan diversos materiales a lo largo de todo el proceso, el cual detallaremos

mas adelante, dicho proceso tiene etapas definidas, durante las cuales se generan defectos que afectan la calidad del producto. Continuamente se presentan defectos durante las diversas etapas del proceso, esto genera tiempo adicional para la prueba, análisis y corrección de los mismos. Estas actividades adicionales requieren espacio, equipos, materiales y mano de obra.

Para prevenir estos defectos que perjudican la productividad y reducen la rentabilidad de la empresa, es necesario realizar un análisis exhaustivo de cada etapa y de los diversos defectos, para así poder controlar los factores que los generan.

Six Sigma es una metodología de la Gerencia de la calidad que provee a los negocios las herramientas para mejorar la capacidad de sus procesos. Este aumento en el desempeño y la disminución de la variación de los procesos conducen a la reducción de defectos, a la mejora de los beneficios, a la satisfacción del personal y a la mejora de la calidad del producto.

La pregunta obligada sería porque usar Six Sigma y no otra metodología, esto tiene que ver mucho con nuestro tipo de proceso y lo que se busca mediante el análisis, pues en un proceso de manufactura se manejan variables de tiempo, defectos que dependiendo de la organización son registrados o no, el Six Sigma

trabaja en base a la información recurrente, estadística, para que en base a ella se planteen parámetros de medición, análisis y control de los defectos en búsqueda de la optimización del proceso productivo.

El presente informe esta basado en la experiencia de la empresa TRANSFDIST dedicada a la fabricación de transformadores de distribución.

TRANSFDIST, es una empresa dedicada a la fabricación de transformadores de distribución, la cual a través de los años ha desarrollado su proceso de fabricación en base a tecnología y diseños propios, los transformadores se fabrican utilizando materiales cuidadosamente seleccionados y teniendo en cuenta las normas que rigen la fabricación de los transformadores.

Actualmente el mercado de distribución eléctrica esta en crecimiento debido al auge en la industria de la construcción, el sector industrial y el aumento de la demanda publica, lo que obliga a dichas empresas a adquirir transformadores con mayor frecuencia. Esta gran demanda implica mayor exigencia tanto para TRANSFDIST como para su competencia en el mercado, es por este motivo que se plantea el presente estudio con el objetivo de cumplir las exigencias de calidad. TRANSFDIST ha buscado la forma de mejorar su proceso para reducir los defectos durante el proceso de fabricación; defectos que

afectan la imagen y generan malestar en los clientes. Para encontrar cual es la causa de dichos defectos repetitivos se ha planteado la utilización de la metodología Six Sigma para la cual se tomarán como base los reportes de defectos detectados durante el proceso de fabricación.

1.1.2 Objeto y limitaciones del informe

El objeto del presente informe es establecer los lineamientos base para la implementación de la metodología Six Sigma, utilizando para ello tres etapas de dicha metodología como son: Definir, medir y analizar el proceso de fabricación de transformadores.

El presente informe no desarrollará las otras etapas de la metodología Six Sigma (mejorar y controlar), debido a que estas requieren de un estudio mas profundo y la implementación de un plan mas detallado de trabajo, sin embargo el informe abarca conclusiones para el establecimiento de la etapa de mejora. Así mismo en cuanto al capítulo II no se establecerá la selección de equipos ni los responsables de los roles de trabajo específico por proceso.

1.1.3 Alcances y normas

El alcance del presente informe abarca la fabricación de transformadores de distribución para potencias hasta 2500 KVA, para lo cual se tomará en cuenta un modelo estándar considerando los requisitos de calidad exigidos por una empresa de distribución más importantes de Lima, para así obtener un resultado superior al esperado. Debido a la gran variedad de transformadores fabricados cada uno con características que hacen uno diferente al otro, ya sea por la altura de trabajo o por la necesidad de accesorios adicionales.

Las principales normas aplicadas a la fabricación y control de calidad de los transformadores de distribución son:

**TABLA I-1
NORMAS APLICABLES A LA FABRICACIÓN DE
TRANSFORMADORES**

IEC 60076	Transformadores de potencia.
IEC 60137	Bushing para voltajes alternativos sobre 1000 V.
IEC 60156	Líquidos aislantes. Determinación de la tensión de ruptura dieléctrica a frecuencia industrial. Método de ensayo.
IEC 60214	Cambiadores de tomas.
IEC 60296	Especificación para aceites aislantes para transformadores
IEC 60354	Capacidades de sobrecarga para transformadores sumergidos en aceite
N.T.P. 370.002	Diseño, fabricación y prueba de transformadores
ANSI / IEEE Std. 386	Para los bushings tipo enchufe y aisladores pasantes tipo pozo

1.2 TERMINOS Y DEFINICIONES

Las siguientes definiciones son validas y serán utilizadas en el presente informe:

- **AT:** Alta Tensión.
- **BT:** Baja Tensión.
- **Cliente:** cualquiera que recibe un producto, servicio o información de una operación o proceso.
- **SIPOC:** Acrónimo para Suppliers - Inputs - Process - Outputs – Customers (en castellano: Proveedores – Entradas – Proceso – Salidas – Clientes ó PEPSC)
- **CTQs (Critical to quality):** los puntos críticos para la calidad son las características claves medibles de un producto o proceso que tiene estándares de eficiencia o especificaciones límites que debe ser seguidas para satisfacer al cliente. Ellos nos sirven para alinear la mejora o direccionan los esfuerzos a los requerimientos del cliente.
- **QFD (Quality function deployment):** función de despliegue de la calidad, traduce lo que el cliente quiere en lo que la organización produce, permite a una organización priorizar las necesidades de los clientes, encontrar respuestas innovadoras a esas necesidades, y mejorar procesos hasta una efectividad máxima.
- **Defecto:** cualquier error de alguna oportunidad que no coincide con una especificación predefinida o una falla al conocer un requerimiento

impuesto o una característica de calidad particular, o una instancia de disconformidad en alguna especificación.

- **Gráfica de control:** gráfica que permite analizar el comportamiento de un proceso.
- **Matriz causa – efecto:** fue desarrollado en 1943 por el Profesor Kaoru Ishikawa, también llamado diagrama de espina de pescado o de Ishikawa. Es utilizado para realizar un análisis cualitativo de las causas que producen errores en el proceso.
- **Diagrama de Dispersión:** Un Diagrama de Dispersión es la forma mas sencilla de definir si existe o no una relación causa efecto entre dos variables y que tan firme es esta relación, como estatura y peso, una aumenta al mismo tiempo con la otra.
- **Histogramas:** es una gráfica de barras que permite describir el comportamiento de un conjunto de datos en cuanto a su tendencia central, forma y dispersión.
- **DPU (Defects per unit):** (defecto por unidad) el número de defectos contados, divididos por el número de “productos” o “características” (unidades) producidas.
- **DPMO:** Defects Per Million Opportunities.
- **DPO:** Defects per opportunity
- **DPMO:** (defectos por millón de oportunidades) es el número de defectos contados divididos por el número real de oportunidades, multiplicados por un millón.

- **Rendimiento del proceso:** capacidad de un proceso para producir un producto o servicio libre de defectos de una manera controlada.
- **Nivel Sigma (σ):** herramienta que permite determinar oportunidades y defectos basado en el “número de defectos por millón de unidades”
- **Diagrama de Pareto:** diagrama que permite llevar a cabo el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales) es decir, que hay muchos problemas sin importancia frente a unos pocos graves. Mediante la gráfica colocamos los "pocos vitales a la izquierda" y los "muchos triviales" a la derecha.
- **AMFE:** Análisis de modos de fallo y efectos, permite identificar las variables significativas del proceso/producto para poder determinar y establecer las acciones correctoras necesarias para la prevención del fallo, o la detección del mismo si éste se produce, evitando que productos defectuosos o inadecuados lleguen al cliente

CAPITULO II

DEFINICIÓN DEL PROCESO

2.1 DESCRIPCIÓN Y ESTABLECIMIENTO DE MAPA DE PROCESO

2.1.1 Descripción del proceso

Anteriormente definimos el diagrama de flujo del proceso de fabricación de transformadores de forma genérica, a continuación detallaremos el proceso completo, describiendo las etapas, previamente esquematizadas para poder plantear el mapa detallado del proceso.

a) Diseño y Adquisiciones

El diseño es el primer paso en la fabricación de transformadores, aquí se realizan los cálculos para la fabricación de acuerdo a los requisitos establecidos por el cliente (Anexo I); se calcula la cantidad de materiales a usar, acero, acero magnético para el núcleo, cobre para la bobina, volumen de aceite, etc.; una vez establecido el diseño, se preparan los planos para la fabricación y se envía la información a compras para las adquisiciones

respectivas, se debe tener especial cuidado en la selección del material de calidad, y que cumpla los estándares requeridos por las normas para fabricación (Anexo II). Así mismo se deben cumplir ciertos parámetros para el control en la recepción de insumos, con el fin de evitar inconvenientes durante la fabricación.

b) Preparación del aislamiento

Se trabaja con aislamiento de celulosa pura de diferentes medidas y espesores (papel Kraft para forrar las bobinas, papel Presspan para bobinar) cartones Presspan, cinta de papel crepé, tubo Cellonite, etc. Así mismo se usa Scotchply y poliéster para prensado, utilizados para forrar las platinas y/o alambres, así como la estructura de las bobinas, este aislamiento es cortado, de acuerdo al diseño del transformador, así mismo se usa madera para las cuñas, soportes, travesaños y soporte de arrollamiento.

c) Preparación y montaje del núcleo

El núcleo magnético trifásico esta constituido por planchas magnéticas de grano orientado tipo M4T27, cada lámina está aislada con un recubrimiento especial de bajo coeficiente de expansión térmica lo cual permite reducir los efectos de la magnetostricción ofreciendo además una alta resistencia eléctrica entre láminas así como una excelente resistencia a la corrosión; dichas laminas son previamente cortadas a 45° (para reducir las

perdidas), de acuerdo al tamaño del núcleo diseñado, una vez cortado las laminas estas son ensambladas teniendo especial cuidado en reducir al mínimo los entrehierros entre las laminas, atenuando las perdidas por corrientes parásitas y mejorar el flujo magnético. Las laminas son prensadas dándole la forma de columnas escalonadas, formando así la estructura del núcleo, el cual será sujetado por dos travesaños inferiores y 2 superiores, así mismo lleva estructuras aislantes en la parte inferior. En algunos casos el núcleo es recubierto con una resina, para evitar el fenómeno de magnetostricción, para lo cual se lleva al horno para un curado luego de la aplicación de la resina (la resina es aplicada en las columnas laterales y centrales y el yugo inferior). (Ver figura 2-1).

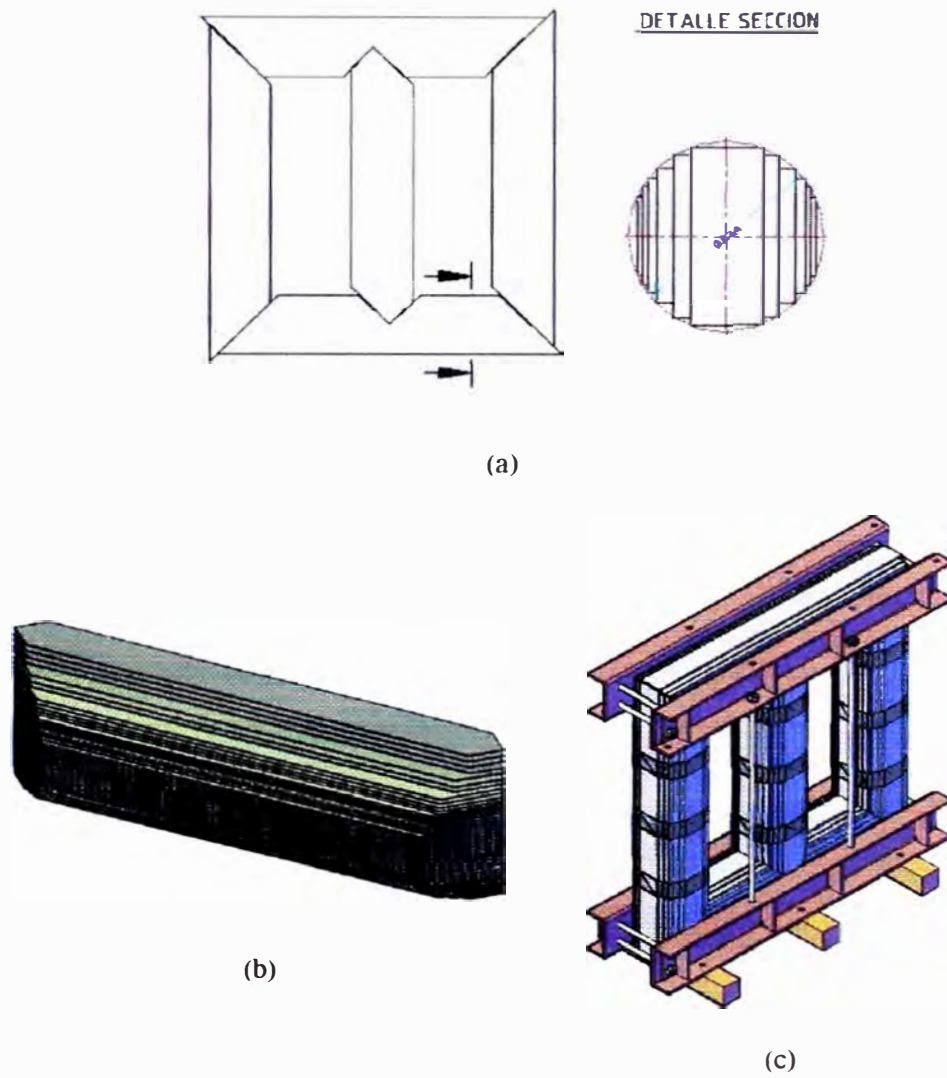


Figura 2-1. Corte de acero magnético y forma del Núcleo (a), apilado de los flejes (b) y núcleo ensamblado (c)

d) Preparación de las bobinas

Es la etapa donde se preparan las bobinas de AT y BT, en base al conductor de cobre electrolítico de 99.90% de pureza; el conductor del arrollamiento de BT es de sección rectangular (platina), el cual es previamente forrado con el aislamiento (papel de celulosa), el arrollamiento de AT, esta compuesto por conductor circular de cobre esmaltado, con aislamiento de doble capa clase "F". Las bobinas son cilíndricas y concéntricas, se usa distanciadores y capas de papel aislante entre capa de bobina. (Ver Figura 2-2).

Las bobinas son tratadas térmicamente y prensadas antes de ser ubicadas en las respectivas columnas del núcleo.



Figura 2-2. Bobina

e) Montaje de parte activa (núcleo y bobinas)

Con las bobinas prensadas, se realiza el montaje del núcleo, con las bobinas y el ensamble al sistema de sujeción y prensado, teniendo especial cuidado en este último, para reducir esfuerzos de cortocircuito y ruido; las conexiones internas son soldadas con una aleación interna de cobre-plata, a fin de evitar falsos contactos.

(Ver figura 2-3)

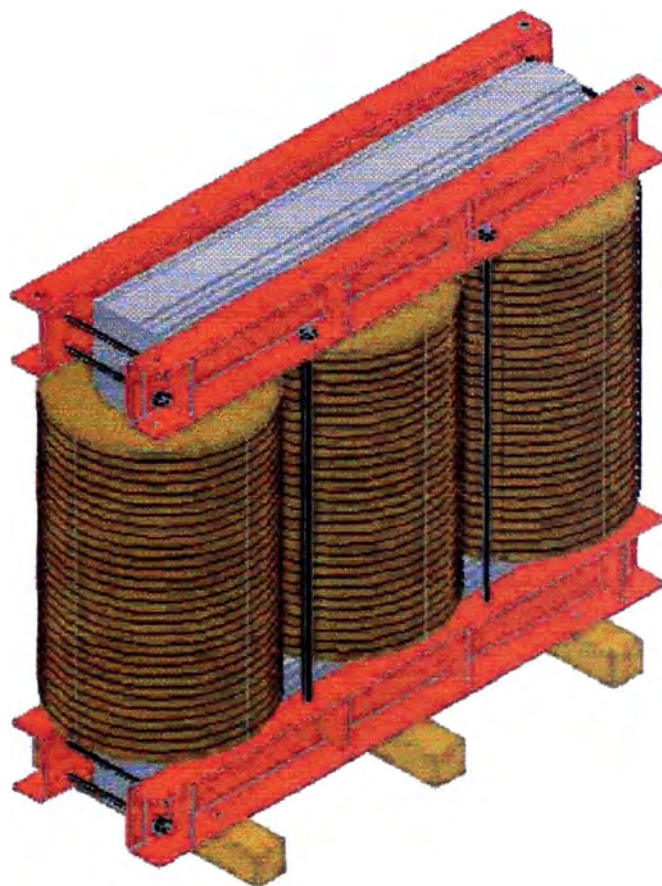


Figura 2.3. Parte activa ensamblada

f) Preparación del tanque, tapa y conservador

El tanque esta compuesto por las siguientes partes:

- Fondo del tanque esta compuesto por una plancha doblada y soldada con dos tapas a los extremos, aquí se ubican los pines guía para el núcleo y se ubica la válvula de vaciado y muestreo.
- Estructura Base, fabricadas en plancha de acero LAC, es la base del transformador, aquí se ubican las ruedas y la tuerca de puesta a tierra.

Marco, es el soporte de la tapa, aquí se ubicara la empaquetadura del tanque.

- Aletas, diseñadas para enfriar el transformador, dobladas de forma ondulada, fabricadas en plancha de acero LAF de acuerdo a las dimensiones calculadas, y soldadas en los extremos.

Toda la estructura compuesta por aletas, marco, estructura base y fondo es soldada en conjunto y sujeto a pruebas de inspección de la soldadura.

El tanque conservador, permite disminuir la superficie de contacto aceite-aire, y es el medio para absorber los cambios de volumen del aceite debido al cambio de temperatura en operación; es fabricado con plancha de acero LAC rolado y con tapas soldadas a

los lados, aquí se ubicarán el indicador de nivel y el deshumedecedor.

La Tapa es fabricada en plancha de acero LAC, preparada y marcada de acuerdo al diseño y disposición de aisladores y accesorios, también lleva los ganchos de izaje y los perfiles de soporte del núcleo. Una vez lista la tapa se procede a soldar el tanque conservador.

Tanto el tanque como la tapa y el conservador son sometidos a un proceso de granallado para limpiar la superficie de impurezas previo al pintado anticorrosivo, luego del cual se revisa el espesor de la pintura.

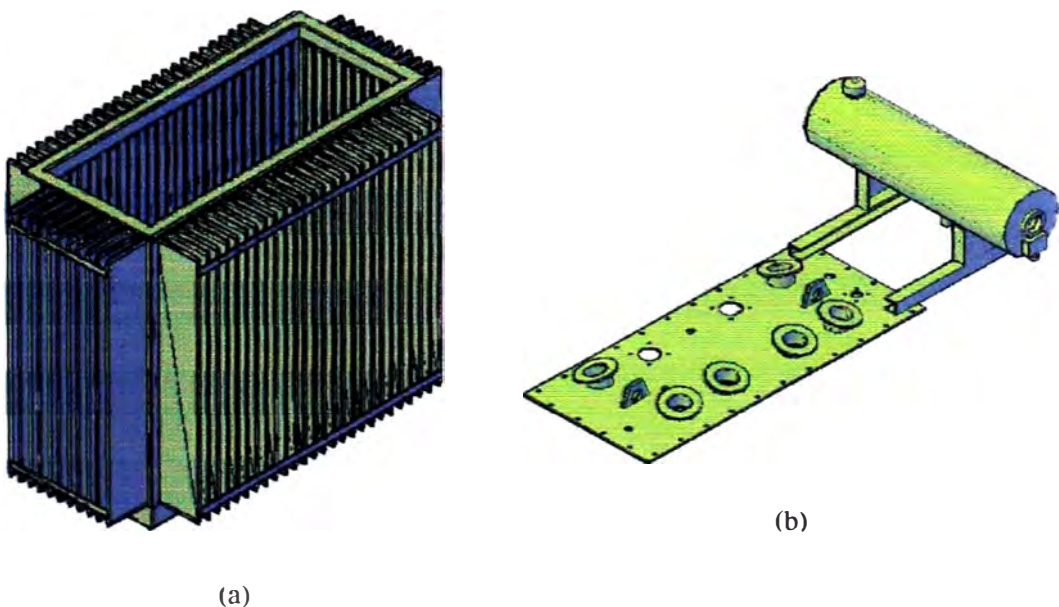


Figura 2-4. Tanque (a), tapa y conservador (b)

g) Conexión y secado

Una vez realizado el montaje de la parte activa (núcleo y bobinas) con la tapa del tanque se realiza el conexionado teniendo especial cuidado en la conexión de los empalmes y las distancias “eléctricas”, al culminar se realiza una prueba de relación de transformación. Luego se ingresa la parte activa del transformador al horno para eliminar la humedad que pueda tener el aislante y el núcleo, así mismo se realiza el ajuste de la parte activa.

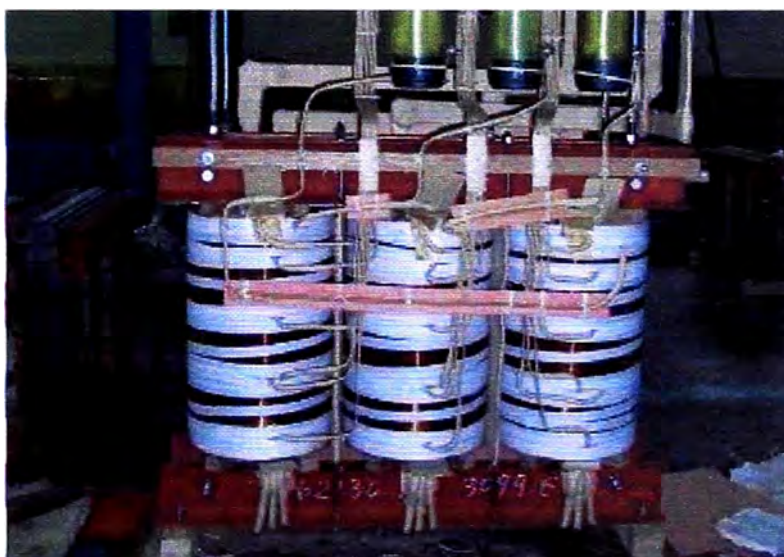


Figura 2-5. Parte activa con las conexiones

h) Encubado y montaje

El encubado consiste en ubicar la parte activa salida del horno de secado dentro del tanque, para su posterior proceso de llenado de aceite, previo al encubado se debe realizar la inspección y ajustes necesarios del núcleo, tirantes de conexión y el sostén del

armazón; luego se montaran los aisladores y sus accesorios y finalmente se probara la continuidad entre núcleo y tapa.

Previo al montaje se realizará una prueba de hermeticidad del tanque, colocando una tapa para la prueba e instalando un manómetro, se aplicará aire comprimido a una presión de 0,5 bar y agua con detergente en los cordones de soldadura, usando una brocha, para revisar si hay fugas.

Para el encubado propiamente dicho se debe verificar y centrar la tapa, instalar la empaquetadura de la tapa, el tanque deberá tener las válvulas respectivas de vaciado y llenado instaladas y ajustadas con cinta teflón, se instalarán los pernos para la tapa, se ajustará la conexión del conmutador, posteriormente se instalarán los accesorios tales como la válvula de seguridad, rele buchholz, termómetro, etc. Se completarán las conexiones externas y se llenará el aceite.

i) Acabados y pruebas

Una vez culminado el proceso de encubado se dan los acabados con la pintura definitiva, y se prepara para verificación del diseño, se realizan las pruebas establecidas en la normas IEC, también denominados ensayos los cuales se efectúan a una temperatura ambiente cualquiera comprendida entre -25°C y $+40^{\circ}\text{C}$, para equipos con circulación natural.

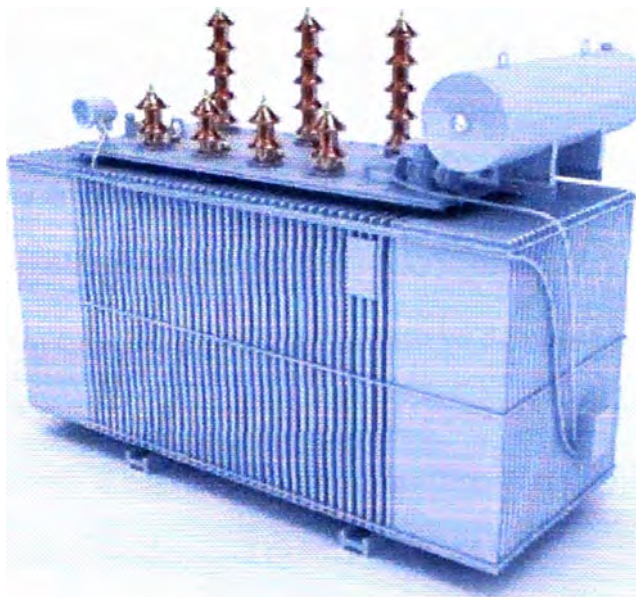


Figura 2-6. Transformador trifásico

Los ensayos establecidos en la norma IEC 60076-1 son:

Ensayos Individuales.- Ensayos efectuados sobre cada transformador tomado individualmente y estos son:

Medida de la resistencia de los arrollamientos (IEC 76-1)

Medida de la relación de transformación y verificación del acoplamiento (IEC 76-1)

Medida de la impedancia de cortocircuito y de las pérdidas debida a la carga (IEC 76-1)

Medida de las pérdidas y de la corriente en vacío (IEC 76-1)

Ensayos dieléctricos individuales (IEC 76-3)

Ensayos en los cambiadores de tomas de regulación en carga (IEC 76-1)

Ensayo de Tipo.- Ensayo efectuado sobre un transformador que e representativo de otros transformadores, para demostrar que

estos transformadores cumplen con las condiciones especificadas que no son controladas por lo ensayos individuales. Dentro de este tipo de ensayo, se establece:

- Ensayo de calentamiento (IEC 76-2)
- Ensayo dieléctricos de tipo (IEC 76-3)

Ensayo Especial.- Esto refiere a un ensayo de tipo o a un ensayo individual, definido por acuerdo entre fabricante y comprador.

- Medida de la impedancia homopolar (IEC 76-1)
- Determinación del nivel de ruido (IEC 551)
- Medida de la resistencia del aislamiento.
- Otras

2.1.2 Diagrama de Flujo del proceso

El proceso de fabricación de transformadores se divide en las siguientes etapas (Diagrama 2-1), siguiendo la siguiente secuencia:

- Diseño y compras como punto de partida.
- Preparación de aislamiento y bobinado.
- Preparación y montaje del núcleo.
- Montaje del Núcleo y bobinas (llamado Parte Activa).
- Preparación de la parte metálica (tanque, tapa y tanque conservador).
- Secado y encubado de la parte activa y el tanque, terminando con el montaje total.
- Acabados y pruebas finales.

DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA FABRICACION DE TRANSFORMADORES

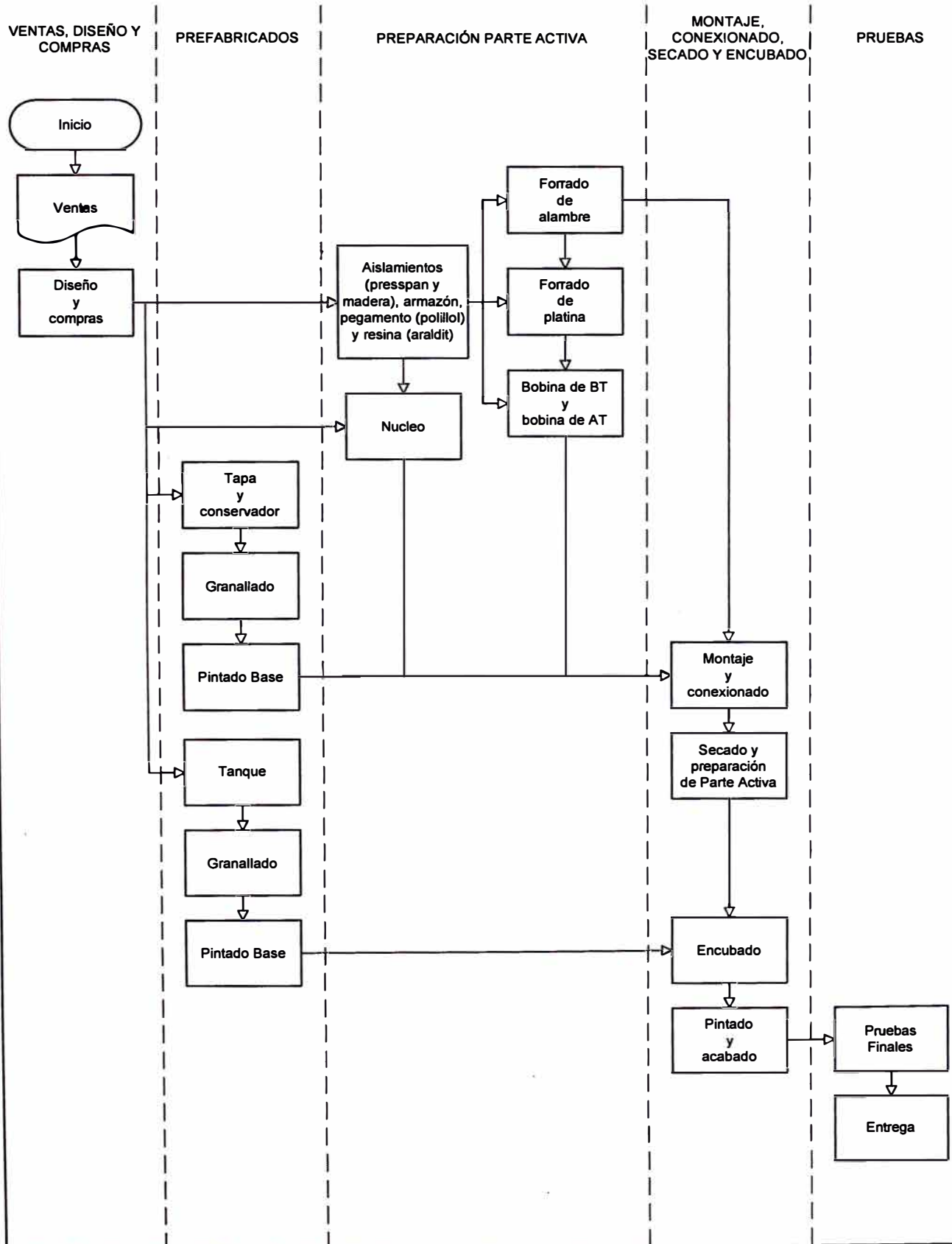


Diagrama 2-1. Proceso de Fabricacion de Transformadores

2.1.3 Esquema SIPOC (PEPSC)

SIPOC es un esquema de alto nivel del proceso que representa como el proceso sirve al cliente.. A continuación pasamos a definir cada uno de los puntos mencionados:

- **SUPPLIERS** (Proveedor), proporciona las entradas para el proceso.
- **INPUTS** (entradas), define el material, servicios y/o información que será usada para el proceso para llegar a las salidas.
- **PROCESS** (proceso), define una secuencia de actividades, usualmente adiciona valor a las entradas para producir las salidas de los clientes.
- **OUTPUTS** (salidas), son los productos, servicios, y/o información que es valiosa para el cliente.
- **CUSTOMERS** (clientes) son los usuarios de las salidas producidas por el proceso.

El esquema SIPOC es una herramienta usada por un equipo para identificar todos los elementos importantes de un proceso antes de empezar el proyecto de mejora. Este ayuda a definir un proyecto complejo que no puede ser fácilmente alcanzado.

Este proceso es resumido en el cuadro siguiente también conocido como tabla SIPOC (Ver tabla II-1).

TABLA II-1
ESQUEMA SIPOC (PEPSC)

SUPPLIERS	INPUTS	PROCESS	OUTPUT	CUSTOMER
PROVEEDORES	ENTRADAS	PROCESO (*)	SALIDAS	CLIENTE
Ventas	Materiales	Prefabricados	Tanque	Usuario Final
Recoje la solicitud del cliente y la deriva a ingeniería para su diseño	Bobinas de Acero al silicio (Plancha Magnética)	Preparación de travesaños del núcleo		
Departamento de ingeniería	Materiales de acero (planchas, perfiles, barras, otros)	Corte y marcado de planchas metálicas para tapa, tanque conservador y base de tanque	Tapa	
	Alambre de Cu. electrolítico (Esmaltado y desnudo)			
Establece los parámetros de construcción y diseño	Material aislante (papel y cartón aislante de celulosa, Pressphan, cinta de papel, madera)	Doblado de plancha de acero en bobina, para aletas del tanque	Conservador	
Logística	Platina de Cu. electrolítico (desnudo temple blando)	Cortar y soldar de acuerdo a planos de diseño		
Responsable de las compras locales e importaciones, el manejo del stock, selecciona y evalúa los proveedores de materiales y servicios	Aisladores de porcelana, aceite dieléctrico, empaquetadura, accesorios (medidor de nivel de aceite, termómetro, ruedas, otros.)	Arenado de todas las superficies	Núcleo y Bobinas ensambladas	
	Máquinas y equipos	Parte Activa		
	Máquina de soldar por arco Eléctrico, Tornos, Taladros, Prensas, Guillotinas, Cortadoras	Cortar y apilar núcleo de acero magnético		
	Esmeril, oxiacetileno, plasma, taladros, otros.	Montaje de núcleo con travesaños y partes aislantes		
Planeamiento	Bobinadoras	Secado previo de núcleo ensamblado	Transformador ensamblado	
Prepara los costos de los transformadores, planifica la diversas etapas productivas y solicita los insumos a logística	Forradoras de conductores de Cu.	Forrado de conductores para bobinado de AT y BT		
	Producción	Guillotina	Montaje de Núcleo y Bobinas	
Se encarga de la labor operativa, de proveer la Mano de obra y equipos para el proceso, se encarga del control y pruebas de los transformadores	Oxiacetileno, Soldadora por contacto, guillotina manual.	Conexionado, secado y encubado	Transformador ensamblado	
	Puente Grúa, esmeril, otros.	Conexionado de bobinas y aislamiento y preparación para secado		
	Herramientas de bobinado.	Ingresar al horno parte activa		
Proveen de materiales como Bobina de Acero magnético de grano orientado, Alambre, platina de cobre, Plancha de Acero LAF, LAC, etc.	Equipo de tratamiento de aceite.	Montaje parte activa con la tapa con accesorios (aisladores, etc.) y tanque; conexionado final	Transformador	
	Horno de secado			
Proveedores	Puente Grúa, Oxiacetileno, Pelador de Esmalte, Llave de Impacto, Taladros, Llaves diversas y otras.	Vacío al tanque y llenado de aceite regenerado	Transformador	
	Equipos de Medición y Control	Verificación y Validación del Diseño		
	Calibrador, micrómetro de Ext., manómetro, medidor de espesor de pintura, cinta métrica.	Registros de Pruebas Finales	Transformador	
	Micrómetro Ext., Compás exterior, Cinta métrica.	Medición de Resistencia Óhmica, Tensión Aplicada, Medición de las Pérdidas en el cobre y Tensión de Corto Circuito, Tensión Inducida, Medición de las pérdidas sin carga (Vacío), Relación de Transformación.		

(*) ver diagrama de flujo

2.1.4 Mapa de Proceso

Una vez definido las etapas del proceso ahora plantearemos el mapa de proceso utilizando la información del detalle mencionado en las características del proceso y la tabla SIPOC.

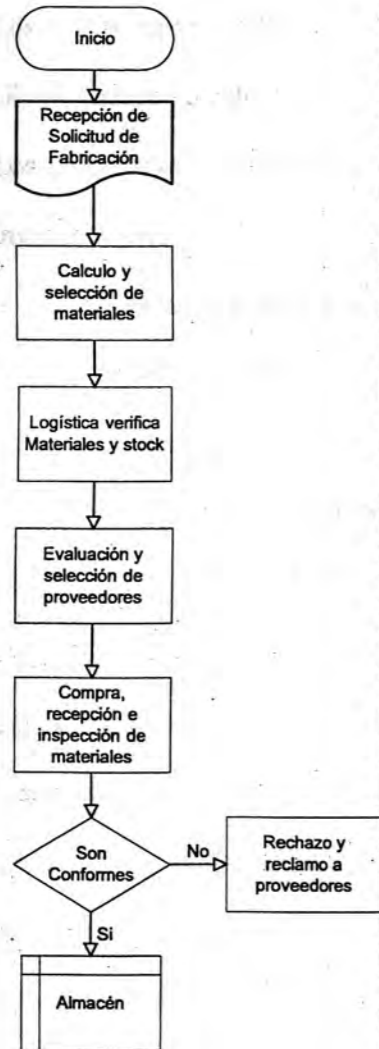
El mapa tiene las etapas separadas y muestra los hitos de decisión, estos son los primeros puntos base para la evaluación de los defectos que se presenten durante el proceso (diagrama 2-2).

Para el establecimiento del mapa del proceso dividiremos 3 etapas marcadas:

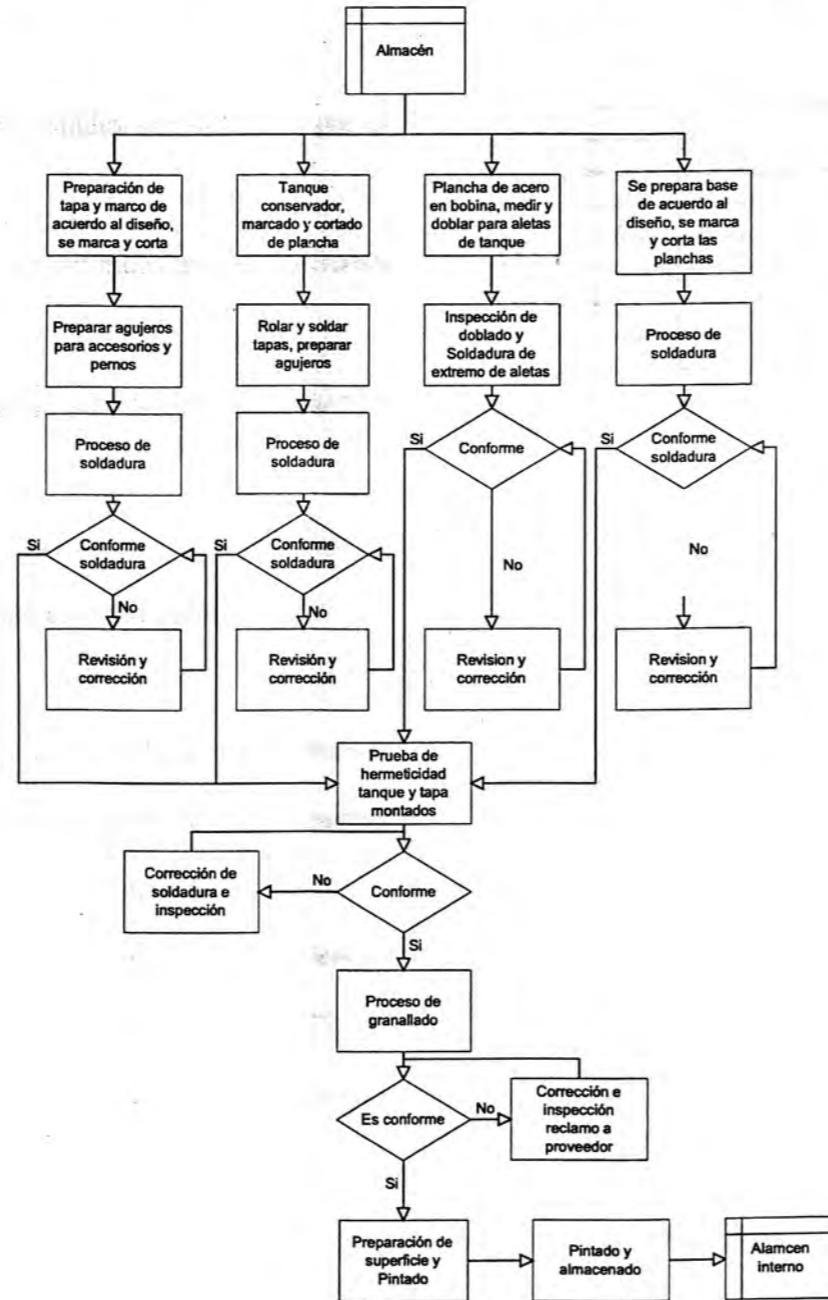
- El trabajo del área de diseño y compras
- El trabajo con los prefabricados (tanque, tapa y conservador) y
- El trabajo de la parte activa desde el corte del núcleo hasta el montaje, conexionado, secado, encubado y pruebas al transformador.

DIAGRAMA 2-2. MAPA DE PROCESO

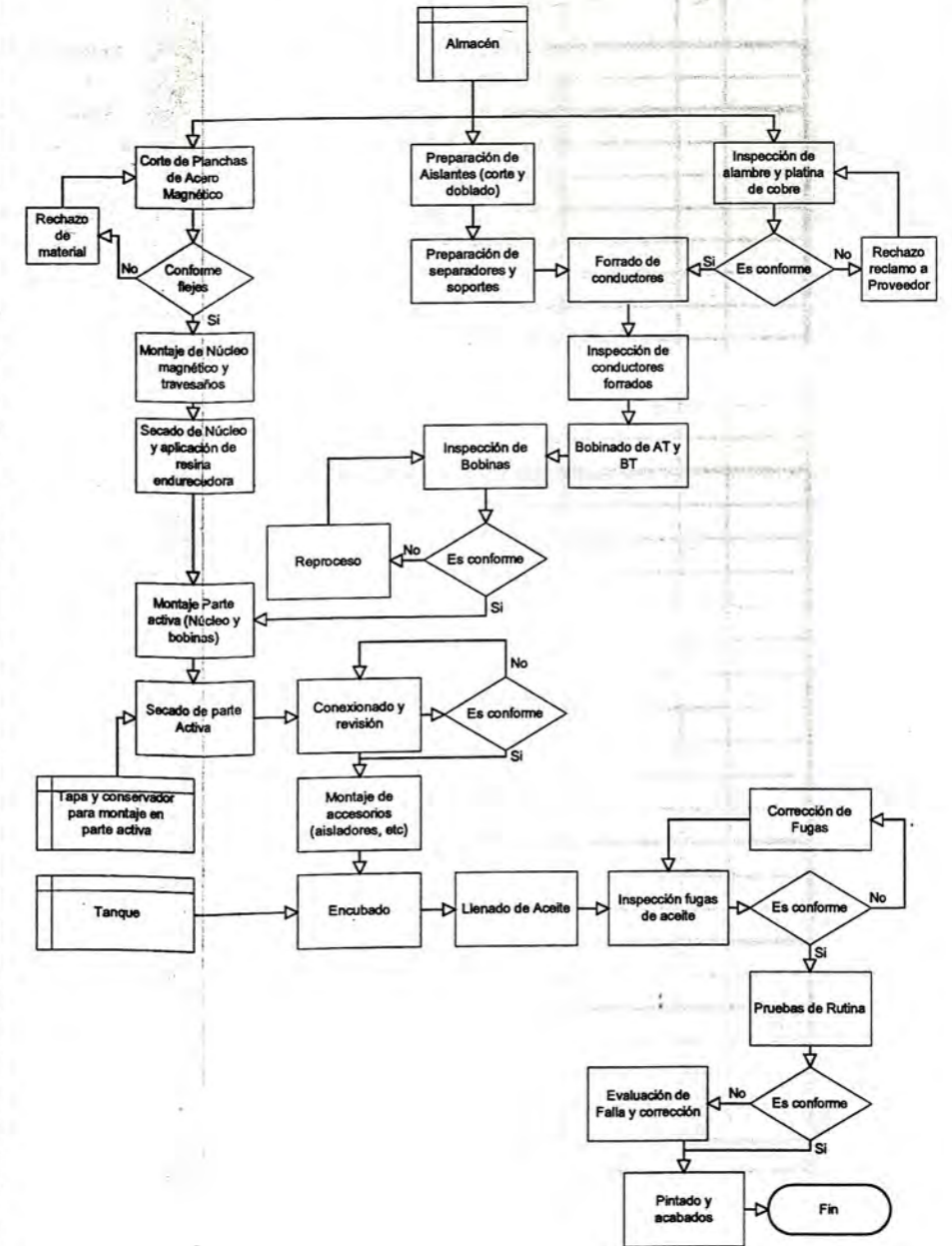
SUBPROCESO DE TRABAJO RECEPCION DE PEDIDO, DISEÑO Y COMPRAS



SUBPROCESO DE TRABAJO PREPARACIÓN DE PARTE METÁLICA (TANQUE, TAPA, CONSERVADOR, ETC.)



SUBPROCESO DE TRABAJO PREPARACIÓN DE PARTE ACTIVA (AISLAMIENTO, NÚCLEO Y BOBINAS) MONTAJE, SECADO, ENCUBADO Y PRUEBAS FINALES



2.2 IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMÁTICA

2.2.1 Definición de los CTQs

Los CTQs representativos para nuestro estudio son definidos por el cliente (interno o externo).

Los CTQs para el presente informe serán definidos por los siguientes involucrados:

- **Clientes internos:** personal interno afectado por el producto o servicio generado (siguiente operación).
- **Clientes externos:** usuarios finales, compran o usan el producto para su uso (por ejemplo empresa industrial).

Para nuestro caso de estudio utilizaremos la tabla de datos técnicos garantizados como base para el cumplimiento de los requisitos establecidos por las empresas de distribución (Anexo I).

En el anexo II se muestra un ejemplo de tabla de datos técnicos garantizados para un transformador de 630 KVA como CTQ del cliente exigido para la aceptación del equipo; en la tabla II-2 los requisitos internos de control del proceso de fabricación.

TABLA II-2. CONTROLES DE APROBACION INTERNA

ETAPAS / PARTES		CONTROLES
DISEÑO	Calculo Materiales	Revisión de planos, hojas de calculo e instrucciones de trabajo Protocolos
PARTE ACTIVA	Núcleo Travezaños y Tirantes Escuadra conexion Pieza sosten armazon Cuña de columna Separador de fases Aisl. Travezaños Cuñas fin de bobina Conmutador Bobinado Columnas AT / BT Numero de Espiras Aislamiento Conductor / Platina de Cu	Dist. entre ejes, altura de ventana, espesor central y total Dif.÷ diagonales interiores Dimensiones Planos Distancia entre agujero y diametro de agujero sentido arrollamiento, altura axial y espiras por bobina Dimensiones y características del aislamiento Espesor de conductor sin aislar y forrado Peso Kg, distancias final Bob-Yugo, prueba de continuidad
PREFABRICADOS	Tanque Marco, fondo y aletas Base y guias Portaplaca Placa de Características Tapa Plan de agujeros Soporte de tirantes Refuerzo central Gancho izaje Conservador Tubo conexion Soportes Disposición	Dimensiones (altura, largo y ancho), dimensiones interiores Filtración 1ra prueba / 2da prueba, cantidad de aletas Refuerzos de tanque Distancia entre pines o guias de fondo respecto a parte activa Profundidad de aletas Dimensiones (altura, largo y ancho) Distancia entre aisladores de AT Distancia entre aisladores de BT Ø de agujero de aisladores de AT Ø de agujero de aisladores de BT Distancia entre soporte de tirantes Distancia entre agujeros de soporte de tirantes Revisión lista de planos y accesorios Dimensiones (altura, largo y ancho) Revisión de abolladuras Limpieza Ubicación de accesorios
MONTAJE Y CONEXIONADO	Montaje tapa y parte activa Conexión de bobinas Montaje de conmutador	Revisión en AT y BT Distancias mínimas entre AT, BT y entre fases Grupo de conexión y continuidad Prueba de Relación de Transformacion Revisión de integridad
ENCUBADO	ENCUBADO ACCESORIOS Valvula de seguridad Deshumedecedor Ind. nivel Aceite, etc. Aisl.de AT / BT	Distancias mínimas BT/tanque y AT/tanque Fugas de aceite (primera revision despues de encubado) Después de 12 horas min Tipo, ubicación, correspondencia con lo solicitado Planos de ubicación
CONTROL DE CALIDAD	Materiales Accesorios Pruebas Pintura	Verificación de calidad En buen estado En proceso y de verificación (rutina, tipo, etc.) Espesor promedio (en tanque, tapa y conservador)

2.2.2 Función de despliegue de la calidad (QFD)

La función de despliegue de la calidad tal como se definiera en el capítulo anterior, nos permitirá conocer que es lo necesario para que nuestro cliente interno pueda desarrollar su trabajo sin tener interrupciones, así mismo que es necesario que se cumpla en cada etapa para no caer en defecto.

Para el presente informe, y dado que se trata de un análisis interno, donde lo que se analiza son los requisitos del cliente interno, plantearemos las necesidades en base a lo establecido en la Tabla II-2. La Tabla II-3 nos muestra la matriz QFD de primer nivel para el proceso de requisitos internos.

CAPITULO III

MEDICIÓN DE LOS PARAMETROS DEL PROCESO

3.1. ESTABLECIMIENTO DE LOS DEFECTOS DEL PROCESO.

Para la medición de oportunidades, defectos e indicadores del proyecto se realizarán usando como base la estadística de defectos encontrados durante el proceso de fabricación, para eso recurriremos a un plan de muestreo.

3.1.1. Diagrama causa & efecto

Utilizaremos el diagrama causa efecto o de Ishikawa para establecer una primera medición de la situación en el entorno que causa los defectos durante el proceso, tomando en cuenta las 6 causas principales (medición, material, método, mano de obra, maquinaria, y medio ambiente)

DIAGRAMA CAUSA EFECTO PARA EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE TRANSFORMADORES

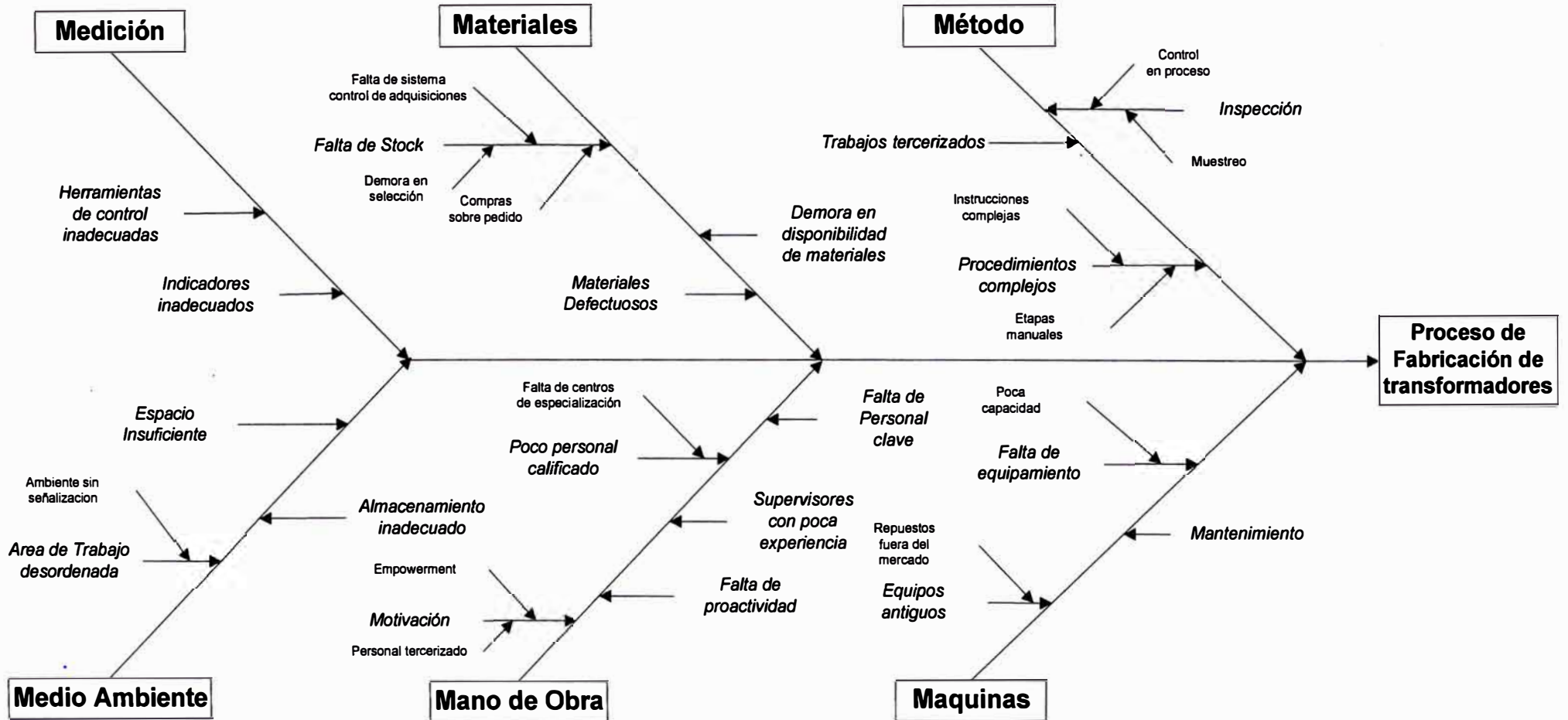


DIAGRAMA III - 1

3.1.2. Parámetros de muestreo

Para la realización de la toma de datos de los diversos defectos presentes en las etapas del proceso, se realizará, teniendo en cuenta lo siguiente:

Las etapas definidos para el muestreo serán:

- Diseño y compras
- Preparación de prefabricados (parte metálica compuesta por tanque, tapa y conservador)
- Parte activa (núcleo y bobinado)
- Montaje, conexionado, secado y encubado
- Pruebas

El periodo de registro de defectos es de 12 meses, teniendo en cuenta para eso el incremento de la demanda del mercado y la mayor incidencia de defectos presentes en el proceso, para lo cual se utiliza los datos registrados durante el proceso de fabricación en sus diversas etapas.

Las consideraciones de registro de defectos se realiza de acuerdo a etapa en la que se presenta, tipo de defecto y causa a la que se debe y responsable.

3.2. MAPA DETALLADO DEL PROCESO

Basados en la estructura del mapa de proceso establecido, ahora estableceremos los involucrados en el proceso desde el inicio de la solicitud hasta la elaboración y control del proceso, para lo cual involucraremos a las siguientes áreas de la empresa:

- **INGENIERÍA**, responsable del diseño del transformador realiza los cálculos y elabora los planos para la fabricación.
- **PLANEAMIENTO**, programa y hace las solicitudes a Logística para las adquisiciones, así mismo realiza la programación de la fabricación de acuerdo a la disponibilidad de equipos y la mano de obra, programa cada etapa de la fabricación. Este departamento también es responsable de costear los transformadores.
- **LOGÍSTICA**, selecciona y evalúa los proveedores con los datos entregados por ingeniería, en coordinación con ellos selecciona los proveedores y negocia las adquisiciones
- **PRODUCCIÓN**, se encarga de la labor operativa, fabricación y pruebas a través del área de control de la calidad; tiene como áreas productivas:

Carpintería

Montaje y conexionado

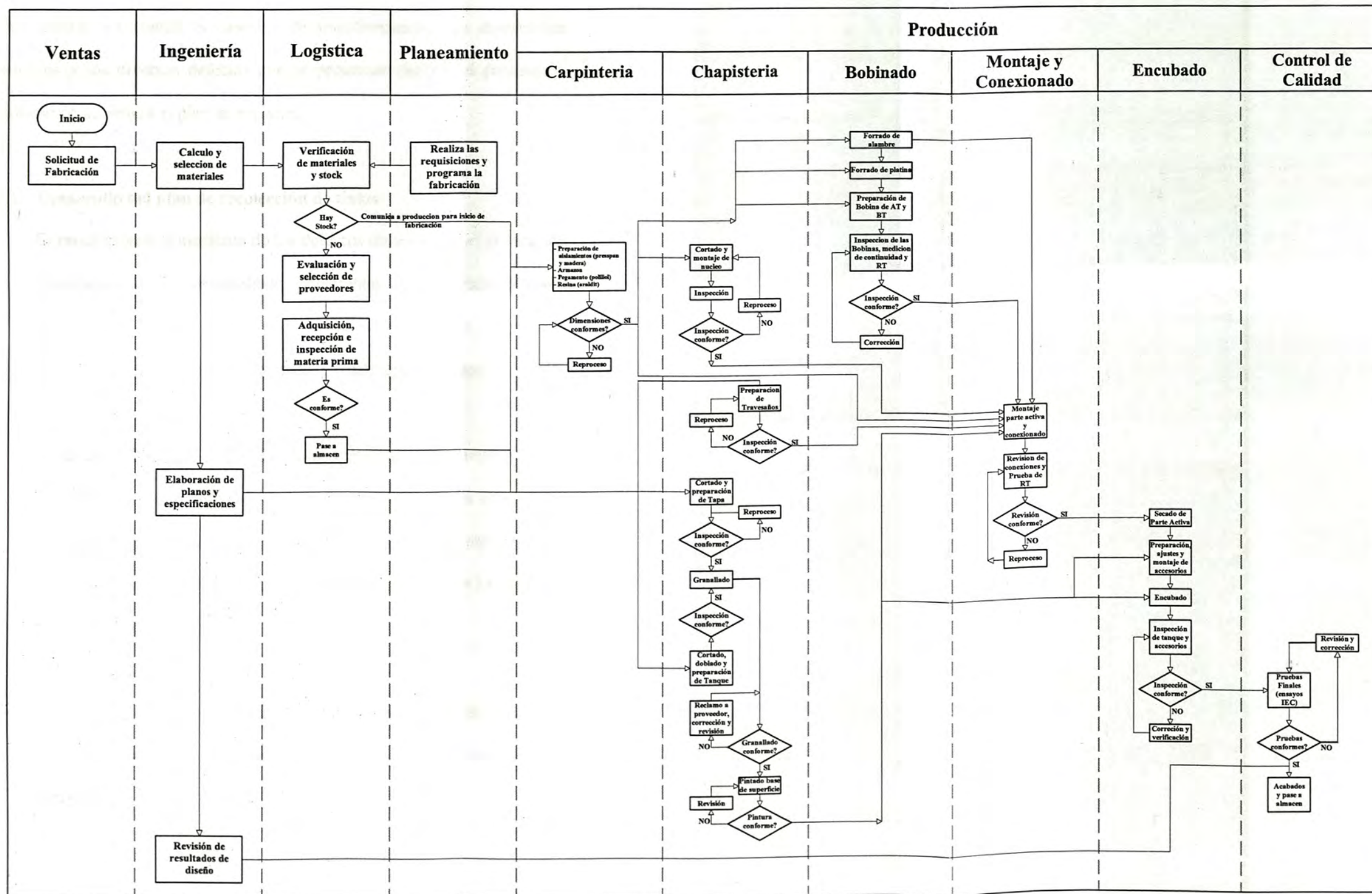
Chapistería

Secado y encubado

Bobinado

Control de calidad.

DIAGRAMA 3.2. MAPA DETALLADO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE TRANSFORMADORES



3.3. MEDICIÓN DE LOS DEFECTOS DEL PROCESO

Para la medición de los datos de los diversos defectos presentes en las etapas se ha tomado en cuenta la cantidad de transformadores de distribución fabricados y los diversos defectos que se presentan durante el proceso. A continuación se detalla el plan de muestreo

3.3.1. Desarrollo del plan de recolección de datos

El proceso para la medición de los defectos presentes en el proceso de fabricación se ha desarrollado registrando los diversos defectos presentes en cada etapa y que conllevan a defectos de calidad (reproceso, retrasos, trabajo adicional y finalmente reclamos).

Se ha analizado cada etapa del proceso en si y se han registrado los siguientes defectos, mostrados en la Tabla III-1, dichos defectos se han agrupado de acuerdo a su afinidad y se han clasificado de modo de obtener los considerados como más críticos, detalle de los defectos se encuentra en el Anexo III.

En la Tabla III-2, se muestra la cantidad de unidades producidas y los defectos presentes en la producción del periodo considerado para el estudio.

TABLA III-1. REGISTRO DE DEFECTOS POR ETAPA

Periodo	Diseño	Parte Activa	Construcciones Metálicas	Montaje y conexionado	Encubado	Control de calidad	Nº Unid. Defectuosas
1	10	1	3	0	1	5	20
2	0	1	3	2	2	4	12
3	6	0	3	1	3	19	32
4	1	0	10	2	7	8	28
5	1	2	0	1	2	23	29
6	2	1	0	1	3	30	37
7	1	1	0	4	1	22	29
8	0	2	0	0	1	7	10
9	3	5	7	4	1	6	26
10	0	0	4	2	6	5	17
11	8	0	2	5	1	8	24
12	3	2	2	4	0	3	14
Total	35	15	34	26	28	140	278

TABLA III-2. REGISTRO DE UNIDADES PRODUCIDAS Vs. DEFECTOS ENCONTRADOS

Periodo	Unid. Producidas	Nº Defectos encontrados	Porcentaje
1	44	20	45%
2	40	12	30%
3	49	32	65%
4	67	28	42%
5	33	29	88%
6	45	37	82%
7	46	29	63%
8	27	10	37%
9	126	26	21%
10	55	17	31%
11	75	24	32%
12	23	14	61%

3.4. GRAFICAS DE CONTROL ESTADISTICO DE PROCESO

Son herramienta estadísticas que permiten detectar la variabilidad, consistencia, control y mejora de un proceso.

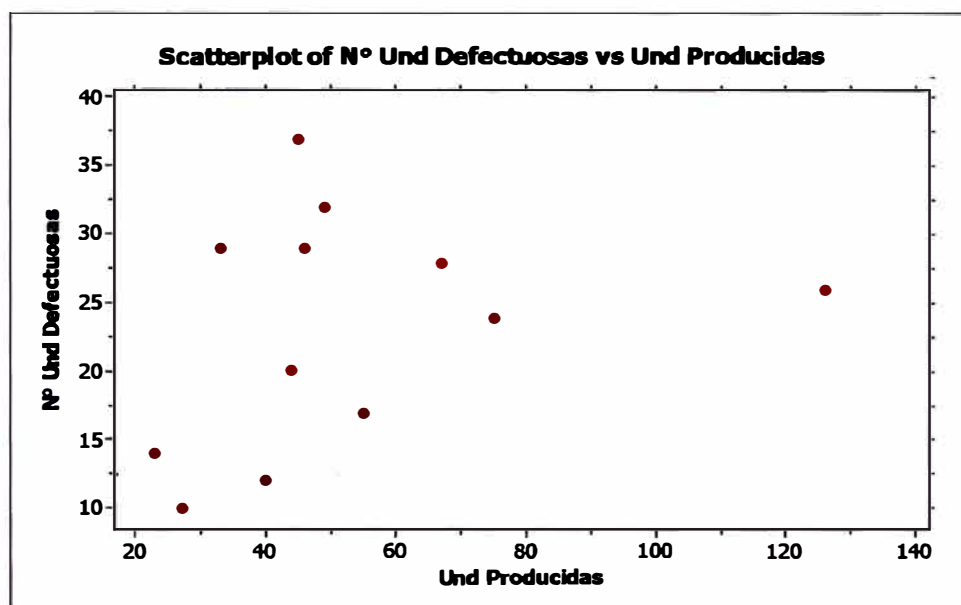
La gráfica de control se usa como una forma de observar, detectar y prevenir el comportamiento del proceso a través de sus pasos vitales.

Así mismo nos muestra datos en forma estática, tienen por supuesto sus aplicaciones, y es necesario saber sobre los cambios en los procesos de producción, la naturaleza de estos cambios en determinado período de tiempo y en forma dinámica, es por esto que las gráficas de control son ampliamente probadas en la práctica.

Para todos los efectos se utilizara el programa MINITAB, para la obtención de los ajustes y los diagramas estadísticos.

3.4.1. Diagrama de Dispersión

El Diagrama de Dispersión es de gran utilidad para la solución de problemas de la calidad en un proceso y producto, ya que nos sirve para comprobar que causas (factores) están influyendo o perturbando la dispersión de una característica de calidad o variable del proceso a controlar.



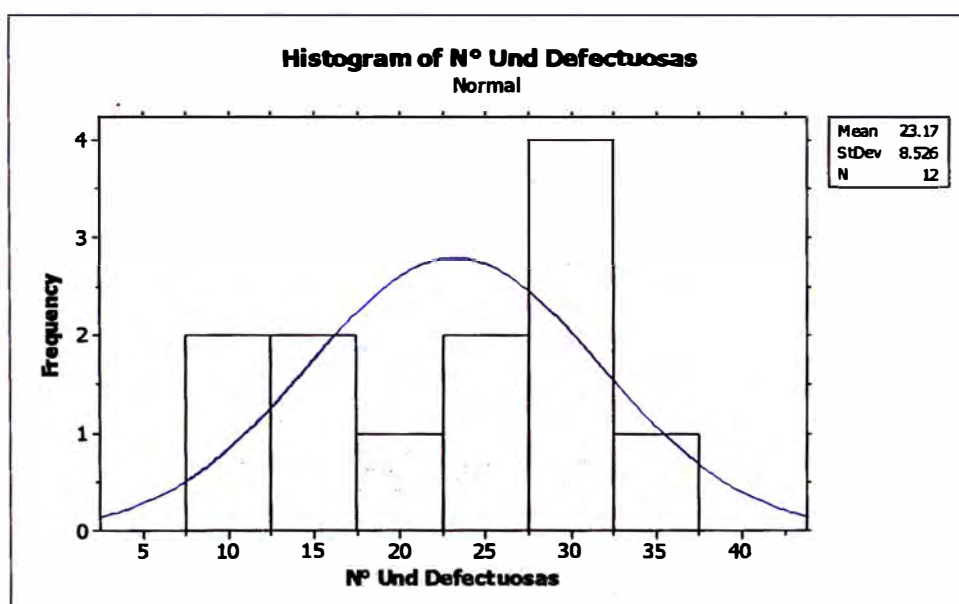
Grafica 3.1. Grafica de dispersión de N° de unidades defectuosas versus total de unidades producidas

De la grafica de dispersión presentada se observa que no hay relación aparente entre la cantidad producida con la cantidad de errores, si analizamos la grafica observaremos que mientras menos unidades fabricadas mas defectos se presentan, sin embargo al aumentar mas la cantidad también se elevan los defectos.

Puesto que resulta difícil obtener alguna conclusión positiva del diagrama de dispersión, usaremos otras herramientas de análisis.

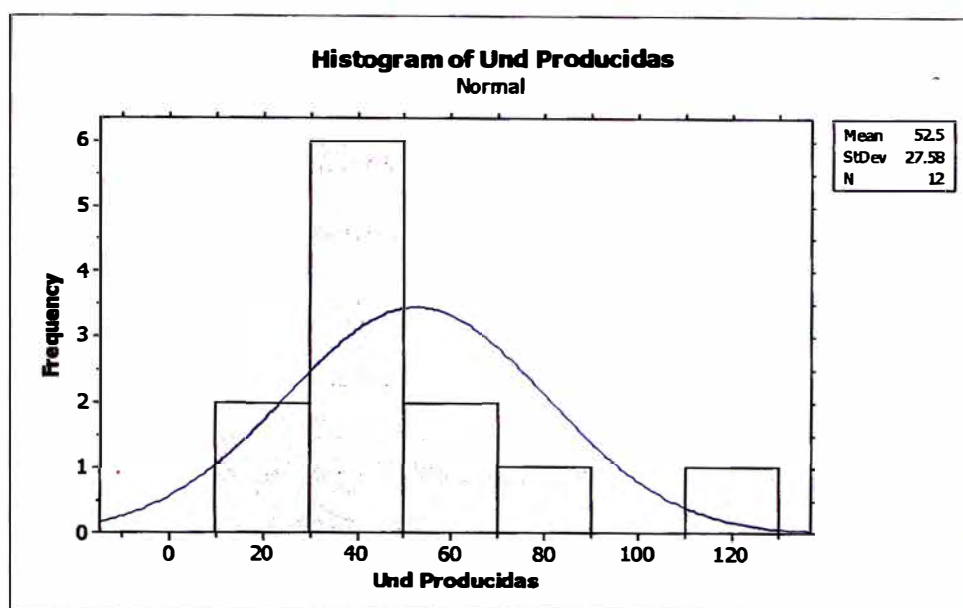
3.4.2. Histogramas

Se usara el histograma para darnos una idea de la magnitud de la población y muestra las discontinuidades que se producen en los datos.



Grafica 3.2. Histograma de frecuencia de defectos encontrados

Del histograma sobre la frecuencia de los defectos podemos observar la media de los defectos presentes en el proceso es de 23.17, siendo la desviación estándar de 8.526.



Grafica 3.3. Histograma de frecuencia de Unidades producidas

Del histograma sobre la frecuencia de las unidades producidas obtenemos una media de 52.5 y una desviación estándar de 27.58.

3.5. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL PROCESO Y EL NIVEL SIGMA DEL PROCESO

Para el cálculo del nivel sigma, utilizaremos los datos de las tablas III-1 y III-2, previamente agruparemos los defectos encontrados por etapas para un cálculo mas objetivo, resumiendo tendremos:

Unidades Producidas	Diseño	Parte Activa	Parte Metálica	Montaje y conexionado	Encubado	C. Calidad	Nº Unid Defectuosas
630	35	15	34	26	28	140	278

Cuadro 3.1. Resumen de defectos por etapa y unidades producidas

Cantidad total fabricada	Cantidad de defectos encontrados	Numero de oportunidad de encontrar un defectos
630	278	6

Cuadro 3.2. Resumen unidades producidas, Defectos encontrados y Oportunidades de defecto

Donde el número de oportunidades de encontrar un defecto representa los parámetros que pueden ser influenciados para generar un defecto.

Primeramente calcularemos la tasa de defectos o defectos por unidad (DPU) del proceso:

$$DPU = \frac{N^{\circ} \text{ defectos en proceso}}{N^{\circ} \text{ total unidades}} = \frac{278}{630} = 0.4413$$

Ahora calcularemos el rendimiento del proceso con la siguiente formula:

$$\text{Rendimiento del proceso} = (1 - DPU) \times 100$$

$$\text{Rendimiento del proceso} = (1 - 0.4413) \times 100 = 55,8730\%$$

Como siguiente paso calcularemos los defectos por oportunidades (DPO), para lo cual utilizaremos la siguiente formula:

$$DPO = \frac{DPU}{N^{\circ} \text{ oportunidades}} = \frac{0.4413}{6} = 0.0735$$

Con los DPO calcularemos los Defectos por millón de oportunidades (DPMO)

$$DPMO = DPO \times 1'000,000 = 0.0735 \times 1000000 = 73544.9$$

De la tabla del anexo IV, observamos que para 73 544.90 defectos por millón de oportunidades equivalen a un desempeño σ entre 2,9 y 3,0

Índice de Capacidad Cpk	Rendimiento	Sigma	Defectos por millón
1	93.3	3	66807
0.9855	92.6238	2.9517	73544.9
0.97	91.9	2.9	80757

Cuadro 3.3. Calculo del sigma del proceso

El nivel actual del proceso es de 2.9517, como se puede observar en el cuadro I que para un proceso en el cual no se ha realizado ningún análisis Sigma anteriormente tiene un buen nivel para el proceso, esto significa que el proceso tiene una estructura establecida y pasos bien definidos.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

4.1 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

Una vez establecido el nivel Sigma del proceso, utilizaremos los esquemas del capítulo anterior, procediendo a analizar los resultados de los mismos para establecer la influencia real de los defectos, en busca de encontrar la causa raíz de nuestro estudio.

Para lo cual se recurrirá a otros esquemas de control y a la metodología de análisis AMFE, como método para la prevención de fallas y base para las conclusiones del presente informe.

4.2 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE VARIACIÓN

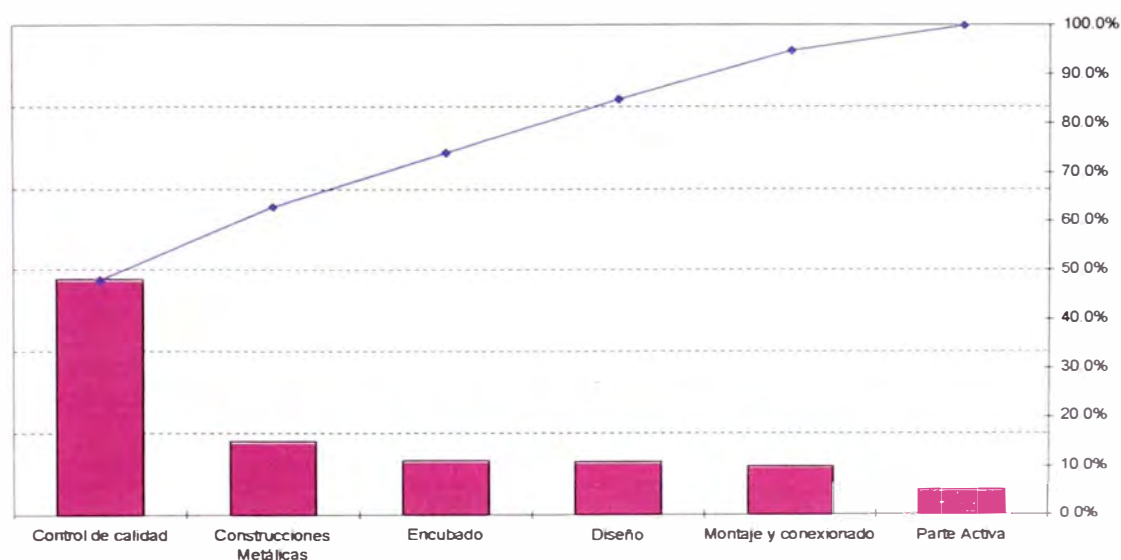
4.2.1 Gráficos de Pareto

En base a las unidades defectuosas observadas en la tabla III-2, realizaremos un análisis usando Pareto para encontrar el defecto de mayor incidencia, el cual será motivo de nuestro análisis.

TABLA IV-1. DIAGRAMA DE PARETO

Tipo de Defecto	Detalle del Problema	N°	Frec %	Acum. %
Control de calidad	Materiales defectuosos, defectos durante las pruebas en proceso y finales.	170	48.2%	48.2%
Construcciones Metálicas	Prefabricados con defectos, por ejemplo defectos de soldadura, dimensiones erroneas o abolladuras entre otros.	53	15.0%	63.2%
Encubado	Partes activa con abolladura, filtracion de aceite despues del encubado, otros.	39	11.0%	74.2%
Diseño	Planos erróneos, error en cálculos, otros.	38	10.8%	85.0%
Montaje y conexionado	Conexión errónea, dimensiones no coincidentes, otros.	35	9.9%	94.9%
Parte Activa	Defectos en flejes magneticos, defectos durante el bobinado, otros.	18	5.1%	100.0%
Total:		353	100.0%	

Gráfico de Pareto



4.2.2 Histogramas, Gráficos de frecuencia

Tomando los histogramas determinados en el capítulo anterior, podemos observar lo siguiente:

Histograma de unidades producidas

Del histograma de frecuencias de unidades producidas podemos observar que no hay una uniformidad en la demanda de productos hay meses en los que hay un crecimiento y otros donde la demanda es baja, por lo que tratar de encontrar un promedio es difícil, esto debido a los diferentes tipos de transformadores unos con periodos de fabricación mas prolongados que otros. Del grafico tenemos la medida de la media de 52.5, que se podría considerar como el promedio de fabricación por mes.

Histograma de unidades defectuosas.

Del histograma de frecuencia de defectos se observa una tendencia central a un promedio de 23 unidades defectuosas, esto comparado con el número promedio de unidades fabricadas nos daría un rendimiento de proceso de aproximadamente 50%, sin embargo esto no es una tendencia constante pues depende mucho de la variación de la demanda.

4.3 DESARROLLO DE HIPÓTESIS

Para la determinación final de la causa raíz nos basaremos en el análisis AMFE, para luego en base a la información recolectada de dicho análisis obtengamos la causa raíz de los defectos del proceso y establecer la línea base para la implementación del proceso de mejora.

4.3.1 Análisis del modo de falla (AMFE)

Para ver la relación entre los defectos del proceso, en busca de la causa raíz de los mismos, se recurrirá al análisis AMFE, para categorizar los defectos, para lo cual se utilizarán tres criterios básicos:

Criterio de ocurrencia (O), relacionado con la frecuencia de fallas

Criterio de severidad (S), mide el grado de impacto para del defecto

Criterio de detección (D), mide la facilidad de detectar el defecto.

En la Tabla IV-2, se aprecia los criterios de evaluación considerados en el AMFE y en la tabla IV-3 se muestra el análisis AMFE

TABLA IV-2

CUADRO DE CLASIFICACIÓN SEGÚN GRAVEDAD O SEVERIDAD DE FALLA

Criterio	Valor de S
Infima. El defecto sería imperceptible por el usuario	1
Escasa. El cliente puede notar un fallo menor, pero sólo provoca una ligera molestia	2 - 3
Baja. El cliente nota el fallo y le produce cierto enojo	4 - 5
Moderada. El fallo produce disgusto e insatisfacción el cliente	6 - 7
Elevada. El fallo es crítico, originando un alto grado de insatisfacción en el cliente	8 - 9
Muy elevada. El fallo implica problemas de seguridad o de no conformidad con los reglamentos en vigor	10

CUADRO DE CLASIFICACIÓN SEGÚN LA PROBABILIDAD DE NO DETECCIÓN

Criterio	Valor de D
Muy escasa. El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.	1
Escasa. El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría raramente escapar a algún control primario, pero sería posteriormente detectado	2 - 3
Moderada. El defecto es una característica de bastante fácil detección	4 - 5
Frecuente. Defectos de difícil detección que con relativa frecuencia llegan al cliente	6 - 7
Elevada. El defecto es de naturaleza tal, que su detección es relativamente improbable mediante los procedimientos convencionales de control y ensayo	8 - 9
Muy elevada. El defecto con mucha probabilidad llegará al cliente, por ser muy difícil detectable	10

CUADRO DE CLASIFICACIÓN SEGÚN LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA

Criterio	Valor de O
Muy escasa probabilidad de ocurrencia. Defecto inexistente en el pasado	1
Escasa probabilidad de ocurrencia. Muy pocos fallos en circunstancias pasadas similares	2 - 3
Moderada probabilidad de ocurrencia. Defecto aparecido ocasionalmente	4 - 5
Frecuente probabilidad de ocurrencia. En circunstancias similares anteriores el fallo se ha presentado con cierta frecuencia	6 - 7
Elevada probabilidad de ocurrencia. El fallo se ha presentado frecuentemente en el pasado	8 - 9
Muy elevada probabilidad de fallo. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente	10

TABLA IV-3. ANÁLISIS DE POTENCIALES MODOS DE FALLA Y EFECTO

#	Función de Proceso (Paso)	Modos Potenciales de Fallas (los Y)	Efectos Potenciales de Fallas (los Y)	SEV	Clase	Causas Potenciales de Fallas (los X)	OCC	Controles Actuales de Procesos	DET	RPN
1	Disco	Calculo incorrecto	Defectos en proceso	10		Error en el ingreso de dato a la hoja de calculo	2	Inspección	2	40
2		Planos inadecuados	Defectos en proceso	8		Se omitió detalle en el plano	4	Inspección	2	64
3		Especificaciones	Defectos en proceso	7		No se reviso las especificaciones	3	Inspección	2	42
4		Requisitos del cliente	Unidad defectuosa	8		Datos incompletos	3	Inspección	2	48
5	Prefabricados	Abolladuras durante el arenado	Mal acabado, fugas de aceite	4		Descuido de operario	6	Inspección	2	48
6		Accesorios rotos	Falla en prueba	7		Defecto de material/Descuido de operario	7	Inspección	2	98
7		Agujeros para pernos no coinciden.	Defecto en montaje	5		Planos incorrectos o mala lectura de planos	4	Inspección	2	40
8		Desnivel en ángulos	Defecto en montaje	2		Defecto de proceso	3	Inspección	2	12
9		Dimensiones diferentes	Defecto en montaje	2		Planos incorrectos o mala lectura de planos	3	Inspección	2	12
10		Figura en la soldadura	Fuga de aceite	5		Defecto en Soldadura	7	Inspección	2	70
11		Ubicación de accesorios errónea	Unidad defectuosa	4		Planos incorrectos o mala lectura de planos	3	Inspección	2	24
12		Bobina golpeada	Unidad defectuosa	3		Descuido de operario	3	Inspección	2	18
13		Burbuja en el esmalte del alambre o platina	Falla en pruebas	7		Material defectuoso	3	Inspección	2	42
14		Carrete de alambre piezado	Unidad defectuosa	7		defecto de material	2	Inspección	2	28
15	Relacion de transformación	Unidad defectuosa	8		Material defectuoso	4	Inspección	2	64	
16	Falta aislamiento entre capas	Falla en pruebas	8		Descuido de operario	2	Inspección	2	32	
17	Conexión de salida inadecuada	Falla en pruebas	8		Descuido de operario	2	Inspección	2	32	
18	Lamina de acero magnético abollado.	Unidad defectuosa	3		Descuido de operario	2	Inspección	2	12	
19	Platina con filo en los bordes	Unidad defectuosa	4		defecto de material	2	Inspección	2	16	
20	Poca distancia entre parte activa y masa.	Falla en pruebas	8		Error en calculo	2	Inspección	2	32	
21	Se introdujo una partícula de cobre entre las capas de la bobina	Falla en pruebas	8		defecto de proceso	2	Inspección	2	32	
22	Bobina Rayada	Unidad defectuosa	3		Descuido de operario	3	Inspección	2	18	
23	Falta de accesorio	Unidad defectuosa	7		Error en hojas de accesorios	2	Inspección	2	28	
24	Filtrado de aceite por accesorios	Unidad defectuosa	7		Defecto en soldadura / golpe a tanque	7	Inspección	2	98	
25	Filtrado de aceite por tanque o aleta	Unidad defectuosa	7		Descuido de operario	7	Inspección	2	98	
26	Golpes en las espiras de última capa	Unidad defectuosa	3		Descuido de operario	2	Inspección	2	12	
27	Accesorio defectuoso	Unidad defectuosa	7		Material defectuoso	7	Inspección	2	98	
28	Interior de tanque sucio	Unidad defectuosa	3		Material defectuoso	2	Inspección	2	12	
29	Rayado el aislamiento de la platina en bobina AT	Unidad defectuosa	3		Descuido de operario	2	Inspección	2	12	
30	Bobina o accesorio golpeado	Unidad defectuosa	3		Descuido de operario	3	Inspección	2	18	
31	Distancias inadecuadas	Falla en pruebas	9		Error de calculo	2	Inspección	2	36	
32	Corrientes en vacío desbalanceadas.	Falla en pruebas	10		Defecto de conexión	2	Inspección	2	40	
33	Corto en salida de Bobina de BT	Unidad defectuosa	9		Defecto de conexión	2	Inspección	2	36	
34	Falla en aislador	Unidad defectuosa	7		Material defectuoso	2	Inspección	2	28	
35	Falta aislamiento en el conector de AT.	Falla en pruebas	8		Falta de inspección	2	Inspección	2	32	
36	Filtra aceite por la bornera	Unidad defectuosa	8		defecto de material	6	Inspección	2	96	
37	Incorrecta ubicación de los TAPS del Comutador	Unidad defectuosa	7		Defecto de revisión de indicaciones	2	Inspección	2	28	
38	Mala conexión de BT.	Falla en pruebas	9		Mal ajuste	2	Inspección	2	36	
39	Bobina golpeada	Unidad defectuosa	3		Descuido de operario	3	Inspección	2	18	
40	Relacion de transformación errónea	Unidad defectuosa	9		Error de conexión/mal ajuste	3	Inspección	2	54	
41	Trabajó con norma IEC, debía ser ANSI.	Unidad defectuosa	8		Error en especificaciones	1	Inspección	2	16	
42	Defectos superficiales	Unidad defectuosa	7		Descuido de operario	2	Inspección	2	28	
43	Accesorio dañado	Unidad defectuosa	7		Material defectuoso	7	Inspección	2	98	
44	No pasa prueba de la resistencia del bobinado.	Unidad defectuosa	10		Bornera de regleta dañada	2	Inspección	2	40	
45	No pasa prueba de tensión aplicada en AT.	Unidad defectuosa	10		Falta de indicación de especificación	2	Inspección	2	40	
46	No pasa prueba de tensión de impulso atmosférico.	Unidad defectuosa	10		especificación incorrecta	2	Inspección	2	40	
47	No pasa prueba de tensión inductiva.	Unidad defectuosa	10		Defecto en empalme	2	Inspección	2	40	
48	Rollos de alambre de Cu piezados	Unidad defectuosa	6		Material defectuoso	3	Inspección	2	36	

4.4 IDENTIFICACIÓN / ENFOQUE DE LAS VARIABLES CLAVES DE ENTRADA DEL PROCESO.

Ahora que se ha determinado la causa raíz de los defectos del proceso, haremos un análisis para identificar las variables claves, para lo cual utilizaremos la información obtenida de los diagramas del capítulo anterior, y teniendo en cuenta los criterios de la Tabla AMFE.

4.4.1 Análisis de Regresión

El análisis de la regresión es una técnica estadística que se utiliza para estudiar la relación entre variables o factores cuantitativos referidos a un mismo grupo de unidades observadas.

Se trata de comprobar estadísticamente si tal relación es posible, y de serlo, expresarlo matemáticamente mediante una ecuación.

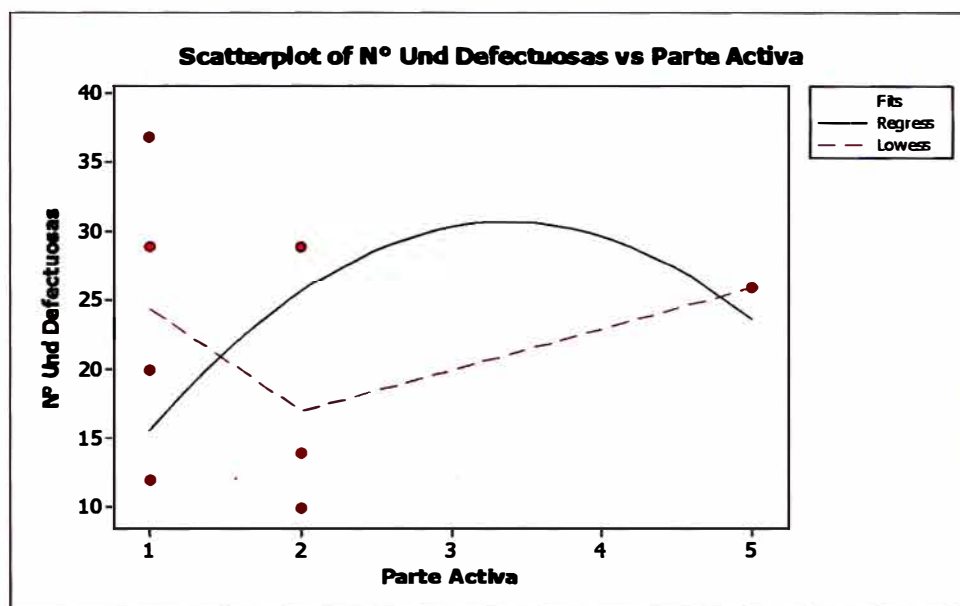
Su uso más frecuente es el de la predicción de resultados de una de ellas para valores fijos de las otras.

Cuando se cree que algunas de las variables pueden causar (o al menos explicar) los cambios observados en otra, a éstas se les llama variables explicativas (X 's)

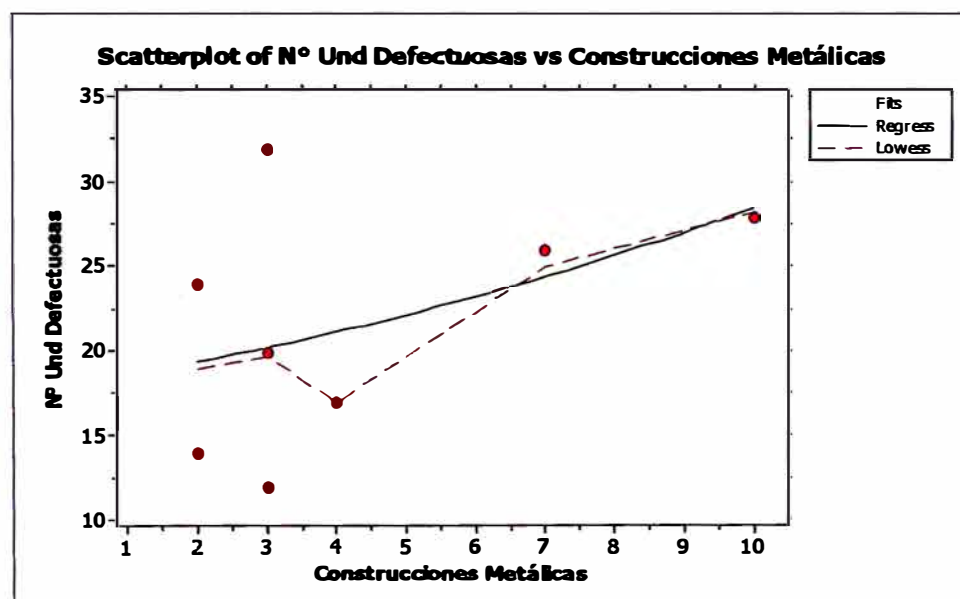
La que mide el resultado del estudio se le llama variable respuesta (Y)

Se intentará establecer una ecuación de la forma $Y=g(x)$

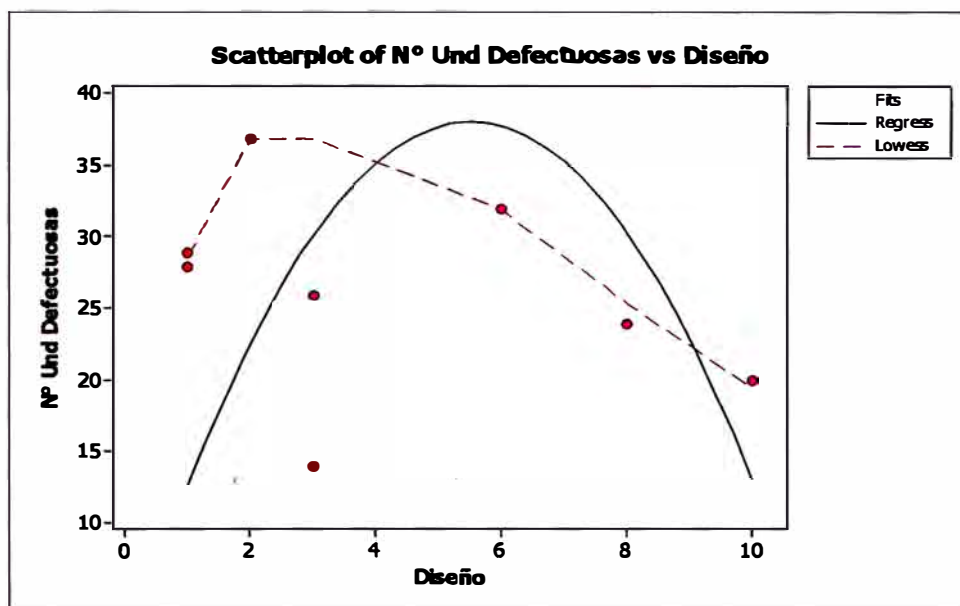
Puesto que en el diagrama de dispersión del capítulo anterior no se apreciaba tendencia, analizaremos los diagramas de dispersión para cada una de las variables donde se puede dar un defecto.



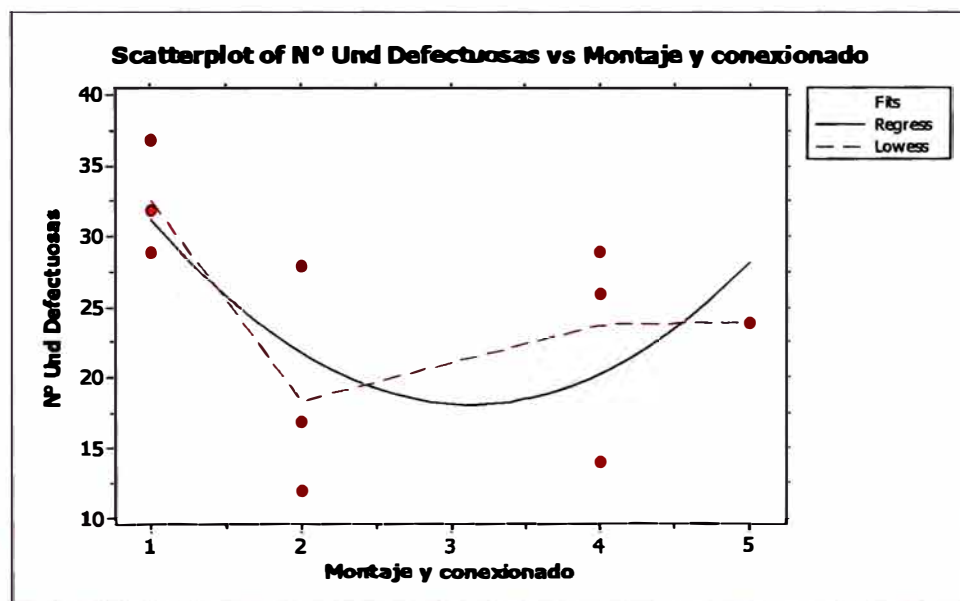
Grafica 4.1. Dispersión de defectos en la parte activa y su influencia en el total de defectos.



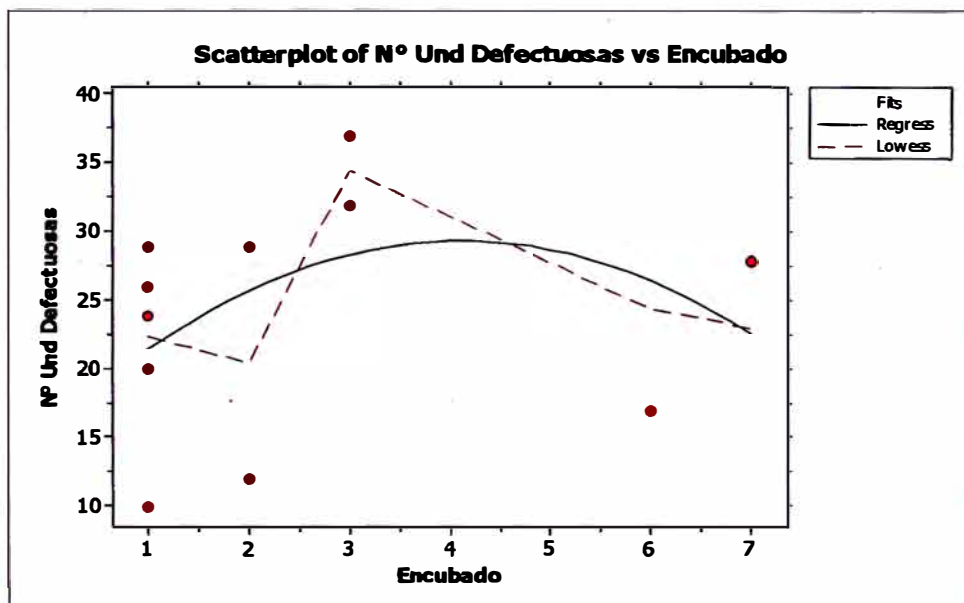
Grafica 4.2. Dispersión de defectos en las construcciones metálicas y su influencia en el total de defectos.



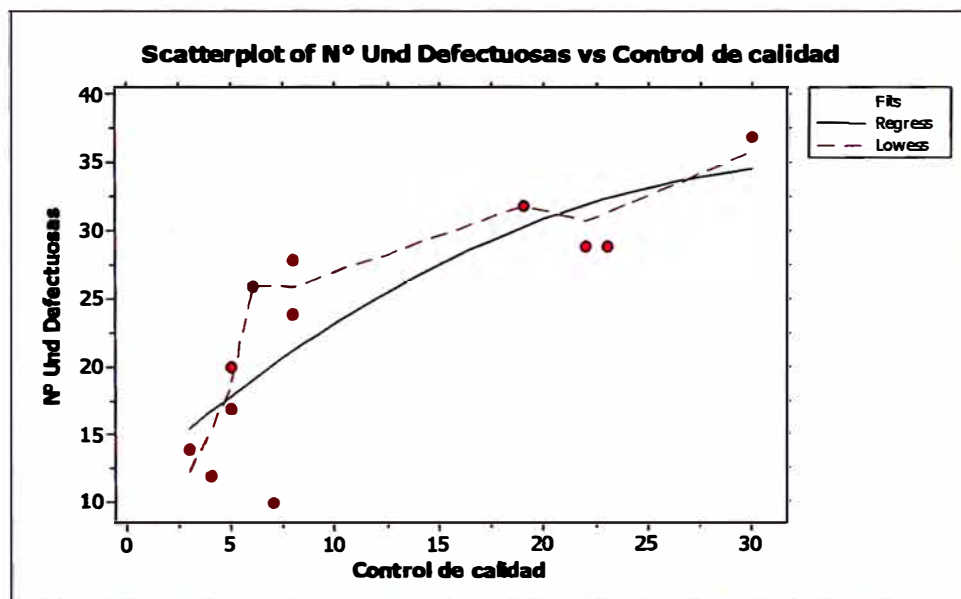
Grafica 4.3. Dispersión de defectos en el diseño y su influencia en el total de defectos.



Grafica 4.4. Dispersión de defectos en el montaje y conexionado y su influencia en el total de defectos.



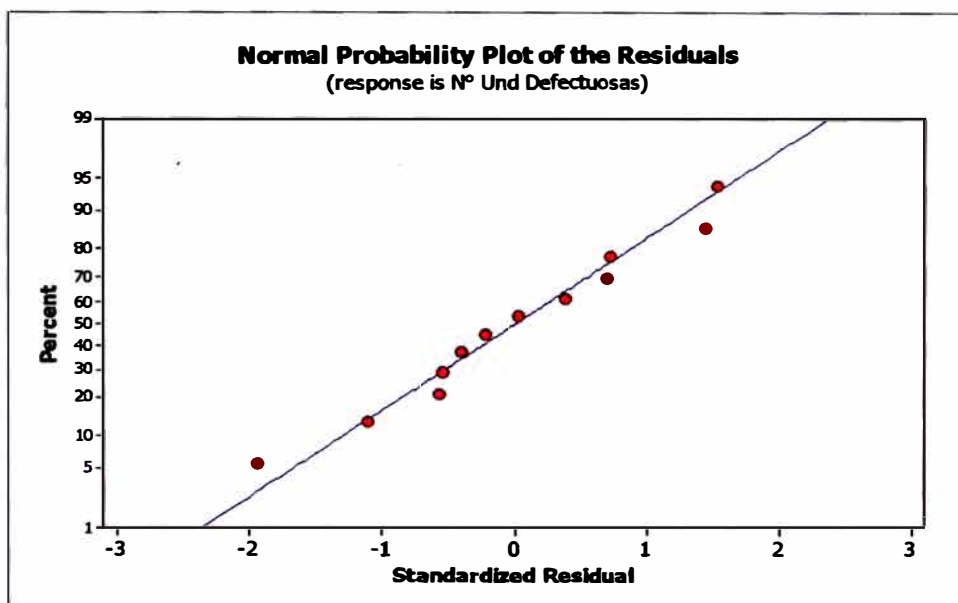
Grafica 4.5. Dispersión de defectos en el encubado y su influencia en el total de defectos.



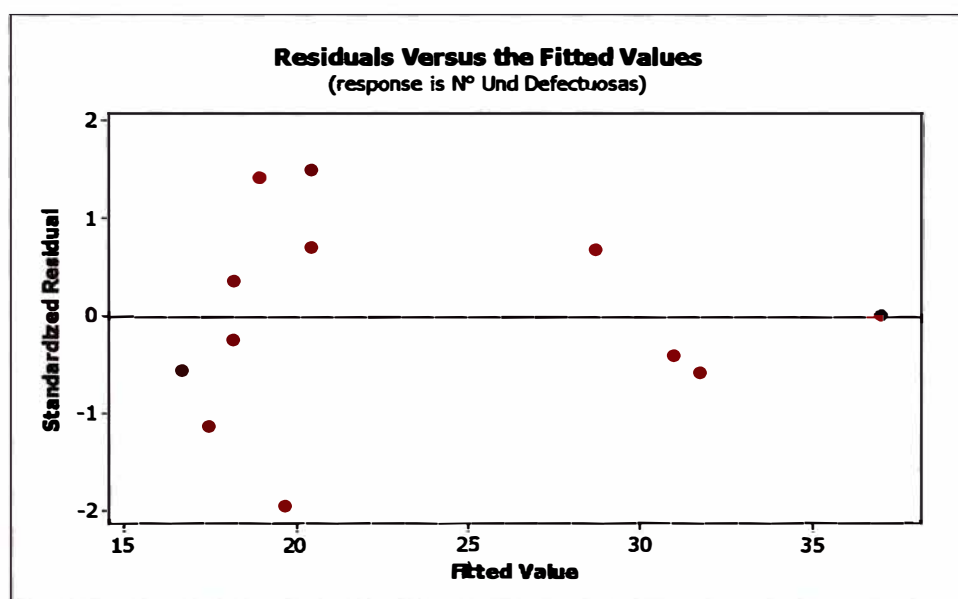
Grafica 4.6. Dispersión de defectos en el control de calidad y su influencia en el total de defectos.

De las curvas analizadas se observa la mayor tendencia en la curva recontrol de calidad, tal como se encontrara en el diagrama de Pareto, el principal problema o causa raíz de los defectos son los problemas diversos que se tienen con los materiales y las inspecciones de control.

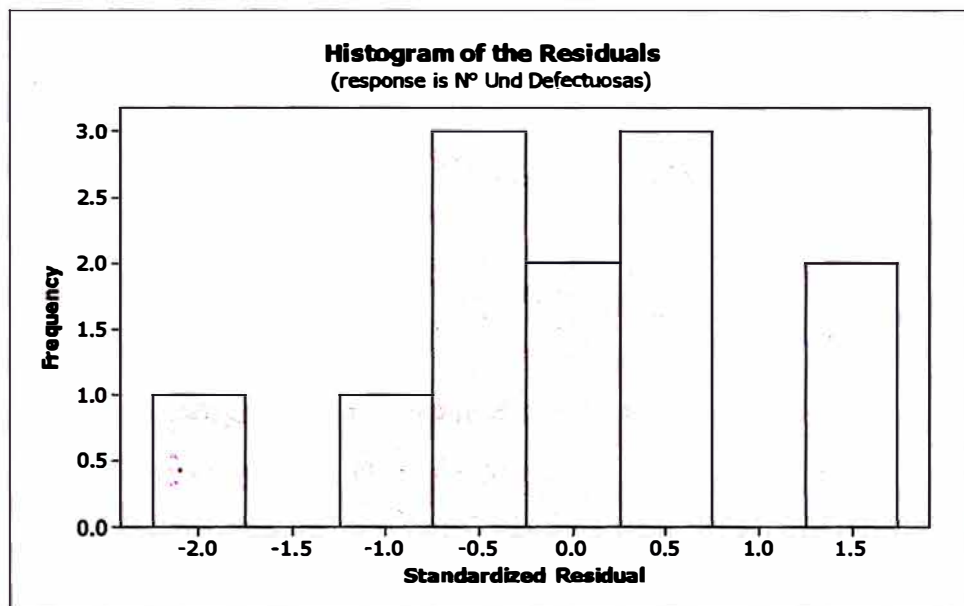
Puesto que se ha demostrado que la variable con mayor influencia sobre los defectos es el control de calidad, ahora haremos un análisis de regresión lineal para ver la tendencia y los resultados que se obtienen.



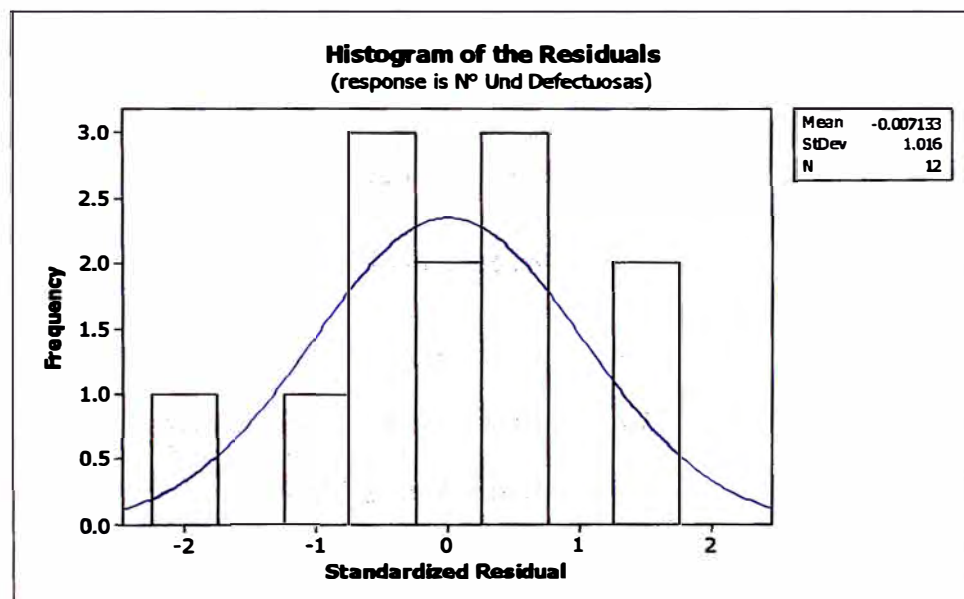
Grafica 4.7.



Grafica 4.8.



Grafica 4.9.



Grafica 4.10.

Así mismo tenemos los resultados del ajuste de la regresión lineal, para todos los efectos, control de calidad representa los defectos presentes en el control de calidad.

En la figura se muestra los resultados obtenidos de la regresión usando MINITAB.

Results for: Informe.MTW**Regression Analysis: N° Und Defectuosas versus Control de calidad**

The regression equation is

$$N^{\circ} \text{ Und Defectuosas} = 14.4 + 0.750 \text{ Control de calidad}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	14.415	2.524	5.71	0.000
Control de calidad	0.7502	0.1727	4.34	0.001

S = 5.26347 R-Sq = 65.4% R-Sq(adj) = 61.9%

PRESS = 357.303 R-Sq(pred) = 55.32%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	522.63	522.63	18.86	0.001
Residual Error	10	277.04	27.70		
Total	11	799.67			

Normplot of Residuals for N° Und Defectuosas**Residuals vs Fits for N° Und Defectuosas****Residual Histogram for N° Und Defectuosas**

Figura 4.1. Resultados del análisis de regresión usando MINITAB

Ahora procederemos a interpretar los resultados de los gráficos.

1. El valor de p en el Análisis de la tabla de Variancia (0.000) muestra que el modelo estimado por el procedimiento de regresión es significativo con un nivel α de 0.05. Esto indica que un coeficiente es diferente del cero.
2. El valor de p es 0.001, esto indicando una baja relación con la cantidad total de defectos a un nivel α de 0.05. Adicionalmente, la suma secuencial de cuadrados no muestra una variación sustancial. Esto sugiere que modelo es el apropiado.

3. El valor de R^2 indica un pronostico de 65.2% en la variación de los defectos. El R^2 ajustado tiene un valor de 61.9% del pronostico en el modelo. Ambos valores indican que los datos tomados son correctos.
4. El valor pronosticado de R^2 es 55.32%. Puesto que el valor de R^2 pronosticado es cercano al de R^2 y al valor de R^2 ajustado, el modelo no parece estar sobre ajustado y esta adecuadamente ajustado.

Gráfica de rendimiento

1. El histograma de los residuos exhibe un modelo consistente con una distribución normal. Cabe resaltar que el histograma es muy eficaz con los juegos de los datos con más de 50 observaciones. La parcela de probabilidad normal es más fácil de interpretar para las muestras más pequeñas.
2. La grafica de probabilidad normal muestra a un modelo aproximadamente lineal consistente con una distribución normal.
3. La grafica de valores residuales versus valores ajustados muestra que los valores residuales son más pequeños (cercanos a la línea de la referencia) como el aumento de valores que puede indicar que los valores residuales tiene la variación no constante.

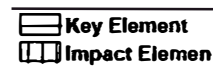
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. CONCLUSIONES

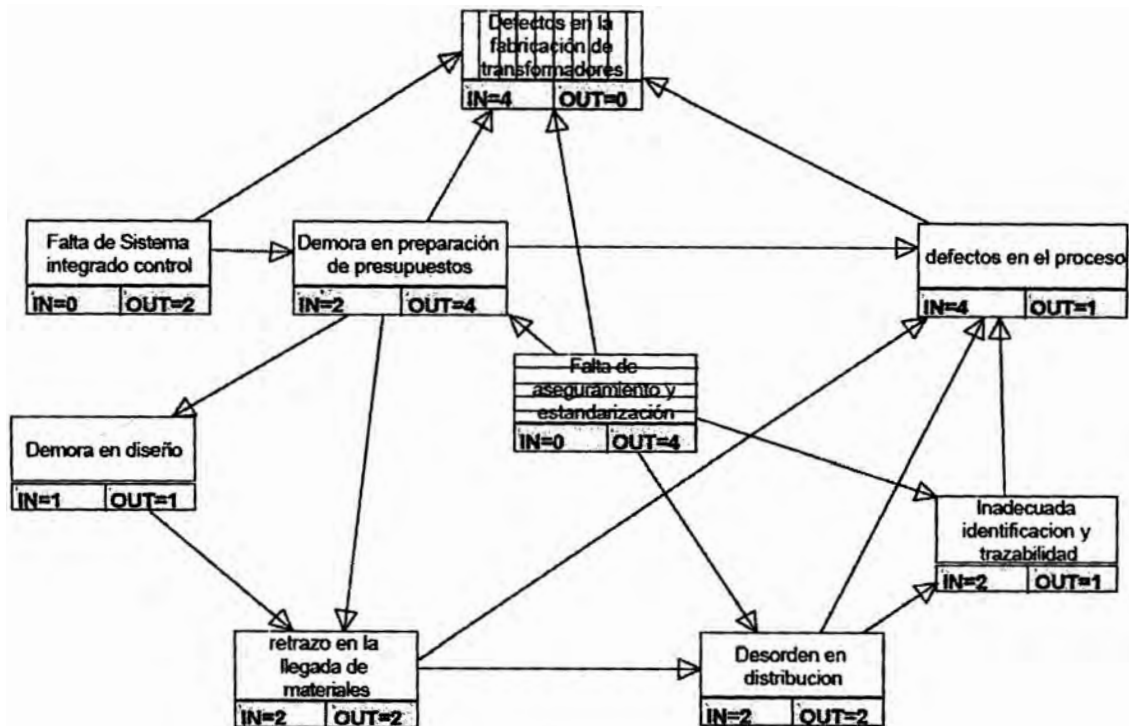
Luego del análisis realizado, se llego a las siguientes conclusiones:

- Podemos concluir que a lo largo del proceso los diferentes defectos presentes tienen un componente común, el control en proceso, conclusión que se obtiene al encontrar defectos como fuga de aceite por mala soldadura, luego de la prueba de hermeticidad y más aun en algunos casos es encontrado al final durante las pruebas finales.
- De la grafica de Pareto concluimos que la causa mayor de los defectos es el control de calidad, sin embargo no debemos confundir este resultado con decir que no existe un control de calidad, todo lo contrario, lo que tenemos es que la labor debe ser replanteada, reforzada por el control en proceso.
- Del diagrama de la espina de pescado concluimos que hay influencia de factores tales como la mano de obra, pues como se obtiene en el análisis AMFE, muchos de los defectos son debidos a inadecuada inspección o descuido de operarios, por inadecuado manipuleo de los materiales.

- De la grafica de pareto se concluye que una causa raíz que ocasiona los defectos con los materiales es el problema del stock, que ocasiona que no se cuente con el material a tiempo, y por eso no se realiza un buen control del mismo, pues este llega y se utiliza debido al poco tiempo para la revisión.
- De la matriz QFD podemos observar que los planos y el cumplimiento de los mismos es de vital importancia para la prevención de defectos, en las diferentes etapas, así mismo en tercer lugar se encuentra la integridad de los materiales y de cada subproducto de las etapas, esto nos indica que se hay un problema en la trazabilidad del producto, pues dados los defectos se concluye que necesita ser replanteada.
- Utilizando el Diagrama de relación como herramienta que ayuda a percibir la relación lógica que existe entre una serie de problemas o actividades encadenados como causas y efectos, estas relaciones se simbolizan mediante flechas dirigidas de la causa al efecto, en el diagrama existe la posibilidad que se representa más de un defecto y que una causa sea al mismo tiempo efecto de otra causa; en el diagrama mostrado se tiene, que la causa principal no es solamente los problemas en el control del producto y materiales durante el proceso, sino también, la falta de un sistema de aseguramiento de la calidad y la estandarización del proceso.



Fabricación de transformadores



- Finalmente podemos concluir que la capacidad del proceso obtenida es de 0.9855, con un nivel sigma moderado de 2.9517, el cual indica que se debe reforzar ciertas etapas para prevenir defectos, para lo cual se debe replantear el control en proceso, registrando, midiendo y analizando los resultados que nos servirá como paso inicial para la implementación de la metodología Six Sigma.

2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la formación de un área de control en proceso como tal, encargada de la inspección en proceso, la cual debe ser independiente del área productiva, esta área será responsable, que cada etapa del proceso sea trazable, e identificable, para cualquier persona incluso ajena a la empresa, por ejemplo una visita, para mejorar así la imagen de la empresa.
- Dicha área de control en proceso deberá también hacerse cargo del control de la materia prima, o insumos, deberá inspeccionar y aceptar o rechazar la materia prima; así mismo deberá ser responsable de la liberación del producto, es decir la inspección final, una vez que el transformador ha sido probado, se encargara de tener la información completa para que el equipo pase a almacén y se despache cuidando así todos los requisitos de calidad.
- Realizar un análisis Sigma pero por áreas internas, estableciendo parámetros de control interno, estableciendo metas y parámetros de medición y control.
- Realizar una evaluación de clima laboral y desempeño de personal, por ejemplo una evaluación de 180° (donde el colaborador es evaluado tanto

por sí mismo, por sus subordinados, sus jefes y los clientes; de otro lado también la evaluación de 360° (para medir el desempeño personal, medir las competencias o conductas, y diseñar programas de desarrollo); esto ayudaría a conocer las necesidades y expectativas del personal así como sus ideas para mejorar.

- Se recomienda la adquisición de un software especializado en gestión de procesos tipo ERP (Por ejemplo SAP), para la integración del proceso principal con las adquisiciones y la venta administrativa, así como la ingeniería del proceso; está demostrado que estos paquetes integradores permiten una mayor y mejor integración entre las áreas de trabajo y reducen los tiempos muertos y repetitivos de trabajo, si bien la inversión inicial resulta bastante onerosa, a largo plazo la inversión devuelve con creces lo invertido.
- Resaltaremos un ejemplo de lo mencionado, un paquete como BPCS, permite llevar las formulas de los productos dentro del sistema, maneja los inventarios y las compras, se requisan los materiales vía sistema, se ordena el almacenamiento permite realizar un mejor seguimiento al proceso de producción, y agiliza las finanzas, permitiendo mejores controles y trazabilidad del producto.

BIBLIOGRAFIA

TEXTOS

Principales libros utilizados como referencia.

1. **Kostenko, M. P., Piotrovski L. M.** *Maquinas Eléctricas I*. Editorial MIR. Moscú, 1975
2. **Eckes ,George.** *El Six Sigma para todos*, Grupo editorial Norma. Bogota, Colombia. 2003
3. **Carnell, Mike; Mills, Chuck;Wheat, Barbara.** *Seis Sigma*. Grupo editorial Norma. Bogota, 2003
4. **Escuela Superior de Ingenieros de San Sebastián-Universidad de Navarra,** *Guia de MINITAB 14*. 2004
5. **Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation.,** *Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) - QS 9000 Standard*. Reference manual. Second Edition, february 1995.

CHARLAS, SEMINARIOS Y OTROS

Principales paginas Web utilizadas como referencia.

1. Ciclo sobre Ingeniería de Calidad Seminario: FIABILIDAD y AMFE en el ciclo de vida de productos y procesos. Organizado por LABEIN 1996
2. Charla de TQM - PROMPEX,
3. Manuales de MINITAB 14
4. Catalogo de transformadores ABB, Delcrosa y CEA

PAGINAS WEB

Principales paginas Web utilizadas como referencia.

1. <http://www.isixsigma.com/dictionary/glossary.asp>, glosario de términos utilizados en calidad y en la metodología Six Sigma
2. <http://es.wikipedia.org> / http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page, diccionario web en español e inglés respectivamente.
3. [http://www.tecnun.es/asignaturas/gecalidad/Transparencias/Tema_07 Tecnicas Q.ppt](http://www.tecnun.es/asignaturas/gecalidad/Transparencias/Tema_07_Tecnicas_Q.ppt)
4. http://seniordesign.engr.uidaho.edu/Course_Docs/Tools/DFMEA1.ppt,
5. <http://www.icicm.com/files/FMEA.ppt>
6. <http://www.gestiopolis.com/canales5/ger/presigma.htm>, 2006.
7. <http://www.seis-sigma.com/>, 2006.
8. <http://www.mercadeo.com/archivos/six-sigma.pdf>,
9. [http://www.cimat.mx/Sitios/seissigma/archivos/Ponencia Sergio Nava y Carlos.pdf](http://www.cimat.mx/Sitios/seissigma/archivos/Ponencia_Sergio_Nava_y_Carlos.pdf),
10. <http://www.atisaemt.com/amt/articulos/SeisSigmaMitosRealidades.pdf>,
artículo publicado por Arturo Ruiz-Falcó Rojas, Cinturón negro Seis Sigma ATISAE M&T, División Calidad y Medio Ambiente

ANEXOS

Anexo I: Especificaciones técnicas transformadores trifásicos y monofasicos de distribución 10/0,23 kV.

Anexo II: Tabla de datos técnicos garantizados para un transformador de 630 KVA.

Anexo III: Detalle de los defectos por etapa.

Anexo IV: Tabla Six Sigma

ANEXO I

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

TRANSFORMADORES TRIFASICOS Y

MONOFASICOS DE DISTRIBUCION 10/0,23 kV

ESPECIFICACIONES TECNICAS
TRANSFORMADORES TRIFASICOS Y MONOFASICOS DE
DISTRIBUCION
10 / 0,23 kV

ESPECIFICACIONES TECNICAS DNC-ET-013d

1. INTRODUCCION
2. NORMAS DE FABRICACION Y PRUEBA
3. CONDICIONES DE SERVICIO
4. CARACTERISTICAS TECNICAS
5. CANTIDAD DE MUESTRAS PARA PRUEBAS DE HOMOLOGACION

ANEXO A: CONDICIONES TECNICAS PARA EL SUMINISTRO DE LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS DNC-ET-013d

- A.1) Estructuración del suministro
- A.2) Transporte
- A.3) Garantía Técnica
- A.4) Referencia Técnica
- A.5) Información Técnica Requerida
- A.6) Pruebas de Aceptación
- A.7) Penalización
- A.8) Instrucciones Técnicas Adicionales

- CUADRO I . CARACTERISTICAS TECNICAS GARANTIZADAS
- PLANOS:

1. INTRODUCCION

Los transformadores aquí especificados, están previstos para usarse, en el sistema de distribución de energía eléctrica de media tensión, en la zona de concesión de Luz del Sur S.A.

Las presentes especificaciones técnicas corresponden a los transformadores trifásicos y monofásicos de relación de transformación 10/0,23 kV, para instalación interior o intemperie.

2. NORMAS DE FABRICACION Y PRUEBA

Los transformadores deben cumplir no sólo con los requerimientos especificados en el presente documento, sino también con las siguientes normas:

- Norma Técnica Peruana 370.002 : Para diseño, fabricación y prueba.
- CEI, Publicación 76 : Para diseño, fabricación y prueba
- CEI, Publicación 354 : Para las capacidades de sobrecarga
- CEI, Publicación 296 : Para aceites aislantes
- ANSI / IEEE Std. 386 : Para los bushings tipo enchufe y aisladores pasantes tipo pozo.

3. CONDICIONES DE SERVICIO

3.1 CONDICIONES AMBIENTALES

Los transformadores serán instalados en el sistema de subestaciones de distribución tipo interior o intemperie con ventilación natural, ubicada en zonas de severa contaminación salina e industrial, de neblina y carente de lluvias, y con las siguientes condiciones ambientales:

- Temperatura ambiente : 5 a 35°C
- Humedad relativa : 70 a 100%
- Altura máxima sobre el nivel del mar : 2 500 m

3.2 CONDICIONES DE OPERACION

Los transformadores serán usados en un sistema de distribución de media tensión, de tres conductores con neutro aislado y con las siguientes características de operación:

- Tensión nominal del sistema : 10 kV
- Tensión máxima del sistema : 12 kV
- Frecuencia nominal : 60 Hz
- Nivel de la potencia de cortocircuito de la red de Luz del Sur S.A. : 500 MVA

4. CARACTERISTICAS TECNICAS

4.1 CARACTERISTICAS ELECTRICAS

4.1.1 Características Eléctricas Generales de Transformadores Trifásicos

- Número de fases : 3

- Tensión nominal primaria : 10 000 V
- Número de terminales en el primario : 6 para transformadores compactos
3 para transformadores convencionales
- Tensión nominal secundaria en vacío : 230 V
- Número de terminales en el secundario : 4 (neutro accesible)
- 5 derivaciones para conmutación en el lado primario : Nominal (10 kV), $\pm 2.5\%$, $\pm 5\%$
- Grupo de conexión : Dyn5
- Capacidad del puente de M.T. en Transformadores compactos : 200 A
- Tensión de cortocircuito : 4 %
- Pérdidas : Acápites 4.1.4

4.1.2 Características Eléctricas Generales de transformadores monofásicos

- N° de fases : 1
- Tensión nominal primaria : 10,000 V
- N° de terminales en el primario : 2
- Tensión nominal secundaria en vacío : 230 V
- N° de terminales en el secundario : 2
- 5 derivaciones conmutación en el lado primario : Nominal (10 kV), $\pm 2.5\%$, $\pm 5\%$
- Frecuencia nominal : 60 Hz
- Polaridad : Sustractiva
- Tensión de cortocircuito : 2 a 3 %
- Pérdidas : Acápites 4.1.4

4.1.3 Nivel de aislamiento

4.1.3.1 Aislamiento Externo:

Los niveles de aislamiento externo (aisladores de M.T.) de los bornes del primario del transformador se especifican en el acápite 4.3.3 que están referidos hasta 2500 m.s.n.m.

4.1.3.2 Aislamiento Interno:

El nivel de aislamiento que debe soportar el transformador son los siguientes:

	M.T.	B.T.
- Clase de aislamiento (kV)	12	0,6
- Nivel Básico de aislamiento (BIL)	95	
- Tensión de prueba a frecuencia industrial durante un (1) minuto (kV)	28	2,5

4.1.4 Pérdidas

Las pérdidas en el cobre como en el hierro no serán superiores a :

PARA TRANSFORMADORES TRIFASICOS :

POTENCIA (kVA)	PERDIDAS EN CARGA 75°C (kW)	PERDIDAS SIN CARGA (kW)	PERDIDAS TOTALES (kW)
630	8,29	1,56	9,85
400	5,51	1,14	6,65
250	3,70	0,80	4,50
160	2,42	0,57	2,99
100	1,80	0,40	2,20
50	1,00	0,23	1,23
37.5	0,86	0,18	1,04

25	0,63	0,15	0,78
15	0,60	0,13	0,73

PARA TRANSFORMADORES MONOFASICOS :

POTENCIA (kVA)	PERDIDAS EN CARGA 75°C (kW)	PERDIDAS SIN CARGA (kW)	PERDIDAS TOTALES (kW)
50	0,58	0,20	0,78
25	0,33	0,12	0,45

4.1.5 Tolerancias

Para la aceptación o rechazo en fábrica de los transformadores por parte de LUZ DEL SUR, registrarán las siguientes tolerancias sobre los valores garantizados :

Perdida totales	+ 1/10 de las perdidas declaradas
Perdidas en carga	+ 1/7 de las perdidas declaradas
Perdidas sin carga	+ 1/7 de las perdidas declaradas

4.2 CARACTERISTICAS DE DISEÑO

4.2.1 Sobrelevación de temperatura

- Tipo de montaje : Exterior
- Tipo de enfriamiento : ONAN

Asumiendo las condiciones ambientales de diseño indicadas en las normas citadas en el acápite 2, los transformadores deberán construirse de modo que operando a plena carga, las sobrelevaciones de temperatura ambiental de diseño no superen los siguientes valores:

	COMPACTOS	CONVENCIONALES Y AEREOS
Sobre elevación de temperatura en el punto más caliente de los devanados.	65°C	75°C
Sobre elevación de temperatura del aceite en la parte superior del tanque	45°C	60°C

Asimismo, los transformadores deberán construirse en talleres cerrados y exentos de todo tipo de contaminación que pudiera afectar sus características eléctricas y mecánicas.

4.2.1 Dimensiones máximas del transformador

Se tendrá en cuenta las siguientes dimensiones máximas:

TRANSFORMADOR CONVENCIONAL	TRANSFORMADOR COMPACTO	
	TIPO BOVEDA	TIPO PEDESTAL
Plano DNC-065	Plano DNC-066	Plano DNC-067

4.2.2 Resistencia a los cortocircuitos

Es importante remarcar que todas las conexiones internas, tanto en lado primario como en el secundario, deberán sujetarse sólidamente. Los transformadores deberán ser capaces de resistir sin peligro, sobre cualquier toma y en las condiciones de servicio, los esfuerzos electromagnéticos que se originan durante los corto circuitos en un tiempo de 2 s. CEI, Publicación 76-5, párrafo 2.1.3.

Además se deberá cumplir con lo especificado en la Norma ITINTEC 370.002, párrafos 4.6.2 a 4.6.7.

4.2.3 Conexiones internas de los transformadores compactos

Los dispositivos de protección y de maniobra, en M.T. y B.T. de los transformadores compactos, se conectarán según el esquema adjunto. (DNC-068)

El puente entre los aisladores pasantes tipo pozo (Bushing Well), será de tipo flexible, de manera que elimine esfuerzos mecánicos que pudieran presentarse a consecuencia del recorrido de una corriente de carga, sobrecarga o cortocircuito; o por efecto del pandeo de la tapa del transformador al izarlo.

4.3 CARACTERISTICAS DE CONSTRUCCION

4.3.1 Circuito magnético

Se construirá con láminas de acero al silicio de grano orientado, y laminado en frío, no deberán presentar deformaciones, rebabas ni oxidaciones, de alta permeabilidad, libres de fatiga por envejecimiento y bajas pérdidas por histéresis. También se podrá construir con otro material de características superiores, previa aprobación de Luz del Sur.

Las láminas llevarán películas aislantes en sus superficies, las cuales no serán afectadas por el aceite caliente o los aumentos de temperatura propios del núcleo del transformador y presentarán superficies suaves con el fin de obtener elevados factores de laminación.

Cuando el núcleo terminado sea del tipo enrollado, este deberá ser sometido a un proceso de recocido en atmósfera de gas inerte, con el objeto de reorientar los granos de la lámina magnética.

Las láminas deben estar rígidamente aseguradas para que resistan esfuerzos mecánicos y deslizamientos durante el transporte, montaje y condiciones de cortocircuito.

El núcleo y las bobinas se fijarán en el tanque o la tapa de modo que no se presenten desplazamientos cuando se mueva el transformador .

El núcleo será conectado al tanque para evitar potenciales electrostáticos.

4.3.2 Bobinados

El conductor será de cobre, de por lo menos 99.8% de pureza. Se aceptará otro material conductor que proporcione iguales o mejores características, previa evaluación de Luz del Sur.

Los conductores redondos preferentemente llevarán como aislante eléctrico, esmalte especial de características mecánicas y químicas que aseguren el nivel de aislamiento y durabilidad requeridos. En las pletinas rectangulares el aislamiento será de papel o similar.

Las conexiones de las bobinas entre sí o con los terminales exteriores, deberán estar forradas con papel o cinta aislante compatible con el aceite y las condiciones térmicas del transformador. No se aceptará forro de algodón.

- Antes de su instalación, los conductores redondos, las pletinas, el papel y las bobinas terminadas, deberán estar convenientemente almacenados para que no sean afectados por las condiciones atmosféricas del medio ambiente. Las conexiones de los conductores de las bobinas deberán efectuarse mediante la utilización de conectores adecuados.

Las bobinas deberán secarse antes de su introducción en el aceite del tanque.

Las bobinas de BT en los transformadores convencionales de 400 y 630 kVA, se conectarán a los aisladores terminales mediante flejes flexibles.

4.3.3 Aisladores (para transformadores trifásicos convencionales y monofásicos)

Los aisladores de M.T. serán de porcelana, clase 17.5 kV, nivel básico de aislamiento 95 kV pico, y tensión de prueba a 60 HZ durante un minuto de 38 kV eficaz, longitud de fuga mínima de 400 mm.

Los transformadores trifásicos deberán estar provistos con tres (3) aisladores en el lado primario y tres (4) en el lado secundario. Los transformadores monofásicos llevarán dos (2) en el primario y dos (2) en el secundario. Los aisladores de M.T. deben estar fijos a la tapa en posición vertical y diseñados de manera que un aislador roto pueda ser reemplazado fácilmente (fijado por encima de la tapa).

Los aisladores de M.T. se instalarán sobre la tapa del transformador.

Los aisladores de baja tensión junto con el conmutador de tomas podrán ir en la tapa o sobre la superficie del tanque en la parte frontal del transformador. A partir de los 160 KVA se ubicarán sobre la tapa del tanque.

- Todos los conectores terminales deberán presentar superficies redondeadas, sin rebabas de forma tal que no corten los cables.
- Todos los materiales del tipo ferroso deberán ser galvanizados en caliente, no se aceptarán galvanizados en frío o electrolíticos. Los materiales del tipo no ferroso deberán ser cadmiados o estañados.

Los aisladores instalados en los transformadores de distribución tendrán como máximo 5 puntos (ausencia de pigmentación, agujeros con menos de 1 mm de profundidad) los cuáles, también, no deberán tener más de 1 mm de diámetro

4.3.4 Tanque

Serán de planchas de acero laminado, sin presencia de corrugaciones o deformaciones en su superficie, con espesores tales que esté en capacidad de soportar todos los esfuerzos mecánicos originados por el propio peso del transformador y los esfuerzos producidos por sobrepresiones internas debido a sobrecargas o cortocircuito.

El tanque será diseñado para soportar presiones desde - 0,6 atm hasta 0,6 atm.

En todos los tipos de transformadores, la tapa se unirá al cuerpo del tanque mediante pernos, arandelas de presión y tuercas de hierro galvanizado; o sistema similar y empaquetaduras adecuadas (preferentemente de sección circular), que garanticen hermeticidad de la unión y sean resistentes a la temperatura y al aceite de los transformadores.

Para el caso de los transformadores compactos bóveda, se soldará en la base de éstos, dos perfiles tipo U, tal como se indica en el plano DNC-066.

Para el caso de los transformadores convencionales o monofásicos aéreos : La forma del tanque podrá ser rectangular, cilíndrica o ovalada, la tapa del tanque y la tapa de acceso manual (Hand-hole) deberán estar debidamente fijadas de manera que aseguren una buena hermeticidad, además, serán diseñadas de tal forma que no permitan el almacenamiento de agua encima de ellas.

- Todas las uniones soldadas deberán presentar buena penetración y un excelente acabado superficial, libre de asperezas y poros. estos puntos deberán soportar un esfuerzo mínimo igual al 150% del esfuerzo máximo que soporta el material de la lámina.

Los cordones de soldadura y las partes principales deben ser unidas con materiales de la mejor calidad, de ser necesario con doble cordón de soldadura, siempre evitando discontinuidades que permitan la entrada de humedad.

La separación entre la parte activa y el fondo del tanque, deberá tener espacio suficiente para acumulación de sedimentos.

El tanque deberá disponer una pestaña inferior o algo similar de tal manera que al colocarlo sobre una superficie plana, el fondo del mismo quede por encima de esa superficie.

Deberá anotarse la potencia del transformador en kVA con pintura negra indeleble, sobre la parte frontal, lateral, en el tanque y/o conservador siempre que sea en parte llana y visible, en números arábigos de 100 mm de altura.

4.3.5 Acabado

El acabado deberá asegurar un alto grado de resistencia a la corrosión, tanto en la zona exterior como interior. Se seguirá el procedimiento establecido a continuación, o un procedimiento equivalente previamente aprobado por Luz del Sur, que asegure el mismo grado de protección; consistente en arenado, pintura base y pintura de acabado. El procedimiento es el siguiente:

Zona exterior

Deberá asegurarse el mayor grado de resistencia a la corrosión. Para ello se ejecutarán en un mismo taller, los siguientes pasos:

- a) Preparar la superficie a pintar eliminando la capa de laminación (mill scale), el óxido o suciedad, mediante el sistema de sopleteado con arena seca de río, granalla de acero o similar.
- b) Inmediatamente de terminado esto, se aplicará una mano: Wash Primer (imprimador fosfatizante).
- c) Luego, inmediatamente después, deberá aplicarse pintura anticorrosiva tipo epóxico con alto contenido de zinc hasta alcanzar espesor mínimo de 75 micras. Esta aplicación podrá realizarse obviando el punto b, en cuyo caso deberá justificarse.
- d) Se aplicará pintura de acabado tipo epóxico, polvo o poliuretano color gris mate, compatible con la base, hasta obtener un espesor mínimo total de 150 micras, en toda la superficie.
- e) Además, se recomienda tener especial cuidado en proteger las esquinas, las soldaduras y otros puntos vulnerables a los golpes, haciendo una aplicación de brocha en estos puntos, para luego aplicar toda la pintura en todas las superficies, incluyendo los puntos mencionados.

Zona interior

Deberá pintarse totalmente y el fabricante seleccionará la pintura adecuada (anticorrosiva), la que será compatible con el aceite del transformador en cualquier condición, no debiendo deteriorarse aún a temperaturas altas (Transformador sobrecargado).

Recomendaciones adicionales

Durante todo el proceso, en ningún momento deberá tocarse con las manos la superficie a tratar, debiendo emplearse guantes o trapos limpios.

El transformador deberá construirse en interiores.

Es importante que todas las pinturas sean de la misma marca para asegurar su compatibilidad.

El eficaz pintado del transformador, constituye aspecto fundamental en la fabricación de la unidad, así como eventual causa de rechazo, y consiguiente solicitud de reparación, durante el período de garantía.

Luz del Sur, se reserva el derecho de comprobar, en la etapa de construcción, el cumplimiento del tratamiento anticorrosivo.

4.3.6 Materiales aislantes

Papel

Los papeles utilizados en el aislamiento de los devanados serán clase A, los cuales deberán soportar la máxima temperatura en el punto más caliente de los devanados. El papel aislante utilizado será papel "prespan" u otro de igual o mejores características. Se deben utilizar procesos de horneado que garanticen el curado de las resinas, asegurando resistencia mecánica permanente durante el tiempo de vida del transformador.

Aceite

Deberá ser mineral, preparado y refinado especialmente para uso en transformadores.

- Antes de su introducción en los tanques, el aceite se someterá a pruebas de rigidez dieléctrica. Sus características deberán satisfacer las normas CEI, Publicación 296.

Asimismo, el proceso de introducción en el tanque del aceite, se realizará sin que tenga el menor contacto con el medio ambiente, mediante dispositivos de filtrado y llenado, adecuados al proceso.

Deberá ser libre de contenido de PCB, es decir su contenido será menor a 2 P.P.M.

4.3.7 Niveles de ruido

NIVELES DE RUIDO MAXIMOS PROMEDIO MEDIDO A 1 METRO DE DISTANCIA Y A UNA ALTURA MEDIA DEL TRANSFORMADOR Y/O VENTILADORES:

- ◆ SIN VENTILADORES O CON VENTILADORES APAGADOS: 60 DECIBELES
- ◆ CON VENTILADORES FUNCIONANDO: 65 DECIBELES

4.4 ACCESORIOS

El fabricante deberá asegurar que el transformador que suministra contenga todos los accesorios necesarios y además asegurar un buen comportamiento del equipo durante la vida útil del mismo.

Como mínimo deberá incluir los siguientes accesorios:

4.4.1 Accesorios comunes a todos los transformadores trifásicos

- (1) Placa inoxidable con indicación indeleble en idioma español, ubicada en el lado de B.T. en la parte inferior, donde pueda ser leída fácilmente; de las siguientes características:
 - Tipo de instalación
 - Potencia nominal continua
 - Número de fases
 - Frecuencia
 - Tensiones
 - Corrientes
 - Conexión en M.T.
 - Conexión en B.T.
 - Grupo de conexión
 - Método de Enfriamiento
 - Nivel de Aislamiento
 - Tensión de cortocircuito a 75°C y a temperatura ambiente.
 - Sobrelevación de temperatura del aceite, a plena carga, medida en la parte superior del tanque.
 - Temperatura ambiental considerada para el diseño
 - Peso, marca y tipo de aceite
 - Peso de la parte activa
 - Peso total
 - Fabricante y número de serie de la unidad
 - Normas de fabricación
 - Año de fabricación
 - Altura de trabajo m.s.n.m.
 - Además llevará impreso LUZ DEL SUR
- (2) La secuencia y ubicación de las fases será según el plano DNC-070. La identificación será grabada pintada de color rojo y deberá ser perfectamente visible a un metro de distancia.

- (3) Placa con diagrama de conexiones interiores
- (4) Conmutador tripolar de tomas con mando exterior de 5 posiciones, notablemente diferenciadas, los contactos deben quedar sumergidos en aceite. Para ser accionado manualmente sin tensión desde la tapa o parte frontal del tanque en los transformadores convencionales y compactos bóveda; y desde el compartimiento de M.T., en los transformadores compactos pedestal. Para asegurar su correcta maniobra, el mando exterior deberá disponer de canaletas adecuadas que eviten cualquier desplazamiento involuntario de las posiciones.
La placa de instrucciones de operación estará ubicada en lugar visible, deberá indicar claramente que para efectuar alguna maniobra de conmutación se debe desconectar la alimentación de M.T.
Los transformadores deberán ser despachados con el conmutador en la posición principal.
El conmutador deberá ubicarse sobre la tapa del tanque.
- (5) Dos ganchos u orejas para izamiento. Su ubicación en los transformadores convencionales podrá ser en la tapa o en el tanque de tal forma que, al momento de izamiento, los estrobos con gancho simple no tengan contacto con los aisladores de M.T. ó B.T. y soporten el peso del transformador completo sin sobreesforzar las uniones que causen el subsecuente escape de aceite y deformaciones en el tanque y la tapa.
- (6) Indicador de nivel de aceite según diseño DNC-071 para los transformadores bóveda. Y del tipo flotador que garantice buena estanqueidad, para los pedestales y convencionales. Hasta potencias de 160 kVA se aceptarán con visor de nivel de aceite del tipo mirilla de policarbonato de espesor mínimo 4.5 mm, para lo cual el fabricante deberá asegurar la respectiva hermeticidad.
- (7) Válvula de vaciado de aceite de apertura gradual.
- (8) Pozo termométrico de instalación vertical con aceite de las mismas características del tanque; y tapón hermético. Para potencias de hasta 160 kVA se podrá suministrar sin pozo termométrico.
- (9) Plancha con perno y arandela para conexión a tierra del tanque, y eventualmente, del neutro de B.T. y cables de M.T.
- (10) Borne de conexión a tierra del tanque.
- (11) Adicionalmente por cada potencia y tipo, el fabricante entregará a LUZ DEL SUR S.A. lotes de repuestos consistentes en 3 aisladores de baja tensión, 3 aisladores de alta tensión y 1 conmutador. Estos accesorios serán cotizados separadamente. Se requiere un lote de repuesto por cada diez (10) unidades.

4.4.2. Accesorios solo para transformadores compactos

- (1) Tres soportes metálicos para recepción de aisladores de parqueo de los conectores de alta tensión de la subestación compacta, según plano DNC-072.
- (2) Válvula de seguridad para escape de presión para 0.6 atmósferas.
- (3) Señalización "Abierto-Cerrado", del seccionador de potencia de 10 kV, sumergido en aceite, según plano DNC-073 o similar. Debidamente pintado: Verde (abierto) y rojo (cerrado).
- (4) Bushings tipo enchufe (Bushing Plug Insert), de la marca Elastimold (Cat. 1601-A3-R), o similar.

- (5) Aisladores pasantes tipo pozo (Bushing Well). Podrá ser:
- Largo (long shank), para transformadores bóveda de la marca Elastimold Cát.K1601-PC-T1), o similar. Estos serán cubiertos por el aceite aproximadamente 100 mm.
 - Corto (short shank), para transformadores pedestal, de la marca Elastimold (Cat. K1601-PC-S1) o similar.
- Los aisladores pasantes deben sujetarse a la tapa del transformador por medio de bridas y pernos de fierro galvanizado, compatibles con los bushing plug insert.
- (6) Fusibles de M.T. Mc. Graw Edison, (Cat. FA4H (8), (12), (20), (40)) o equivalente según plano DNC-068.
- (7) Portafusibles de alta tensión de marca KULHMAN, o similar
- (8) Seccionador de potencia tipo sumergido en aceite, según el plano DNC-068 y de la marca WESTINGHOUSE (Cat. 272D913G13), o similar.
- (9) Adicionalmente por cada potencia y tipo, el fabricante entregará a Luz del Sur, lotes de repuesto consistentes c/u de 3 portafusibles especificados en (7). Estos accesorios serán cotizados separadamente, se requiere un lote de repuesto por cada 10 unidades.
- (10) Los transformadores tipo pedestal tendrán la cabina de BT acondicionada con soportes y barras de cobre de acuerdo a los planos DNC-074 y DNC-075.

4.4.3 Accesorios solo para transformadores convencionales o aéreos

- (1) Tanque conservador de aceite, (a partir de la potencia de 160 kVA) se ubicará preferentemente en el lado de baja tensión paralelo a la dimensión mayor y a una altura mínima de 100 mm respecto a la tapa del transformador, para permitir la salida de BT con barras. Los soportes del tanque de expansión (dos soportes) estarán ubicados exteriormente a los bornes de baja tensión (ver plano DNC-065).
- (2) Válvula de seguridad para escape de presión de 0,6 atm.
- (3) Termómetro intercambiable con indicador de máxima con la mira orientable hacia cualquier dirección en el plano horizontal alojado en el pozo termométrico, e instalado sobre la tapa (se suministrará uno por cada diez (10) transformadores)
- (4) Ruedas del tipo, orientable en cualquier posición del plano horizontal para transformadores de 400 kVA y 630 kVA. Los soportes de las ruedas deberán estar previstos para permitir el movimiento de los transformadores sin sufrir deformación.
- (5) Hasta 100 kVA llevarán preferentemente soportes diseñados para suspensión en postes soldados al tanque.
- (6) Para transformadores con potencias pequeñas de 15, 25, y 37.5 kVA, los soportes serán abrazaderas diseñadas para suspensión en el poste, soldados al tanque según plano DNC-069.

4.4.4 Accesorios sólo para transformadores monofásicos

- (1) Placa inoxidable, con las siguientes características grabadas en forma indeleble (ubicación en la superficie del tanque, al lado opuesto de los soportes de suspensión):
- Potencia nominal continua
 - Número de fases

- Frecuencia
 - Polaridad
 - Tensiones
 - Corrientes
 - Tipo de instalación
 - Tensión de cortocircuito a 75°C
 - Peso de aceite
 - Peso de la parte activa
 - Peso total
 - Altura de trabajo en m.s.n.m.
 - Fabricación y número de serie de la unidad
 - Año de fabricación.
- Además llevará impreso LUZ DEL SUR.

- (2) Identificación de las fases en alto o bajo relieve
- (3) Conmutador de tomas interior de 5 posiciones fijas para ser accionado sin tensión mediante dispositivo rotativo, con dial de números indelebles para los 5 puntos de conmutación.
- (4) Dos ganchos u orejas para izamiento del transformador, ubicados de tal forma que no queden alineados con los aisladores de M.T.
- (5) Tapón para extraer muestras de aceite.
- (6) Borne para conexión a tierra del tanque.
- (7) Soportes diseñados para suspensión en poste, soldados al tanque según plano DNC-069.

5. CANTIDAD DE MUESTRAS PARA PRUEBAS DE HOMOLOGACION

Se requiere una muestra tanto para pruebas de laboratorio como para pruebas en nuestra red, la misma que estará instalada como mínimo por un período de 6 meses.

La muestra será una para toda la gama de potencias por tipo, existiendo 2 tipos: Convencional y compactos.

ELABORADO Ing. Will Medina

REVISADO Ing. José Vergara

V.B. Ing. Jorge Jaúregui

**ANEXO A: CONDICIONES TECNICAS PARA EL SUMINISTRO DE LAS
 ESPECIFICACIONES TECNICAS DNC-ET-013d**

A.1 Estructuración del suministro

Los transformadores de distribución 10/0,23 kV aquí especificados, han sido clasificados para su fácil identificación en posiciones, considerando que el suministro se hará adjudicando posición por posición, salvo indicación contraria.

POSICION	CARACTERISTICAS
1	Transformador trifásico tipo bóveda 630 kVA 400 kVA 250 kVA 160 kVA 100 kVA 50 kVA
2	
3	
4	
5	
6	
7	Transformador trifásico tipo pedestal 630 kVA 400 kVA 250 kVA 160 kVA 100 kVA
8	
9	
10	
11	
12	Transformador trifásico tipo convencional 630 kVA 400 kVA 250 kVA 160 kVA 100 kVA 50 kVA
13	
14	
15	
16	
17	
18	Transformador trifásico pequeño tipo aéreo 37.5 kVA 25 kVA 15 kVA
19	
20	
21	Transformador monofásico tipo aéreo 50 kVA 25 kVA
22	

A.2 TRANSPORTE

El fabricante protegerá adecuadamente a los transformadores para asegurar su integridad durante el transporte. En los transformadores compactos tipo bóveda, los bushings tipo enchufe deberán ser protegidos con cajuelas de madera sujetas por zunchos metálicos.

A.3 GARANTIA TECNICA

La garantía técnica otorgada por el fabricante, será de dos (2) años a partir de la fecha de recepción final en fábrica por parte de los inspectores de Luz del Sur S.A.

Los gastos que implique cualquier falla que se presente en el transformador, debido a defectos de diseño, material o fabricación, serán cubiertos totalmente por el fabricante.

A.4 REFERENCIA TECNICA

El oferente deberá demostrar amplia experiencia e incluir en su oferta una relación con una antigüedad no mayor de cinco años, de clientes a quienes haya suministrado transformadores similares a los que está ofertando, indicándose cantidades, año de suministro y nombre del cliente.

Luz del Sur se reserva el derecho de desestimar ofertas por transformadores similares a los que anteriormente hayan tenido una mala performance en servicio.

A.5 INFORMACION TECNICA REQUERIDA

Las hojas de características técnicas garantizadas del Cuadro I son reproducibles. Deberán llenarse completamente, firmarse, sellarse e incluirse en la oferta.

El oferente también deberá incluir la siguiente información:

Certificado de utilización del sello de calidad otorgado por INDECOPI, en caso de fabricantes nacionales y de un certificado de calidad otorgado por una entidad de prestigio, para fabricantes extranjeros.

Catálogo del fabricante donde se indique el tipo del transformador ofertado.

Hoja de características técnicas del fabricante, indicándose material y dimensiones de cada una de las posiciones ofertadas.

Protocolos de pruebas de transformadores iguales a los que está ofertando.

- Transcurrido un tiempo prudencial no mayor de dos (2) semanas desde la colocación de la orden de compra, el fabricante presentará para su aprobación por Luz del Sur, tres copias de planos más detallados que los enviados en su oferta referentes al transformador, dibujados a una escala mínima de 1: 10,, sin modificar las dimensiones indicada en su oferta, salvo algún acuerdo con Luz del Sur. Sin este requisito no se iniciará la fabricación.

A.6 PRUEBAS DE ACEPTACION

Para la calificación de ofertas, los fabricantes adjuntarán protocolos de pruebas según lo indicado en los acápites A.6.1 y A.6.2, efectuadas según las normas del acápite 2.

Para la recepción de los transformadores, también se efectuarán las pruebas, tal como se indican en A.6.1 y A.6.2. Si en dichas pruebas de recepción, los transformadores se excedieran en sus pérdidas garantizadas por el fabricante, o si la sobrelevación de temperatura excediera los valores especificados el acápite 4.2.1 Luz del Sur rechazará dichas unidades en forma unitaria o todo un lote, según sean los resultados.

El fabricante deberá entregar 3 copias de los protocolos de dichas pruebas de recepción, dentro de los 15 días posteriores a la realización de las mismas.

Luz del Sur se reserva no sólo el derecho de enviar a un representante para presenciar las pruebas, sino también, el derecho de objetar el procedimiento de las pruebas o la utilización de equipos inadecuados. Cualquier retraso en la entrega de transformadores por este motivo, será responsabilidad exclusiva del fabricante.

A.6.1. Pruebas tipo

Estas se efectuarán a pedido de Luz del Sur en una unidad de cada lote u orden de compra. Si ésta es por varias posiciones de transformadores, se probará uno de cada posición si así se cree conveniente.

La elección de las unidades a probar será hecha por los representantes de Luz del Sur.

a) De sobrepresión

Los tanques se construirán de manera que llenos de aceite a la temperatura de 25°C y después de haber estado funcionando el transformador durante 12 horas a plena carga y en un ambiente con 40°C de temperatura, la sobrepresión del volumen de aire por encima del aceite, no exceda 0,5 atmósferas.

El tanque con su tapa, aisladores y accesorios montados deberá probarse con un mínimo de 0,6 atm de sobrepresión interior por lo menos durante 10 minutos. Para considerar que un tanque ha sido construido adecuadamente, deberá soportar la presión indicada sin que se presente deformación permanente en la plancha, sin variación de la presión inicial, ejecutándose el control mediante manómetro.

b) De aumento de temperatura

Se efectuaran de acuerdo a las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI), Publicación 76.

Se utilizará el método de carga nominal o el de corto circuito.

c) Pruebas físico-químicas al aceite

A.6.2 Pruebas de rutina

Se ejecutarán en todas las unidades sin excepción.

Las pruebas a realizarse serán:

- a) Medida de la resistencia de los arrollamientos
- b) Medida de la relación de transformación, control de la polaridad y correspondencia de fase.
- c) Medida de las pérdidas en el cobre y de la tensión de cortocircuito
- d) Medida de las pérdidas en el hierro y de la corriente en vacío
- e) Ensayo de tensión inducida
- f) Ensayo de tensión aplicada
- g) Medida de aislamiento

En los transformadores compactos, el fabricante ejecutará las pruebas sin los bushings tipo enchufe (bushing plug insert).

A.7 PENALIZACION

Para efectos de evaluación económica entre las ofertas que resulten técnicamente aceptables, se aplicará una penalidad por pérdidas de energía, en la siguiente forma: se tomará como referencia las ofertas que tengan, independientemente, menores pérdidas tanto en el cobre (a 75°C) como en el hierro; y el exceso sobre estos valores de referencia, se valorizará según los coeficientes para valorización que se indican a continuación:

COEFICIENTES PARA VALORIZACION DE PERDIDAS

Transformadores de 50 hasta 630 kVA

exceso de pérdidas en el hierro	X = 2,429 US\$ / kW
exceso de pérdidas en el cobre a (75°C)	Y = 1,400 US\$ / kW

A.8. INSTRUCCIONES TECNICAS ADICIONALES

Luz del Sur se reserva el derecho de rechazar aquellas ofertas que no demuestren en su lista de referencias, una buena experiencia en fabricación de transformadores iguales a los que se están concursando.

CUADRO I
CARACTERISTICAS TECNICAS GARANTIZADAS
(1 de 2)

CARACTERISTICAS	UNIDAD	VALOR GARANTIZADO
- Posición		
- Potencia	kVA	
- Marca		
- Tipo o modelo		
- N° de catálogo		
- N° de fases		
- Lado M.T.:		
Tensión nominal	kV	
Posiciones del conmutador		
Tensión máxima de servicio	kV	
Tensión de impulso (BIL)	kV _{pv}	
Tensión de prueba a 60 Hz. por 1 minuto	kV	
Número de terminales		
- Lado B.T.:		
Tensión nominal en vacío	V	
Tensión máxima de diseño	V	
Tensión de ensayo a 60 Hz, por 1 minuto	kV	
Número de terminales		
- Frecuencia Nominal	Hz	
- Longitud mínima de la línea de fuga en cada terminal de M.T.	mm	
- Grupo de conexión / Polaridad		
- Tensión de cortocircuito	%	
- Corriente en vacío	%	
- Pérdidas en el cobre con corriente nominal a 20°C	kW	
- Pérdidas en el cobre con corriente nominal a 75°C	kW	
- Pérdidas en el hierro a tensión y frecuencia nominales	kW	
- Peso del cobre	kg	
- Peso del núcleo	kg	
- Peso del aceite	kg	
- Peso del tanque	kg	
- Peso total	kg	
- Corriente nominal primaria	A	
- Corriente nominal secundaria	A	
- Capacidad del puente flexible de M.T. en transformadores compactos	A	
- Material magnético		
- Material de las bobinas de M.T.		
- Material de las bobinas de B.T.		

FIRMA Y SELLO DEL REPRESENTANTE LEGAL

CUADRO I
CARACTERISTICAS TECNICAS GARANTIZADAS
(2 de 2)

CARACTERISTICAS	UNIDAD	VALOR GARANTIZADO
- Sobre elevación de temperatura en el punto más caliente de los devanados	°C	
- Sobre elevación de temperatura del aceite en la parte superior del tanque	°C	
- Sobre presión que soporta el tanque	°C	
- Pintura :		
Preparación de superficie		
Espesor y tipo de base	micras	
Espesor y tipo de acabado	micras	
- Dimensiones máximas incluyendo accesorios		
Ancho	mm	
Profundidad	mm	
Altura	mm	
- Certificado de utilización del sello de calidad otorgado por INDECOPI (para productos extranjeros certificación similar)		
- Ofrece servicio técnico local	SI/NO	
- Ofrece sujeción externa del transformador para estructura monoposte	SI/NO	
- Calibración de válvula de seguridad contra sobrepresiones	atm	
- Clase del papel aislante		
- Placa de características con datos de acuerdo a lo solicitado	SI/NO	
- Garantía técnica	años	
- Norma para bushings tipo enchufe y aisladores pasantes tipo pozo.		
- Normas para diseño, fabricación y pruebas		
- Normas para capacidad de sobrecarga		
- Normas para aceites aislantes		

FIRMA Y SELLO DEL REPRESENTANTE LEGAL

ANEXO II

TABLA DE DATOS TÉCNICOS GARANTIZADOS

PARA UN TRANSFORMADOR DE 630 KVA

TABLA DE DATOS TÉCNICOS GARANTIZADOS

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE TRANSF. TRIFASICO DE 630 KVA – LUZ DEL SUR

Transformador de Distribución tipo Convencional, marca TRANSFDIST, trifásico, 60 Hz, aislamiento clase A, en baño de aceite y refrigerado por circulación natural del aire, montaje interior o exterior, fabricados y probados de acuerdo a la Norma IEC Pub. 76 y las Especificaciones de LUZ DEL SUR.

Cantidad	:	
Normas de fabricación	:	IEC76, LUZ DEL SUR .
Version de la norma	:	DNC-ET-013d – ENERO 2006
Tipo	:	ESPECIFICO
Potencia nominal	:	630 kVA
Número de fases	:	Trifásico
Tipo de refrigeracion	:	ONAN
Frecuencia	:	60 HZ
Devanado en AT(V)	:	10 000
Número de Tomas	:	5
Regulación en AT	:	+/- 2x2.5%
Número de Bornes AT	:	3
Conexión en AT	:	Triángulo
Devanado en BT(V)	:	230
Numero de Bornes BT	:	4
Conexión en BT	:	Estrella +N
Relación de Transformación	:	10 000/230
Grupo de Conexión	:	Dyn5
Pérdidas en el Cobre a 75°C y In(kW)	:	8.29
Pérdidas en el Hierro a Vn(kW)	:	1.56
Tension de cortocircuito	:	4%
Altura de Trabajo (m.s.n.m.)	:	2500
Espesor de pintura	:	6 mils
Dimensiones maximas del transformador	:	Según Plano
Especificar Potencia en Transformador	:	Según Plano

Accesorios Estándar Incluidos

Placa Característica de Acero Inoxidable.
Válvula de Vaciado y Muestreo.
Tapón de Llenado.
Conmutador de Tomas Para Regulación en Alta Tensión en vacio.
Pozo Termométrico.
Tanque conservador
Indicador de nivel de aceite.
Ruedas bidireccionales
Puntos Adecuados para el Izaje.
Perno para puesta a tierra del tanque.
Válvula de Seguridad.
Identificación de Bornes con Pintura Roja en Alto Relieve sobre la Tapa.
Identificacion con colores las fases
Base perfil tipo U
Aceite Dieléctrico Libre de Contenido dePCB , Garantizado menor a 2PPM.

ANEXO III

DETALLE DE LOS DEFECTOS POR ETAPA

Tabla de defectos encontrados durante el proceso de Fabricación

Etapa	Defecto
Defectos en el Diseño	Calculo erróneo, falla en el dimensionado (distancias insuficientes)
	Error en espesor de aislamiento
	Agujero de aislador BT tiene el diámetro mayor al requerido.
	Ancho de la parte activa es mayor al tanque en el lado A.T.
	Error en la ubicación de accesorios.
	Error en salida de tomas.
	Manija del conmutador choca con el espárrago de AT.
	Medidas de travesaños superior e inferior estaban diferentes
	Transformadores se fabricaron con normas estándar y debió ser con la corporativa.
	Errores en la prueba de relación de transformación
Defectos en la parte Activa	Error en las salidas de las tomas.
	Error en la relación de transformación durante el bobinado
	Falta aislamiento entre capas.
	Burbujas en el esmalte del alambre o platina
	Platina con filo en los bordes
	Carrete de alambre no es uniforme o esta piezado
	Bobina golpeada
	Lamina de acero magnético abollado.
	Se introdujo una partícula de cobre entre las capas de la bobina
	Poca distancia entre parte activa y masa.
La conexión de salida no es la indicada por el cliente	
Defectos en la parte metálica	Desnivel en ángulos
	Dimensiones erróneas en agujeros para pernos
	Dimensiones erróneas de dobléz de aletas
	Dimensiones erróneas en agujeros para accesorios y otros
	Dimensiones erróneas en agujeros para aisladores
	Ubicación de accesorios errónea (p.e. Tanque conservador, placa característica,
	Fisura en la soldadura en los bordes
	Fisura en la soldadura de los soportes)
	Válvulas rotas
	Agujeros para pernos de tanque y tapa no coinciden.
Abolladuras en el traslado al arenado en aletas y soportes.	
Pernos Rotos, etc.	
Defectos en el encubado.	Bobina Rayada
	Bridas de portafusibles mal ajustadas
	Bridas de portafusibles cóncava por exceso de ajuste
	Bridas de portafusibles desalineadas.
	Golpes en las espiras de última capa
	Falta colocar válvula de seguridad.
	Faltó llenar nivel de aceite del tanque del transformador.
	Filtra aceite por perno del indicador de nivel de aceite.
	Imperfecciones sobre loza de aisladores.
	Rayado el aislamiento de la platina en bobina AT
	Interior de tanque sucio
	Filtrado de aceite por accesorios (aislador, perno, indicador de aceite, etc.)
Filtrado de aceite por empaquetadura	
Filtrado de aceite por valvulas	
Filtrado de aceite por tanque o aleta	

Tabla de defectos encontrados durante el proceso de Fabricación

Etapa	Defecto
Defectos en el secado	La madera se rajó durante el secado.
	Falta desecado o interrupción del proceso
Defectos en el control de calidad (pruebas e inspecciones)	Mica rayada, indicador de nivel rajado
	Burbujas y defectos superficiales tales como rajaduras en los aisladores
	Falla en el aislador durante las pruebas
	Porta fusible rajado
	Falla de fusible.
	Pernos defectuosos
	Rollos de alambre de Cu piezados
	No pasa prueba de la resistencia del bobinado.
	No pasa prueba de tensión aplicada en AT.
	No pasa prueba de tensión de impulso atmosférico.
	No pasa prueba de tensión inducida.
Prueba de relación de transformación incorrecta	

ANEXO IV

TABLA SIX SIGMA

TABLA DE CONVERSION DE LA CAPACIDAD DE UN PROCESO A NIVEL SIGMA

Índice de Capacidad (Cpk)	Procesos a corto plazo	Procesos a largo plazo	Rendimiento	Defectos por 1.000.000	Defectos por 100.000	Defectos por 10.000	Defectos por 1.000	Defectos por 100
2	6	4,5	99,99966	3	0,34	0,034	0,0034	0,00034
1,97	5,9	4,4	99,99946	5	0,54	0,054	0,0054	0,00054
1,93	5,8	4,3	99,99915	9	0,85	0,085	0,0085	0,00085
1,9	5,7	4,2	99,9987	13	1,34	0,134	0,0134	0,00134
1,87	5,6	4,1	99,9979	21	2,1	0,207	0,021	0,0021
1,83	5,5	4	99,9968	32	3,2	0,32	0,032	0,0032
1,8	5,4	3,9	99,995	48	4,8	0,48	0,048	0,0048
1,77	5,3	3,8	99,993	72	7,2	0,72	0,072	0,0072
1,73	5,2	3,7	99,989	108	10,8	0,08	0,11	0,011
1,7	5,1	3,6	99,984	159	15,9	1,6	0,16	0,016
1,67	5	3,5	99,98	233	23,3	2,3	0,23	0,023
1,63	4,9	3,4	99,97	337	33,7	3,4	0,34	0,034
1,6	4,8	3,3	99,95	483	48,3	4,8	0,48	0,048
1,57	4,7	3,2	99,93	687	68,7	6,9	0,69	0,069
1,53	4,6	3,1	99,90	968	97	10	0,97	0,097
1,5	4,5	3	99,87	1 350	135	13	1,3	0,13
1,47	4,4	2,9	99,81	1 866	187	19	1,9	0,19
1,43	4,3	2,8	99,74	2 555	256	26	2,6	0,26
1,4	4,2	2,7	99,65	3 467	347	35	3,5	0,35
1,37	4,1	2,6	99,5	4 661	466	47	4,7	0,47
1,33	4	2,5	99,4	6 210	621	62	6,2	0,62
1,3	3,9	2,4	99,2	8 198	820	82	8,2	0,82
1,27	3,8	2,3	98,9	10 724	1 072	107	11	1,1
1,23	3,7	2,2	98,6	13 903	1 390	139	14	1,4
1,2	3,6	2,1	98,2	17 864	1 786	179	16	1,6
1,17	3,5	2	97,7	22 750	2 275	228	23	2,3

Índice de Capacidad (Cpk)	Procesos a corto plazo	Procesos a largo plazo	Rendimiento	Defectos por 1.000.000	Defectos por 100.000	Defectos por 10.000	Defectos por 1.000	Defectos por 100
1,13	3,4	1,9	97,1	28 716	2 872	287	29	2,9
1,1	3,3	1,8	96,4	35 930	3 593	359	36	3,6
1,07	3,2	1,7	95,5	44 565	4 457	446	45	4,5
1,03	3,1	1,6	94,5	54 799	5 480	548	55	5,5
1	3	1,5	93,3	66 807	6 681	668	67	6,7
0,97	2,9	1,4	91,9	80 757	8 076	808	81	8,1
0,93	2,8	1,3	90,3	96 801	9 680	968	97	9,7
0,9	2,7	1,2	88,5	115 070	11 507	1 151	115	12
0,87	2,6	1,1	86,4	135 666	13 567	1 357	136	14
0,83	2,5	1	84,1	158 655	15 866	1 587	159	16
0,8	2,4	0,9	81,6	184 060	18 406	1 841	184	18
0,77	2,3	0,8	78,8	211 855	21 166	2 119	212	21
0,73	2,2	0,7	75,8	241 964	24 196	2 420	242	24
0,7	2,1	0,6	72,6	274 253	27 425	2 743	274	27
0,67	2	0,5	69,1	308 538	30 854	3 085	309	31
0,63	1,9	0,4	65,5	344 578	34 458	3 446	345	34
0,6	1,8	0,3	61,8	382 089	38 209	3 821	382	38
0,57	1,7	0,2	57,9	420 740	42 074	4 207	421	42
0,53	1,6	0,1	54,0	460 172	46 017	4 602	460	46
0,5	1,5	0	50,0	500 000	50 000	5 000	500	50
0,47	1,4	-0,1	46,0	539 828	53 983	5 398	540	54
0,43	1,3	-0,2	42,1	579 260	57 926	5 793	579	58
0,4	1,2	-0,3	38,2	617 911	61 791	6 179	618	62
0,37	1,1	-0,4	34,5	655 422	65 542	6 554	655	66
0,33	1	-0,5	30,9	691 462	69 146	6 915	691	69