UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

ANALISIS Y SOLUCION A LA PROBLEMATICA DEL ENSAMBLE MECANICO DEL NUCLEO Y LA BOBINA EN PLANTA FABRICANTE DE TRANSFORMADORES DE TIPO INDUSTRIAL INMERSOS EN ACEITE

POR

ING. JOSE CANDELARIO GUTIERREZ RODRIGUEZ

T E S I S

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA MANUFACTURA CON ESPECIALIDAD EN DISEÑO DE PRODUCTO

CD. UNIVERSITARIA DICIEMBRE DEL 2001

TN
Z5853
.M2
FIME
2001
G97

2001

ANALISIS Y SOLUCION A LA PROBLEMATICA DEL ENSAMBLE MECANICO DEL NUCLEO Y LA BOBINA EN PLANTA FABRICANTE DE TRANSFORMADORES DE TIPO INDUSTRIAL INMERSOS EN ACEITE

J. C. G. R.

1020147528

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

ANALISIS Y SOLUCION A LA PROBLEMATICA DEL ENSAMBLE MECANICO DEL NUCLEO Y LA BOBINA EN PLANTA FABRICANTE DE TRANSFORMADORES DE TIPO INDUSTRIAL INMERSOS EN ACEITE

POR

ING. JOSE CANDELARIO GUTIERREZ RODRIGUEZ

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA MANUFACTURA CON ESPECIALIDAD EN DISEÑO DE PRODUCTO

CD. UNIVERSITARIA DICIEMBRE DEL 2001

311058

TM
Z5853
.M2
FIME
2001
.G97

FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

ANALISIS Y SOLUCION A LA PROBLEMÁTICA DEL ENSAMBLE MECANICO DEL NUCLEO Y LA BOBINA EN PLANTA FABRICANTE DE TRANSFORMADORES DE TIPO INDUSTRIAL INMERSOS EN ACEITE

POR

ING. JOSE CANDELARIO GUTIERREZ RODRIGUEZ

TESIS
EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA MANUFACTURA CON ESPECIALIDAD EN DISEÑO DE PRODUCTO

CD. UNIVERSITARIA DICIEMBRE 2001

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

ANALISIS Y SOLUCION A LA PROBLEMÁTICA DEL ENSAMBLE MECANICO DEL NUCLEO Y LA BOBINA EN PLANTA FABRICANTE DE TRANSFORMADORES DE TIPO INDUSTRIAL INMERSOS EN ACEITE

POR

ING. JOSE CANDELARIO GUTIERREZ RODRIGUEZ

TESIS
EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA MANUFACTURA CON ESPECIALIDAD EN DISEÑO DE PRODUCTO

CD. UNIVERSITARIA DICIEMBRE 2001

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
División de Estudios de Post-grado

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis **"Análisis y Solución a la Problemática del Ensamble Mecánico del Núcleo y la Bobina en Planta Fabricante de Transformadores de Tipo Industrial Inmersos en Aceite",** realizada por el Ing. **José Candelario Gutiérrez Rodríguez**, matrícula **331796** sea aceptada para su defensa como opción al grado de **Maestro en Ciencias de la Manufactura con Especialidad en Diseño de Producto**.

El comité de Tesis

M.C. Cesar Gerardo Dimas Acevedo
Asesor

Dra. Patricia del Carmen Zamorano Robledo
Coasesor

M.C. Roberto Mireles Palomares
Coasesor

Vo. Bo
M.C. Roberto Villarreal Garza
División de Estudios de Post-Grado

Ciudad Universitaria

Diciembre 2001

DEDICATORIA

El presente trabajo es la culminación de un esfuerzo que sin el apoyo , ejemplo y ánimo de muchas personas importantes en mi vida me hubiera sido imposible, siquiera pensar en realizarlo . Deseo hacer un agradecimiento especial a las siguientes personas:

A mi padre, Sr. Candelario del Carmen Gutiérrez Rodríguez; por que siempre te he visto como un ejemplo de responsabilidad, trabajo y dedicación a la familia, te quiero y te respeto.

A mi madre, Sra. María Lidia Rodríguez Morales; gracias por tu cariño incondicional a lo largo de tantos años, te quiero.

A mis hijos

Gustavo Candelario Belem Carolina Carlos

por llenar mi vida con su cariño y alegría, por permitirme tomar parte del tiempo que como padre les debo de dar; les compensare con la calidad del mismo. Los quiero y que mi Dios los cuide por muchos años.

A mis hermanos y hermanas; Juan Antonio, María Dolores, María del Socorro, Víctor Manuel, María Guadalupe, María Teresa y José Luis con quienes he compartido

momentos inolvidables a lo largo de mi vida, quisiera que el tiempo volviera atrás. Me da gusto verlos siendo pilares de sus familias con los mismos principios con que nos educaron nuestros padres. A ustedes y sus familias los quiero.

En especial a mis tíos Antonio y Ema; con quien compartí durante muchos años; horas inolvidables en mi infancia y juventud, con quienes pude externar más abiertamente mis ideas. Los quiero y los respeto.

A mi asesor el Ing. Cesar G. Dimas Acevedo por su interés , tiempo y paciencia para con un servidor durante la ejecución de este trabajo. Mil gracias.

A todas aquellas personas que han pasado por mi vida; quienes con palabras de aliento o de desdén me han hecho trabajar y esforzarme para construir algo positivo en mi vida, Gracias

Cada persona somos consecuencia de los actos que libremente decidimos realizar; por lo que asumo la responsabilidad de mi vida. De lo bueno y malo de todos ustedes me quedo solo con lo bueno; lo malo ya lo deseche. Gracias por participar en mi vida y que Dios lo bendiga.

PROLOGO

En éste trabajo se aborda el problema del ensamblaje mecánico de componentes, pués es algo que no debiera de existir, pues cuesta mucho tiempo y dinero.

No se abordo el tema como un problema de inversión por cuestión de equipos, púes la oportunidad de predecir las dimensiones de ensamblaje es muy alta y de bajo costo.

Presenta el reto de buscar entender como un efecto es originado por una causa que reacciona en cadena y puede ser bloqueado; siempre que se entienda sus comportamiento.

El tipo de producto a escoger marcará la pauta de la rentabilidad del proyecto.

Aplicar estas ideas en el marco de los transformadores industriales inmersos en aceite , resulta muy atractivo; pues es el campo profesional del autor. Además la aplicación practica permitirá la validación y ajustes que necesitan las hipótesis,

INDICE

Capítulo	página
Síntesis	1
1. Introducción	2
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Objetivo	3
1.3 Hipótesis	3
1.4 Limites para el estudio	4
1.5 Justificación	4
1.6 Metodología	5
1.7 Revisión Bibliográfica	6
2.- Conceptos generales del transformador	7
2.1 Que es el transformador	7
2.2 Historia del transformador	8
2.3 Principios de funcionamiento del transformador	9
2.4 Estructura del transformador	11
2.5 Tipos de transformadores	13
3.- Núcleos	17
3.1 Función del núcleo en el transformador	17
3.2 Tipos de núcleos para transformador	18
3.3 Geometría y Parámetros	20
4.-Análisis del Proceso de núcleos	22
4.1 Mapa de Proceso e identificación de CTQ´s	22
4.2 Sistema de medición	24
4.2.1 Método actual	24
4.3 Recolección de información	30
4.4 Análisis de información para creación de familias tecnológicas	30
4.5 Análisis estadístico para determinar la aleatoriedad del proceso	32

5.-Estabilización de proceso de núcleos 34

5.1 Detección de variables potenciales 34
5.1.1 Dimensión A 34
5.1.2 Dimensión C 35
5.1.3 Dimensión D 35
5.2 Análisis de sensibilidad 36
5.2.1 Dimensión C 36
5.2.2 Dimensión D 37
5.3 Diseño de experimentos (DOE) 37
5.4 Establecer acciones para reducir impacto de variables involucradas 39
5.5 Verificación de control 40

6.- Bobinas 42

6.1 Función de la bobina del transformador 42
6.2 Tipos de bobinas para Transformador 43
6.2.1 Según su capacidad 43
6.2.2 Según su Voltaje en Alta Tensión (AT) 43
6.2.3 Según su voltaje en Baja Tensión (BT) 43
6.2.4 Según su construcción interna 44

7.- Análisis de Proceso de Bobinas 45

7.1 Mapa de Proceso e identificación de CTQ´s 45
7.2 Sistema actual 47
7.3 Sistema propuesto 48
7.4 Recolección de información 49
7.5 Análisis estadístico para determinar la aleatoriedad del proceso 51
7.4 Análisis de información para creación de familias tecnológicas 51

8.- Estabilización de proceso de Bobinas 54

8.1 Introducción 54
8.1.1 Variables LLM y LCM 54
8.1.2 LCBT y LLBT en bobinas 55
8.1.3 LCAT y LLAT en bobinas 55
8.2 Análisis de sensibilidad 56
8.2.1 LLM y LCM 56
8.2.2 LLBT y LCBT 57
8.2.3 LCAT y LLAT 59
8.3 Establecer acciones para reducir impacto de variables involucradas 61
8.4 Verificación de control 62

9.- Aislamientos de Ensamblaje 63

9.1 Características de los aislamientos del ensamblaje bobina- núcleo de un transformador 63
9.2 Función y esquema de los aislamientos de armado del transformador 64

10.-Análisis del Proceso de Aislamientos 66

10.1 Mapa de Proceso 66
10.2 Identificación de CTQ´s 67
10.3 Sistema de medición para CTQ´s 68
10.3.1 Sistema actual 68
10.3.2 Validación del sistema 68
10.3.3 Conclusiones 68
10.4 Recolección de información 69
10.5 Análisis de información para creación de familias tecnológicas 70
10.6 Análisis estadístico para determinar la aleatoriedad del proceso 72
10.7 Revisión del impacto de los aislamientos sobre el ensamble final 73

11.- Proceso de Ensamblaje del núcleo y la Bobina 74

11.1 Descripción del proceso 74
11.2 Ruta de acción especifica a cada interferencia según su origen y cuantificacion. 75
11.2.1 Interferencia en el lado largo de núcleo 75
11.2.2 Interferencia en el lado corto del núcleo 76
11.2.3 Interferencia en el interior de la bobina lado corto 77

12.- Proceso de Diseño Actual 79

12.1 Explicación del sistema actual 79
12.2 Detección de puntos débiles 80

13.- Proceso de Diseño Propuesto 81

13.1 Variables Propuestas 81
13.2 Creación de sistema de operación 81
13.3 Ajustes 82

14.- Detección de impactos económicos 83

14.1 Costo del diseño actual 83
14.2 Costo del diseño nuevo 84
14.3 Balance 85

15.- Validación en piso 86

15.1 Correr Diseño con proceso actual 86
15.2 Análisis e interpretación 87
15.3 Ajustes al sistema 87

16.- Conclusiones 89

17.- Recomendaciones 90

Bibliografía 92

Listado de Tablas 94

Listado de figuras 95

Apéndices 97

Apéndice 1 Glosario de términos 98
Apéndice 2 Programas estadísticos 103

Resumen autobiográfico 114

SINTESIS.

En este trabajo se presenta un planteamiento introductorio de los componentes del transformador que se involucran en el problema de ensamblaje del núcleo y la bobina. Con la ayuda de diagramas de flujo, mapas de proceso y la experiencia de personal conocedor del proceso se han detectado las variables y subvariables que se presuponen en primera instancia que son críticas en el ensamble de cada componente, en un segundo análisis, y con la ayuda de análisis de sensibilidad y diseño de experimentos, las variables son depuradas y se confirma dimensionalmente el impacto de las mismas en la variable de salida de manera que, como resultado nuestro grupo de variables y subvariables significativas se reduce aún más, lo que hace más específico y efectivo los resultados de las acciones derivadas del proceso de mejora. Para la recolección de datos, se validan los métodos de medición, con la ayuda de la técnica del Gage R&R se pudo detectar el error del sistema de medición y corregirlo. Para facilitar el análisis de cada variable y subvariable más significativa se determina su comportamiento estadístico en cuanto a normalidad y en caso favorable se obtienen parámetros de centrado y dispersión, en caso de no normalidad se busca estabilizar el proceso y reducir su impacto mediante acciones de control propuestas, posteriormente se obtienen sus parámetros descriptivos. Las subvariables controladas y predecibles, son validadas en modelos con corridas de simulación estadística, para su posible interferencia. En base a estos resultados se toma la decisión sobre la holgura que por diseño deberían de tener los componentes involucrados en cada análisis, las decisiones tomadas sobre este punto impactan en forma directa sobre la base de la materia prima utilizada, siendo esto último; lo que nos da la oportunidad de revisar su costo-beneficio antes de llevarlo a piso. Finalmente, se pretende de una manera tangible y dentro de las limitantes del proceso hacer una corroboración mediante un prototipo con los cambios propuestos, esto permite hacer ajustes al sistema y costeo del mismo.

CAPITULO 1.

.INTRODUCCION

1.1.DESCRIPCION DEL PROBLEMA

En prácticamente todos los artículos que se manufacturan existen variaciones que si bien para el usuario pasan desapercibidos durante su uso no lo sería tanto si supieran que esto origina un costo que alguien tiene que pagar; el consumidor.

En nuestro entorno están proliferando grandes cantidades de compañías manufactureras que utilizan mucha mano de obra en las operaciones de ensamblaje, y gran parte de sus componentes viene de otras partes del mundo; esto como efecto de la globalización, en el mejor de los casos el fabricante está localizado en algún lugar cercano.

Si nos atrevieramos a señalar una área productiva con problemas difíciles diríamos que es el área de ensambles, pues es ahí donde una planeación errónea de la capacidad de proceso y una asignación equivocada de valores y tolerancias en el diseño se anidan como vicios haciendo operaciones lentas, más delicadas de lo normal, con prisas en reprocesos y sobre todo costosas en desperdicios, reparaciones por quejas de cliente o internas. Por otro lado el especificar precisiones exageradas a lo necesario, sólo originarán costos adicionales.

En el caso de los ensamblajes de los núcleos y transformadores de tipo industrial inmerso en aceite no son la excepción.

Después de contabilizar los costos, tiempos, desperdicios que se originan en el proceso se vislumbra que sería un área de oportunidad inmejorable, aún y cuando se acepta esto como una práctica común y los nuevos diseños respetan esta regla.

El problema va más allá de un simple "los fabrique según diseño" o "háganlos bien" o tal vez "si no queda pues póngale más", ni busca comprar nuevas máquinas mas sofisticadas o eliminar a mis colegas de diseño.

1.2.-OBJETIVO

Esta tesis pretende encontrar las causas de una manera científica hacia la problemática del ensamblaje dimensional entre los núcleos y bobinas de los transformadores de tipo industrial inmersos en aceite, revisando los comportamientos de los componentes involucrados durante su manufactura, diseño, variables de impacto. Además el establecer un plan de control para reducir el efecto de dichas variables, así como procesos de manufactura que nos permitan reducir la variación natural del proceso y establecer las bases y criterios de diseño que permitan una operación óptima. El resultado permitirá un ensamble más compacto, económico y con un incremento en productividad.

1.3.-HIPOTESIS

Suponemos que la interferencia en el ensamblaje es consecuencia de que el diseño no considera las variaciones naturales de los procesos de fabricación de bobinas, ni tampoco el de núcleos. Además se cree que el diseño está establecido en tolerancias arbitrarias que tal vez ni siquiera ensamblen teóricamente, más aún suponemos que carecen de un sistema de tolerancias estructurado.

Sí se parte de la base de que:

- Tanto el núcleo como la bobina son subensambles con procesos y materiales que incluyen variables internas y externas que influyen directamente en su comportamiento dimensional, entonces se podría predecir sobre la base del comportamiento de estos y de otras variables de proceso, el comportamiento total del componente fabricado y si se corrigen o disminuyen; el efecto será minimizado.

La falta de conocimiento del comportamiento natural de las variables anteriores así como del manejo de las tolerancias que se establecen dentro del diseño generan problemas desde el arranque. La implantación en el diseño de esta variación controlada, permitiría generar un diseño predecible y libre de interferencias. Osea que diseñaremos a la capacidad del sistema y no como tradicionalmente de fabricar según el diseño.

Así; **Ho será: Interferencia de ensamble = variación de diseño + variación de manufactura**

1.4.-LIMITES DE ESTUDIO

Este estudio esta limitado al ensamblaje mecánico de la bobina tipo rectangular y del núcleo tipo enrollado usado en los transformadores Industriales inmersos en aceite.

1.5.-JUSTIFICACION DEL TRABAJO DE LA TESIS

El problema del dimensionado va más allá del simple razonamiento de agrandar piezas o dejar grandes holguras entre componentes. El hacer componentes más grandes de lo debido, tiene un costo exagerado debido al alto costo de la materia prima usada en este giro, así como la alta participación de materiales en el costo del transformador. En lo técnico las holguras causarían ruidos y vibraciones nocivas para el aparato. O más aún problemas de impedancias en las Bobinas.

Tan solo en productividad del área de ensamblaje se estima incrementarla en cerca de 15 % al resolver este problema. Los desperdicios generados al remover materiales de los componentes es de cerca de $ 60,000 usd al año

El numero de fallas en núcleos por watts de fierro debido a daños por interferencias es de cerca de 12 unidades al año por $ 96,000 usd /año. Más costos de oportunidad de fabricación de unidades nuevas, que para este momento no se han cuantificado.

Se estima que él poder controlar las dimensiones y hacer un ensamble predecible ahorraría cerca de 3% de materiales lo cual representaría alrededor de $ 612,000 usd/año. Adicionalmente están las ventajas de continuidad en el flujo de producción,

menos área de piso para reparaciones o imprecisiones en reprocesos por improvisaciones.

1.6.-METODOLOGIA

Se contempla:

- Definición de la muestra.- aquí se establecerá el proceso y su puntos críticos a la calidad tanto para núcleos como para las bobinas, así como el tamaño tentativo de las muestras, diagrama de flujo, diagrama causa- efecto, analisis de modo de efecto de falla (FMEA).
- Recolección de datos.- Selección de las técnicas a emplear en piso, formatos y selección de equipo de medición , junto con su validación de capacidad; tanto en núcleos como en bobinas y aislamientos. Se usarán Gage R&R, metrología en libros de consulta e Internet, análisis multivariables, hojas de datos, técnicas Six Sigma, control total de calidad (TQC) y diseño de experimentos (DOE).
- Análisis.- Se revisaran los datos en 3 grupos: núcleos, bobinas, y aislamientos, buscando tendencias, afinidades, patrones, habilidades de proceso, de varianzas así como su integración en modelos de simulación con métodos como;. Análisis de sensibilidad , Programas Computacionales como Crystal Ball, TK Solver , Análisis de capacidad CP, Cpk, Six sigma, las 7 herramientas, Familias Tecnológicas.
- Propuestas.- Las propuestas generadas en base al análisis anterior así como a la experiencia de personal experto en la materia, serán evaluadas desde el punto de vista de la inversión que implican , así como de el beneficio cuantificado. Además se abordara el control del proceso. Nuestros recursos seran: Experiencia en manufactura, Control estadistico de procesos (SPC), Especialistas en tecnología de diseño, Diseño para seis sigma, Literatura sobre Prototipos, Evaluación de proyectos de inversión y Correr prototipos.

- Verificar.- Para comparar los beneficios del cambio presentado se usaran las siguientes técnicas: análisis multivariables, hojas de datos, técnicas six sigma, TQC, las 7 Herramientas, DOE
- Conclusiones.- Se establecerá un plan de implementacion y valoración de sus impactos, valuacion costo beneficio, gráfica de Gannt y experiencia personal.

1.7.- REVISION BIBLIOGRAFICA

El tema es abordado en dos bloques claramente definidos; la etapa introductoria a los conceptos; para la cual la mayor parte de bibliografía listada fue utilizada, sólo que los diversos autores abordan los temas desde un punto de rendimiento eléctrico, fórmulas de impedancia, fase, etc. Por lo que se ha considerado con cautela su información e integrado con datos de fabricantes de componentes y cierta experiencia de campo de estos temas por parte del Ing. Candelario Gutiérrez para que esta etapa de introducción sirva como plataforma a la segunda etapa.

En la segunda etapa de análisis de interferencia para ensamblaje mecánico del núcleo y la bobina, no fué posible localizar algún trabajo previo sobre ensamble del núcleo y la bobina en un transformador o más en general situaciones de ensamblaje mecánico, aún sin embargo la metodología de trabajo Six Sigma para resolver problemas hace un planteamiento muy general a todo tipo de problemas. Habrá que desarrollarlo a nuestra aplicación particular. Entre los recursos adicionales, los softwares utilizados son sólo herramientas de aplicación para agilizar el accionamiento de la lógica a seguir, y la experiencia en el área de manufactura de componentes como núcleos y bobinas de un servidor, la asesoría de un grupo de expertos en el área de diseño y tecnología, han permitido estructurar un trabajo metódico y específico en la resolución de este problema.

CAPITULO 2.

.CONCEPTOS GENERALES DEL. . TRANSFORMADOR

2.1.- QUE ES EL TRANSFORMADOR

El transformador es un dispositivo eléctrico, estático, que mediante un acoplamiento magnético, transfiere energía eléctrica de un circuito de corriente alterna a otro a la misma frecuencia, pero usualmente modificando sus valores de voltaje y corriente , ya sea para elevar o reducir estos valores. La figura 2.1 muestra un transformador tipico.

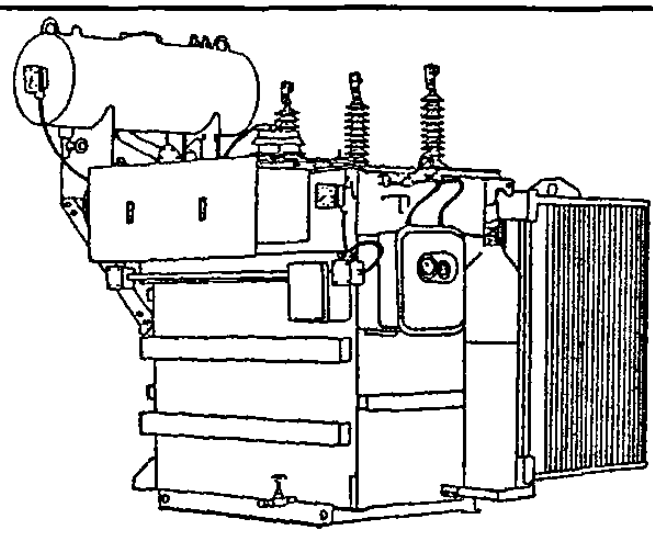


Figura 2.1 transformador típico tipo Subestacion de 5 MVA

Metafóricamente se diría que es el corazón de las redes de transmisión , que permitió la explotación comercial de la electricidad.

2.2.- HISTORIA DEL TRANSFORMADOR

A principios del siglo XIX , a raíz del descubrimiento de la corriente eléctrica producida por una pila voltaica, se iniciaron los experimentos que dieron origen a lo que hoy conocemos como transformador. La tabla 1 muestra Cronológicamente los eventos relacionados con el nacimiento del transformador y la figura 2.2 muestra los protagonistas principales de estos eventos.

Año	Protagonista	Evento
1791	Luigi Galvani	Publica el resultado de sus experimentos con piernas de rana , llamado "electricidad animal", sus trabajos llegan a manos de Alejandro Volta.
1800	Alejandro Volta	Descubre la pila voltaica
1819	Hans Christian Oersted	Descubrió que la corriente, al circular por un conductor produce alrededor de este un campo magnético y que si a ese conductor se le da la forma de una bobina el campo se hace mas intenso.
1820	El francés Dominique Arago	Conduce experimentos similares a Oersted, observando los efectos del magnetismo de la bobina al usar un núcleo de hierro suave
1820	J.S. Schweigger	Descubre el Galvanómetro
1831	Michael Faraday	Demostró que si una corriente crea un campo magnético, este produce también una corriente eléctrica, solo que en este caso el campo debe ser cambiante, creando así el concepto primitivo del transformador
1878	Thomas Alba Edison	Se forma la Edison Electric Light Company, para apoyar la promoción de sistemas de alumbrado eléctrico mediante el desarrollo de la lampara incandescente
1882	Gaulard y Gibbs	Incorporan el primer esbozo de un transformador , al adicionarlo a la red de corriente alterna, para poder aumentar la cantidad de lamparas conectadas, llamando a este dispositivo "generador secundario".
1885	Max Deri, Otto Blathy y Karl Zipernowsky	Perfeccionan el generador secundario; cambiando el núcleo abierto del generador a núcleo cerrado, llamando al resultado de esto "transformador" y vendieron su patente a George Westinghouse
1886	George Westinghouse	Funda la Westinghouse Electric Company para dar empuje a la aplicación del sistema de corriente alterna, comisionando a William Stanley, para el desarrollo del transformador aplicándolo por primera vez en Great Barrington, Massachusetts

Tabla 1 Cronología del nacimiento del transformador.

George Westinghouse
Fundador de Westinghouse Electric Co.
Postuló el uso de los sistemas de corriente alterna (AC) en las líneas de distribución, lo cual detonó el desarrollo del transformador

Thomas Alba Edison
Fundador de General Electric Co.
Postuló el uso de los sistema de corriente directa (DC) en las líneas de distribución. La decisión de la suprema corte de jjusticia de prohibir su uso dio la ventaja a Westinghouse.

Figura. 2.2 George Westinghouse y Thomas Alba Edison

2.3.- PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR

El transformador funciona bajo el principio de inducción electromagnética , el cual establece que , para que se de la transferencia de energía, debe existir un movimiento relativo entre un campo magnético y un conductor colocado dentro de dicho campo, ver la Fig. 2.3

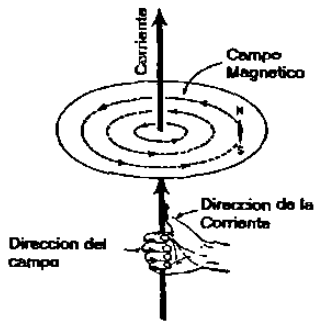


Figura. 2.3 Sentido de generación de corriente al pasar el conductor por un campo magnético.

En las plantas generadoras, la energía eléctrica es producida por un grupo de conductores que se hacen girar, mediante un motor o una turbina, dentro de un campo magnético constante.

En el transformador los conductores son fijos y lo que se "mueve" es el campo magnético, efecto que se logra produciendo el campo con corriente alterna, ver figura 2.4. Al aplicar un voltaje alterno (V1) al devanado primario, circula por este una corriente (I1) que entrega un flujo magnético oscilante ($\emptyset$). Este flujo, viajando a través del núcleo, enlaza al devanado secundario induciendo en este un voltaje (V2), que puede ser aprovechado conectando una carga (C) que demande una corriente (I2).

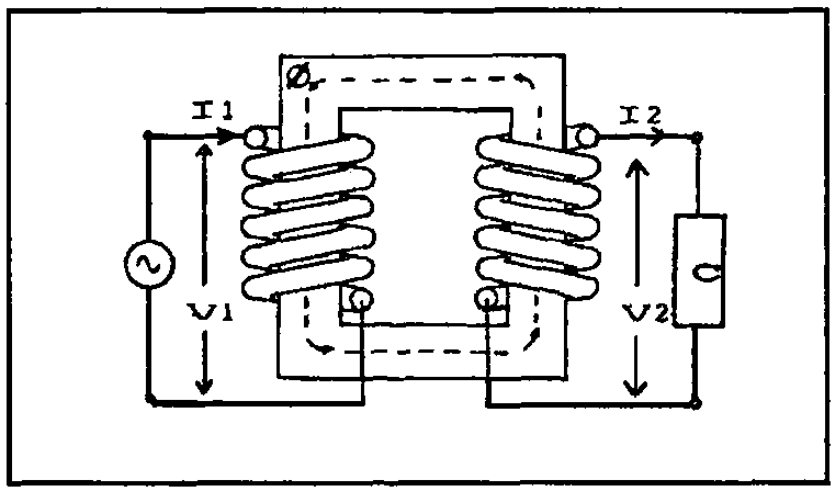


Fig 2.4 Representación Esquemática del Transformador

Para el estudio de este fenómeno se acostumbra representar los devanados primario y secundario separadamente, aunque en un transformador real los devanado están concéntricos (uno dentro del otro) para aprovechar al máximo el flujo magnético. Vease figura 2.5.

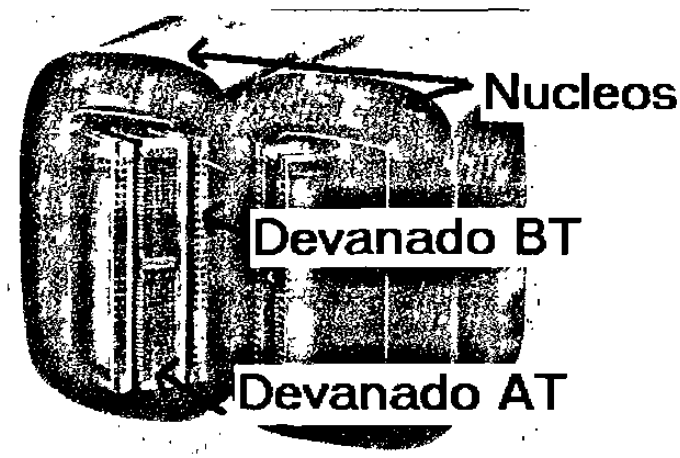


Figura. 2.5 Acomodo real de los devanados y núcleos de un transformador

En los parámetros de un transformador existen relaciones bien definidas que rigen su funcionamiento, como son:

- Su número de vueltas .-

  La relación entre el número de vueltas del primario y el secundario , es igual a la relación de voltaje del primario y el secundario. Mientras la relación de corriente entre primario y secundario es inversamente proporcional a la relación entre voltajes.

- Eficiencia.-

  Es la relación de potencia útil de salida a potencia de entrada y se expresa en por ciento. Todo aparato eléctrico consume energía o potencia de entrada, en el caso de los transformadores se llama "pérdidas" y suelen ser muy pequeñas logrando eficiencias de 98 a 99.5%

- Regulación.-

  Es la variación de voltaje en el secundario expresada en por ciento del voltaje nominal del mismo, que se produce al conectar una carga, manteniendo constante el voltaje aplicado al primario.

2.4.- ESTRUCTURA DEL TRANSFORMADOR

El transformador básico ha estado sin cambios en su estructura desde hace largo tiempo, sólo los avances en materiales de construcción han afectado su eficiencia de operación. A continuación se listan sus componentes principales.

- Tanque.-

  Es el contenedor en el cual se aísla del medio ambiente la parte activa que en realidad hace la función de transformación. Generalmente metálico de acero al carbón o de inoxidable, es quien sufre buena parte del desgaste ambiental (corrosión) o vandalismo. Básicamente contiene el medio aislante (líquido o gas), brinda seguridad a los usuarios.

- Bobina..-

  Es un enrollado de material conductor eléctrico generalmente aluminio o cobre y sus vueltas se encuentran aisladas entre sí por material no conductor, como papel, tela, o resinas. Siempre encontraremos una bobina del primario (entrada) y una del secundario (salida). La mayoría de las veces alguna será de alto voltaje y otra de bajo voltaje. La bobina es quien en realidad realiza la transformación y se podría decir que es el corazón del transformador.

- Núcleo.-

  El núcleo cumple la función de conductor del flujo magnético , evitando se disipe en el aire. El material generalmente es en base a hierro o aleaciones de este, aunque en ocasiones especiales , para electrónica se utilizan tierras raras. Para disminuir las perdidas por conducción del flujo magnéticos se acostumbra laminar el núcleo, y dejar pequeños entre hierros para evitar que se cierre el circuito eléctrico. El núcleo se dispone para pasar en el centro de la bobina y cerrar el circuito magnético en la mínima trayectoria posible.

- Aislamientos de Ensamblaje.-

  Al realizar el ensamble de las bobinas con los núcleos, el aislamiento que se aplica juega doble función; el eléctrico y el mecánico. El eléctrico depende

directamente de la naturaleza del material, es así como aparecen papeles, fibra de vidrio, resinas, madera o tela. Aunque los derivados de la celulosa de alta pureza impregnados con aceite son predominantes, el rango de temperatura de operación y el potencial eléctrico a aislar, marca la pauta de selección. En lo mecánico asegura una compactación tal que no existan grandes vibraciones, que hagan ruido o que resistan las fuerzas de corto circuito.

- Herrajes.-

  Estas partes metálicas y en raros casos plásticas, buscar dar rigidez mecánica al ensamble del núcleo-bobina-aislamiento (parte activa), sobre todo durante el manejo de proceso y para la sujeción al tanque, en transformadores de tablillas electrónicas, por su tamaño no es necesario este componente.

- Boquillas de Alta y Baja tensión.-

  Estos aisladores están construidos en material cerámico o polímero, con el fin de servir como pasa muros o paredes del contenedor tanto en alta como baja tensión, siempre que estén llenos con fluidos aislantes, en los tipos secos no es necesario.

2.5.- TIPOS DE TRANSFORMADOR

Dada la versatilidad de los transformadores , estos se clasifican tomando en cuenta diversos factores que a continuación se describen:

- Operación

  Se refiere a la energía que manejan dentro del sistema eléctrico y se clasifican por su capacidad en KVA (kilo volt ampere).

- Transformador de distribución: Los que tienen capacidad desde 3 hasta 500 kva.
- Transformador de potencia: Los que tienen capacidad superior a 500 kva.
- Utilización

De acuerdo a la posición que ocupan dentro del sistema eléctrico (ver figura 2.6):

- Transformador para generador: Son transformadores de potencia que van conectados a la salida del generador elevando el voltaje producido por este para enviar la energía por las líneas de transmisión.
- Transformador de subestación: Son transformadores de potencia que se conectan en diferentes puntos de las líneas de transmisión para reducir el voltaje a nivel de subtransmisión.
- Transformadores de distribución: Estos reducen el voltaje de subtransmisión a voltajes utilizables en zonas de consumo comercial y doméstico.
- Transformadores especiales: Son transformadores de potencia o de distribución diseñados para aplicaciones no incluidas en las anteriores y que pueden ser:
  - ✓ Transformadores para rectificador
  - ✓ Transformadores para horno de arco eléctrico
  - ✓ Transformadores desfasadores
  - ✓ Transformadores para mina
  - ✓ Transformadores para pruebas
  - ✓ Autotransformadores
  - ✓ Reguladores de voltaje
  - ✓ Reactores limitadores de corriente,etc...

El esquema de la figura 2.6 muestra la ubicación de transformadores dentro del sistema eléctrico de acuerdo a su utilización.

- Numero de Fases (vease figura 2.7)
  - Monofásicos: Contienen un devanado de baja y uno de alta tensión.
  - Trifásicos: Contienen tres devanados de alta y tres de baja tensión.
- De acuerdo a su Construcción.

  De acuerdo a la relación que guardan los devanados con respecto al núcleo en la construcción del transformador:

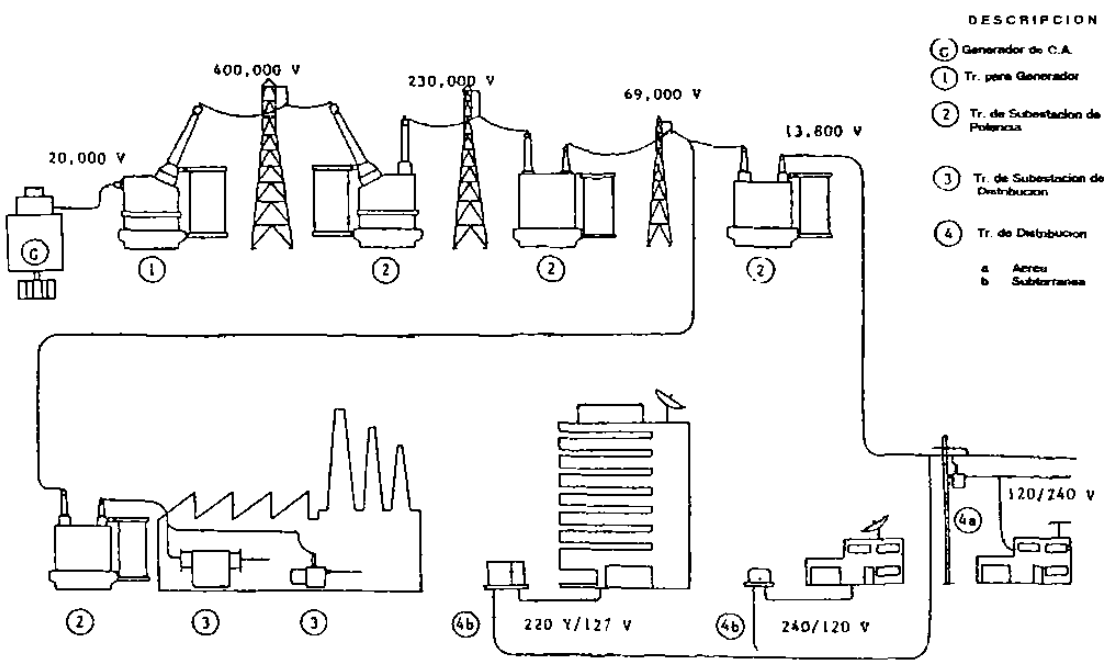


Fig. 2.6 arreglo de línea de distribución de la generación hasta el usuario.

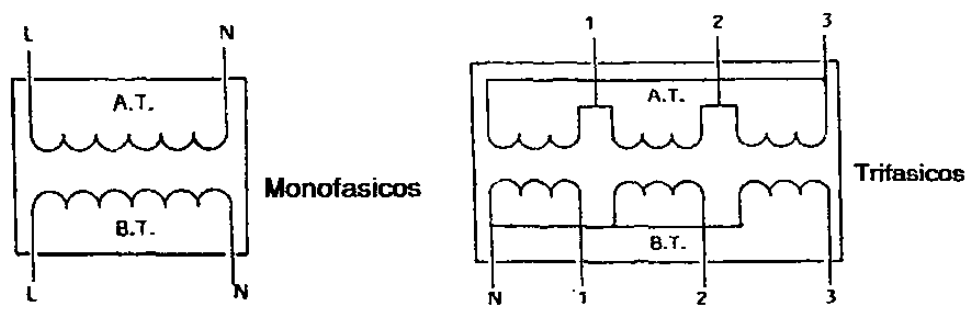


Fig. 2.7 Representación esquemática de un transformador monofasico y uno trifasico

- Tipo " Core ".- Conocido también como tipo Núcleo, en esta construcción el núcleo proporciona un sólo circuito magnético, formado por un yugo inferior, un yugo superior y 2 ó 3 columnas verticales o piernas. Los devanados son ensamblados concéntricamente en cada una de las columnas o piernas del núcleo.
- Tipo " Acorazado ".- También conocido como "Shell", aquí el devanado está en forma de anillo y los núcleos están armados sobre él, formando dos o mas circuitos magnéticos alrededor del circuito eléctrico.

➢ Enfriamiento

Dependiendo del medio refrigerante empleado para su operación, los transformadores utilizan diferentes tipos de enfriamiento en 2 categorías generales: enfriamiento natural y forzado.

- Enfriamiento Natural : Ya en operación con carga, el transformador debe ser capaz de disipar calor del aceite al medio ambiente por sus paredes, sin rebasar su temperatura de operación de diseño a carga plena de diseño.
- Enfriamiento Forzado : Aquí el transformador ha sido diseñado para operar con cierta sobrecarga , que será soportada por medio de ventiladores para disipar el calor adicional, sin incurrir en daños al aparato. Se pueden utilizar una o varias etapas de ventilación.

Adicionalmente se manejan en algunos casos, bombas de aceite para trabajar con intercambiadores de calor externos.

CAPITULO 3

NUCLEOS

Los núcleos tienen una estrecha relación con la eficiencia del aparato. Las Actuales demandas de mercado, así como el costo por unidad de potencia generada y trasmitida por las redes hacen imprescindible, reglamentar las eficiencias del transformador. Para afrontar esto los fabricantes eficientizan sus procesos y utilizan materiales que si bien son más eficientes también son más costosos.

3.1 FUNCION DEL NUCLEO EN EL TRANSFORMADOR

El núcleo cumple dos funciones importantes:

- La primera, tal vez la mas callada sea dar soporte mecánico a los delicados devanados. Debe de mantener rigidez para guardar distancias eléctricas contra tanque, puntas de conexiones internas y hasta con otras bobinas. Al producirse por alguna causa un corto en el secundario, se generan esfuerzos de repulsión entre los devanados en paquete o autocontenidos, así la bobina interior que abraza el núcleo, trata de estrangularlo, y el devanado exterior empuja los componentes laterales. Estos esfuerzos pueden llegar a ser de hasta 625 veces los esfuerzos de carga plena y es aquí cuando el núcleo debe ser reforzado con un esqueleto de acero llamado "herraje", además cumplirá la función de sujetar el ensamble al núcleo.
- La segunda función, es sin duda la más conocida e importante; conducir el flujo magnético generado por los devanados, confinándolo dentro de una trayectoria cerrada formando el circuito magnético. El material actualmente empleado para los

núcleos de bajas pérdidas se conoce como acero al silicio de grano orientado. El silicio en porcentajes de 1 a 2.5% aumenta la permeabilidad magnética e incrementa la tenacidad para corte o doblez; lo cual es algo no muy deseado. La orientación del grano hace que el flujo en esa dirección presente poca dispersión que produce pérdidas. Para la densidad de flujo que el núcleo puede manejar es importante el material usado y el área transversal que constituye al núcleo o simplemente área del núcleo. Las líneas de flujo que circulan por el material producen pequeñas corrientes que son indeseables ya que son pérdidas de Eddy. Para evitar esto se lamina el material en rangos variados que van de 0.007" a 0.011" de espesor y se aíslan eléctricamente entre si con un fosfatado o "vidriado". El material es extremadamente sensible a los esfuerzos mecánicos, lo que provoca un incremento en las pérdidas de Eddy. Durante los procesos de ensamblaje entre núcleo y bobina, la falla en las tolerancias de armado puede llevar a incrementar las pérdidas del núcleo y a incurrir en cargos de penalización por incumplimiento hasta el rechazo del transformador. Usualmente se maneja una penalización de $ 1 usd por watt excedido hasta un límite de 5 % superior al valor de garantía, los valores superiores a esto es causa de rechazo para el aparato.

3.2 TIPOS DE NUCLEOS PARA TRANSFORMADOR

Existen dos familias básicas en cuanto a su proceso de fabricación: el enrollado y el de columna, estas se muestran en la figura 3.1.

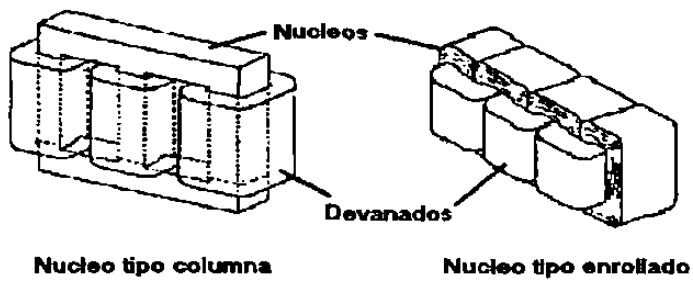


Fig. 3.1.- Núcleo de columna y enrollado en un aparato trifásico

- En el enrollado.- hacemos que una tira de laminación sea devanada en espiral y en cada vuelta se hace un corte (opcional) para permitir el ensamble con la bobina, los cortes se hacen en puntos alternados de forma que no coincidan con la anterior y además se busca que queden el menor número de cortes en la misma posición de apilamiento, para mejorar el efecto que se muestra en la saturación por los cortes. Este tipo de núcleos tiene la forma rectangular y en algunos casos redondos con el fin de buscar la geometría de ensamblaje de la bobina, esto reducirá materiales en el ensamblaje y mejorará los esfuerzos en el corto circuito, además disminuirá el ruido de operación.

  El rango práctico de aplicación de estos núcleos es desde fraccionarios de kva hasta 7.5 mva, es este tipo de núcleo en el que nos enfocaremos para el análisis de tolerancias. En algunos casos el núcleo rectangular se parte en 2 piezas simétricas para facilidad de ensamble y se le conoce como " C cores" pero aquí la eficiencia disminuye tremendamente.

  El proceso de fabricación para estas piezas es sin duda laborioso y delicado.

  - Primero se enrolla el material y se corta una vez por vuelta
  - Después se conforma geométricamente para asegurar un buen ensamble.
  - Se procede a dar un recocido para liberar los esfuerzos generados durante el corte y formado, quedando así con sus características magnéticas originales y la geometría deseada.

- En el columna.- las laminaciones serán cortadas y traslapadas para dar forma rectangular a la trayectoria del flujo magnético. Aquí el material no es forzado a tomar trayectorias diferentes a la línea recta que describe el material. El tener que hacer 1 corte por esquina por laminación lo hace mas ineficiente. Hay 2 variantes al hacer los empates o traslapes en las equinas (ver figura 3.2); traslape a 90° y traslape a 45° grados ó mitre. La gran desventaja de estos núcleos son los cortes en cada esquina, pues esto afecta a la eficiencia del núcleo. Sus beneficios son un proceso más sencillo y mejor control dimensional.

- El traslape a 90° grados esta ya casi en desuso, solo aparatos ineficientes o de diseños viejos lo usan. Esto se debe a que no aprovechan al máximo el grano orientado al hacer los empates y existe saturación en ellos.
- Traslape a 45° grados, similar al otro solo que los cortes en las esquinas se hacen a 45° grados para brindar una área de cambio de dirección de flujo mayor y a todo lo ancho del la laminación.

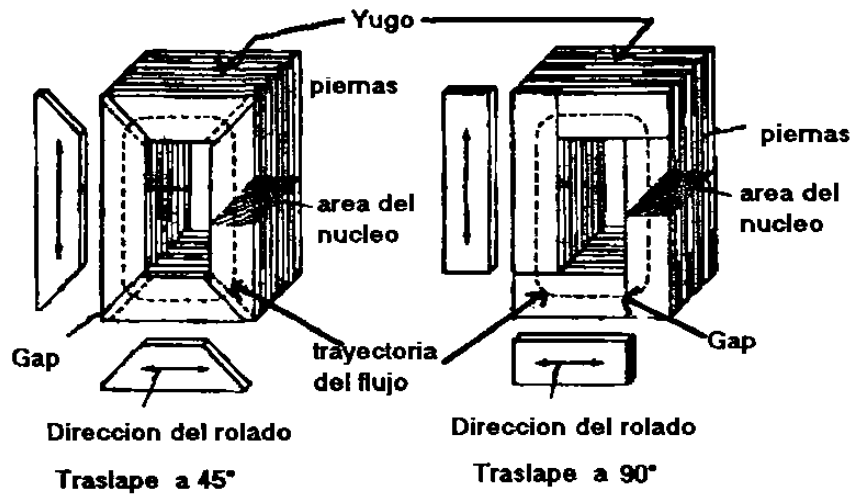


Fig.- 3.2 Tipos de traslapes en núcleos columnas.

3.3 GEOMETRIA Y PARAMETROS

Los núcleos tienen ciertos parámetros y geometría que son típicos y es necesario conocer para entender como ensamblaran con la bobina. Véase figura 3.3 y apéndice 1.

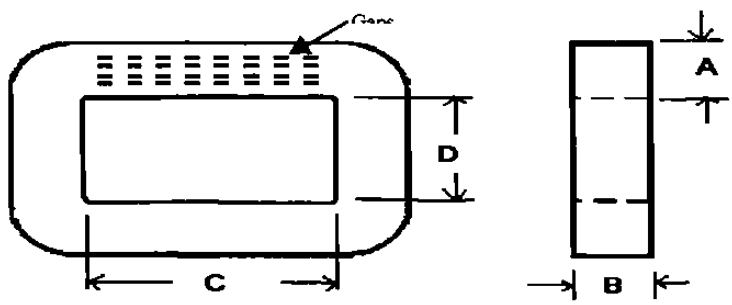


Fig. 3.3.- Núcleo tipo enrollado con sus dimensiones

Para los parámetros magnéticos se consideran básicamente dos de ellos, los watts de pérdida y la corriente de excitación que se presenta.

- Los watts de pérdida, han sido ya calculados previamente en el diseño. Se consideraron factores como el material a usar, la densidad de flujo que deberá manejar, la frecuencia, un factor de destrucción durante el ensamblaje (menor es mejor) y una área del núcleo dada por el ancho de la tira metálica a procesar y el apilamiento de dichas tiras hasta reunir un grosor en particular.

  Las variables que quedan libres son: una mala determinación del factor de destrucción por interferencia mecánica en el ensamblaje con la bobina, apilamiento de material fuera de lo especificado, deficiente tratamiento térmico para relevo de esfuerzos.

- La corriente de excitación, también es predecible y relacionada con los watts, pero en ciertos casos el material aislante puede ser dañado y hacer que las laminaciones estén en corto y así elevar las corrientes de excitación, otro factor puede ser el armado defectuoso de los cortes poniéndolos en corto uno con otro o bien una apertura exagerada del corte que origina una saturación en esa región del núcleo.

- Otros parámetros como frecuencia de excitación, densidad de flujo, son considerados solo para efecto de diseño y están fuera de posibilidad de ser ajustados o variados durante su fabricación.

CAPITULO 4.

.ANALISIS DEL PROCESO DE NUCLEOS.

En esta parte nos enfocaremos más a detalle al núcleo enrollado quien es el más complicado de fabricación y presenta un 97% del volumen de ensamblaje dentro del rango de exploración hasta 7.5 mva.

4.1 MAPA DE PROCESO E IDENTIFICACION DE CTQ´s

En la fig. 4.1 observamos el diagrama de proceso que nos indica los pasos de fabricación de núcleos enrollados y en la tabla 2 se complementa la información resaltandose los puntos criticos a la calidad (CTQ´s).

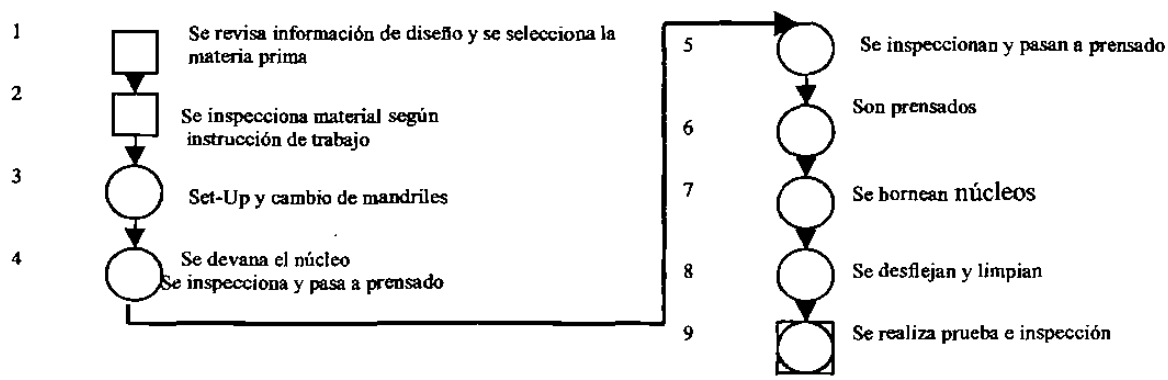


Fig. 4.1 Diagrama de flujo de fabricación de núcleos enrollados

ENTRADAS	CONTROLES	PASO	PRODUCTO	CTQ'S DIMENSIO-NALES
* Información de diseño para núcleos.	* Seguir especificaciones de diseño. No. de orden y consecutivo.	1- SE REVISA INFORMACION DE DISEÑO Y SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA	* Materia prima seleccionada.	
* Lámina sin empaque.	* Inspección acorde a especificaciones.	2.- SE INSPECCIONA MATERIAL SEGUN INSTRUCCION DE TRABAJO.	* Materia prima aprobada o rechazada.	* "B "
* Información de diseño. * Mandriles. * Herramienta.	* Seguir especificaciones de manufactura (IT).	3- SET-UP Y CAMBIO DE MANDRILES	* Máquina ajustada. * Mandril montado.	
* Lámina montada en el desenrrollador.	* Inspección visual según proceso de fabricación.	4.- SE DEVANA EL NUCLEO	* Dona de acero al silicio según diseño.	* " A "
* Dona de acero al silicio. * Identificar con orden y consecutivo.	* Verificar espesor con vernier. * Peso con báscula.	5.- SE INSPECCIONA Y PASAN A PRENSADO	* Pieza aprobada o rechazada e identificada.	* " A "
* Dona aprobada. * Fleje. * Centros y placas. * Herramientas Neumaticas	* Prensa en buen estado. * Dona montada adecuadamente.	6.- SON PRENSADOS	* Núcleo formado.	" C " y " D "
* Núcleos prensados.		7.- SE HORNEAN NUCLEOS	* Núcleos horneados.	
* Herramientas. * Núcleos fríos.	* Herramientas en buen estado.	8.- SE DESFLEJAN Y LIMPIAN	* Núcleo desflejado.	
* Núcleo desflejado.	* Espesor adecuado. * No maltrato de lámina.	9.- SE REALIZA PRUEBA E INSPECCION	* Núcleo aprobado o rechazado.	

Tabla 2 Mapa de Proceso del Núcleo tipo enrollado

Revisando el mapa de proceso en consenso con el personal del proceso se destacan los críticos a la calidad de la dimensiones (CTQ´s); de las cuales "B" no es afectable durante el proceso y la precisión es de ± 0.025 mm .

Las dimensiones a medir son:

- Espesor, literal A
- Interior de núcleo, literal C
- Interior de núcleo, literal D.

4.2 SISTEMA DE MEDICION.

Aquí se pretende presentar un método de medición y a la vez validarlo, para que la variación de las lecturas de las variables anteriores sea imputable al proceso en su mayoría.

4.2.1 METODO ACTUAL

Actualmente se miden las siguientes variables con el siguiente método

- Espesor Vernier
- C,D (interior de ventana) Flexómetro

Para hacer la validación de estos métodos de medición se correrá un Procedimiento llamado "Gage R&R ", que en bases estadísticas determina la variación debida a operador, instrumento, piezas. En este procedimiento si indica una variación mayor imputable a la pieza; el método será bueno, pues no hay variación imputable al operador o instrumentos. Empezaremos con seleccionar una base de 15 piezas como mínimo, dichas piezas serán identificadas y presentadas aleatoriamente a los operadores (3 de ellos) y cada uno de ellos deberán en 3 sesiones diferentes tomar las medidas de la misma pieza; sin que se percaten de esto ya que se predispondrían a dar el mismo valor. La tabla 3 muestra los valores colectados para el metodo con vernier y la tabla 4, la recoleccion de datos para el flexómetro.

RECOPILACION DE DATOS PARA ESTUDIO GAGE R AND R

Método de Medición: **Vernier** Unidades: **mm**

Evalua: **CANDELARIO GUTIERREZ**

# de núcleo	orden del núcleo	inf de diseño	OPERADOR: A. CRUZ			OPERADOR: SAUL HDZ.			OPERADOR: JUAN BUSTOS		
		Espesor	Test 1	Test 2	Test 3	Test 1	Test 2	Test 3	Test 1	Test 2	Test 3
1	pj163	120.0	187.9	187.4	186.4	119.5	121.2	119.8	121.0	120.2	120.5
2	pj163	120.0	184.9	185.2	186.5	122.5	122.6	123.7	121.6	121.6	121.7
3	s566	199.0	288.5	288.8	288.0	201.3	201.4	201.8	202.8	202.6	202.8
4	pj163	120.0	184.8	184.9	184.8	120.3	120.8	120.9	120.7	120.7	120.7
5	is28	174.0	245.3	247.4	246.9	173.6	173.3	173.1	173.2	173.3	173.3
6	p507	108.0	186.3	187.2	186.0	108.6	108.1	108.8	108.5	108.5	108.5
7	is28	174.0	245.9	245.7	245.2	174.9	174.2	174.9	174.0	174.0	174.1
8	p567	108.0	185.5	187.0	185.4	108.8	108.7	108.7	108.3	108.3	108.3
9	p507	108.0	184.9	187.1	185.3	109.5	109.3	109.4	110.0	110.0	110.1
10	is110	158.0	250.2	249.1	249.5	163.9	165.1	163.0	163.6	163.6	163.7
11	is13	150.0	247.6	250.8	247.8	150.6	150.9	150.8	149.9	149.9	149.9
12	pj26	126.0	208.8	207.7	208.8	129.6	131.4	129.1	129.3	129.4	129.4
13	is25	138.0	227.0	228.0	228.0	138.4	138.6	138.3	138.3	138.3	138.4
14	is25	138.0	230.0	227.6	229.1	139.0	138.5	138.2	139.1	139.1	139.0
15	is25	138.0	228.8	227.5	227.7	138.8	138.7	138.2	139.2	139.2	139.3

Tabla 3 Datos de fabricación de Núcleos colectados para Gage R&R, para validar el vernier

RECOPILACION DE DATOS PARA ESTUDIO GAGE R AND R

Método de Medición: **Flexómetro** Unidades: **mm**

Evalua: **CANDELARIO GUTIERREZ**

# de núcleo	orden del núcleo	inf de diseño	OPERADOR: A. CRUZ			OPERADOR: SAUL HDZ.			OPERADOR: JUAN BUSTOS		
		" C "	Test 1	Test 2	Test 3	Test 1	Test 2	Test 3	Test 1	Test 2	Test 3
1	pj163	420	423	424	424	422	423	423	423	422	422
2	pj163	420	424	424	424	424	423	424	424	424	425
3	s566	703	707	707	708	706	706	708	707	708	708
4	pj163	420	424	423	423	424	424	423	423	424	424
5	is28	602	607	607	607	607	606	606	606	606	607
6	p507	378	378	379	378	378	378	378	378	379	378
7	is28	602	609	609	608	609	608	609	609	609	609
8	p567	378	379	380	380	381	380	380	379	379	379
9	p507	378	383	384	384	383	383	383	384	384	384
10	is110	870	876	875	876	876	875	875	876	876	875
11	is13	525	528	528	529	528	528	528	529	528	529
12	pj26	441	454	454	453	453	454	452	453	453	453
13	is25	483	484	485	483	484	485	485	484	484	484
14	is25	483	488	487	487	488	488	488	487	488	487
15	is25	483	487	486	487	486	486	485	486	486	487

Tabla 4.- Datos de fabricación de Núcleos colectados p/ Gage R&R, p/ validar Flexómetro.

En base a los datos levantados se harán los siguientes análisis.

Se utilizara el programa estadístico de Minitab para correr los resultados; primeramente se analiza el uso del flexometro, los resultados se muestran en la figura 4.2.

Reporte Gage R&R

Fuente	%Contribución
Total del Gage R&R	4.65
Repetitibilidad	3.72
Reproducibilidad	0.94
operador	0.04
operador*pieza	0.90
Pieza-a-Pieza	95.35
Variacion total	100.00

Numero del discriminante = 6

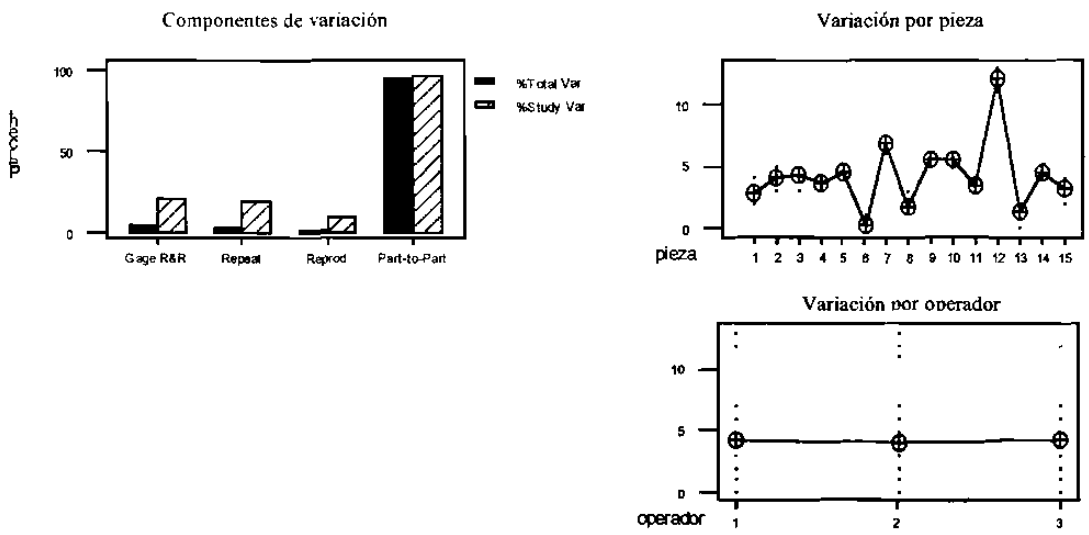


Fig. 4.2 Reporte Gage R&R para Flexometro.

En la interpretación de los resultados notemos que para el caso del flexometro si hay normalidad según la prueba de Anderson- Darling.

Con un valor de P = 0.001. Recordemos que valores P> 0.005 no son normales.

Además la tabla muestra un valor del Gage de 4.65 % de contribución lo cual es bueno, el límite es de 13 %, y se vé que la variación entre operadores y método son muy pequeñas, dejando más del 95 % a la variación de pieza a pieza; es decir variación en la manufactura de las piezas, que en realidad es lo que se quiere detectar. El número de discriminante es 6, siendo el mínimo 4, referente a la habilidad del instrumento de detectar las mediciones. El método es válido con el flexómetro.

Ahora se analizará lo referente al vernier, auxiliandonos con la figura 4.3.

Gage R&R para vernier

Fuente	%Contribucion
Total del Gage R&R	21.38
Repetitibilidad	10.68
Reproducibilidad	10.70
operador	2.43
operador*pieza	8.27
pieza-a-Pieza	78.62
Variacion total	100.00

Number del discriminante = 3

Gage R&R (ANOVA) espesor

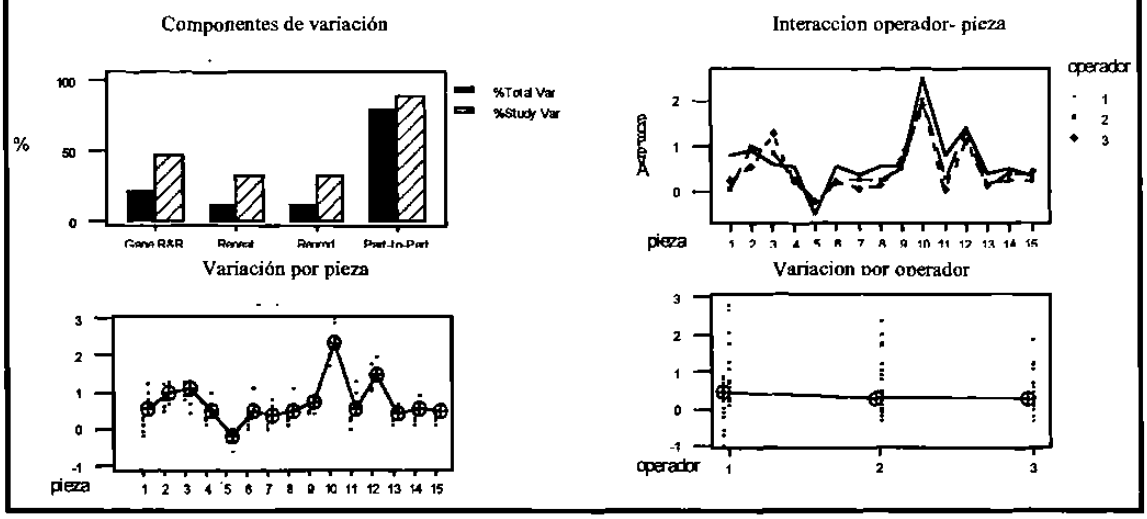


Fig.- 4.3 Reporte de Gage R&R para Vernier

La conclusión es que el vernier no es un sistema de medición aceptable, ya que una buena parte de la variación obtenida se debe al instrumento en si y otro tanto es por concepto del procedimiento (operador).

La prueba de normalidad salió positiva, con P = 0.000 .La variación por piezas es de 80 % y 10% del instrumento y 10% por el procedimiento del operador. En la gráfica por operador se ve que el operador # 1 está un poco más alto que los demás, esto puede indicar una deficiencia en esta persona, tal vez por entrenamiento.

Este método en conclusión no es satisfactorio. Se tiene que proponer otro y validarlo. Como comentario adicional en la gráfica por piezas, se observa que hay mucha variación entre ellos, más se validaran .Existe una regla empírica que sugiere tomar un instrumento con una capacidad de medición de 1/10 parte del rango donde se pretende medir como mínimo. El vernier analógico cumple con este criterio, pero su uso presenta un grado de dificultad superior, para lo cual se buscará evaluar el vernier, pero ahora de tipo digital; esto sin duda mejorar la repetitibilidad pues elimina el grado de error en lectura del operador. Así mismo como otra acción, se esta especificando un punto en particular de la pieza a medir; esto debido a que la pieza presenta un abultamiento en el área de los entre hierros, y en esta área realizó las mediciónes el operador # 1, mientras los otros hacían mediciones en el área opuesta. Finalmente se explicaron y documentaron los acuerdos establecidos, se llevó a práctica un par de días y con dicha variante ya implementada se obtienen los resultados de la tabla 5:

RECOPILACION DE DATOS PARA ESTUDIO GAGE R AND R

Método de Medición: **Vernier- corrida II** Unidades: **mm**

Evalua: **CANDELARIO GUTIERREZ**

# de núcleo	orden del núcleo	inf de diseño	OPERADOR: ARTEMIO CRUZ			OPERADOR: SAUL HDZ.			OPERADOR: JUAN BUSTOS		
		Espesor	Test 1	Test 2	Test 3	Test 1	Test 2	Test 3	Test 1	Test 2	Test 3
1	is22	22.5	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.8	22.6
2	is22	22.5	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.0
3	is22	22.5	23.9	23.8	23.8	23.8	23.9	23.8	23.9	23.8	23.6
4	is22	22.5	23.5	23.4	23.4	23.4	23.5	23.4	23.5	23.4	23.2
5	kl25	29.0	29.9	29.8	29.9	29.8	29.8	29.9	29.7	29.9	29.9
6	kl25	29.0	30.7	30.6	30.7	30.6	30.6	30.7	30.5	30.7	30.7
7	kl25	29.0	30.4	30.3	30.4	30.3	30.3	30.4	30.2	30.4	30.4
8	kl25	29.0	29.6	29.6	29.7	29.6	29.6	29.6	29.4	29.7	29.7
9	st52	76.5	77.2	77.4	77.4	77.3	77.3	77.4	77.3	77.3	77.3
10	st52	76.5	77.5	77.7	77.6	77.6	77.5	77.6	77.6	77.6	77.6
11	st52	76.5	77.8	78.0	78.0	77.9	77.9	78.0	77.9	77.9	77.9
12	S678	45.5	46.9	46.9	46.8	46.9	46.9	46.8	46.8	46.8	46.9
13	S678	45.5	47.4	47.4	47.3	47.4	47.4	47.3	47.3	47.3	47.4
14	S678	45.5	46.7	46.7	46.6	46.7	46.6	46.6	46.6	46.6	46.7
15	S678	45.5	47.2	47.3	47.2	47.3	47.2	47.1	47.2	47.1	47.3

Tabla 5 Datos recolectados De núcleos Para Gage R&R ahora con Vernier Digital

Igualmente se realizó una revisión estadística en minitab, se registron en la Fig. 4.4, interpretando los resultados se obtiene:

La prueba de normalidad es aprobada con un valor de P= 0.004, es decir la muestra es normal. La variación del estudio es de sólo el 3%, lo cual es muy bueno y su número de categorías es de 8, es decir , el instrumento es aceptable en cuanto a su capacidad de detectar las variaciones entre piezas. La variación entre dimensiones de la misma pieza del mismo operador se debe al método o bien al factor humano; organismo, cansancio, etc.. Esto implica que el 97 % de la variación de lecturas se debe a las piezas en sí. En la gráfica por piezas se aprecia una variación amplia de las mismas, deberá analizarse a fondo. Ya con el método de medición validado, se ha asegurado que la variación que se tenga al medir será atribuible a la pieza.

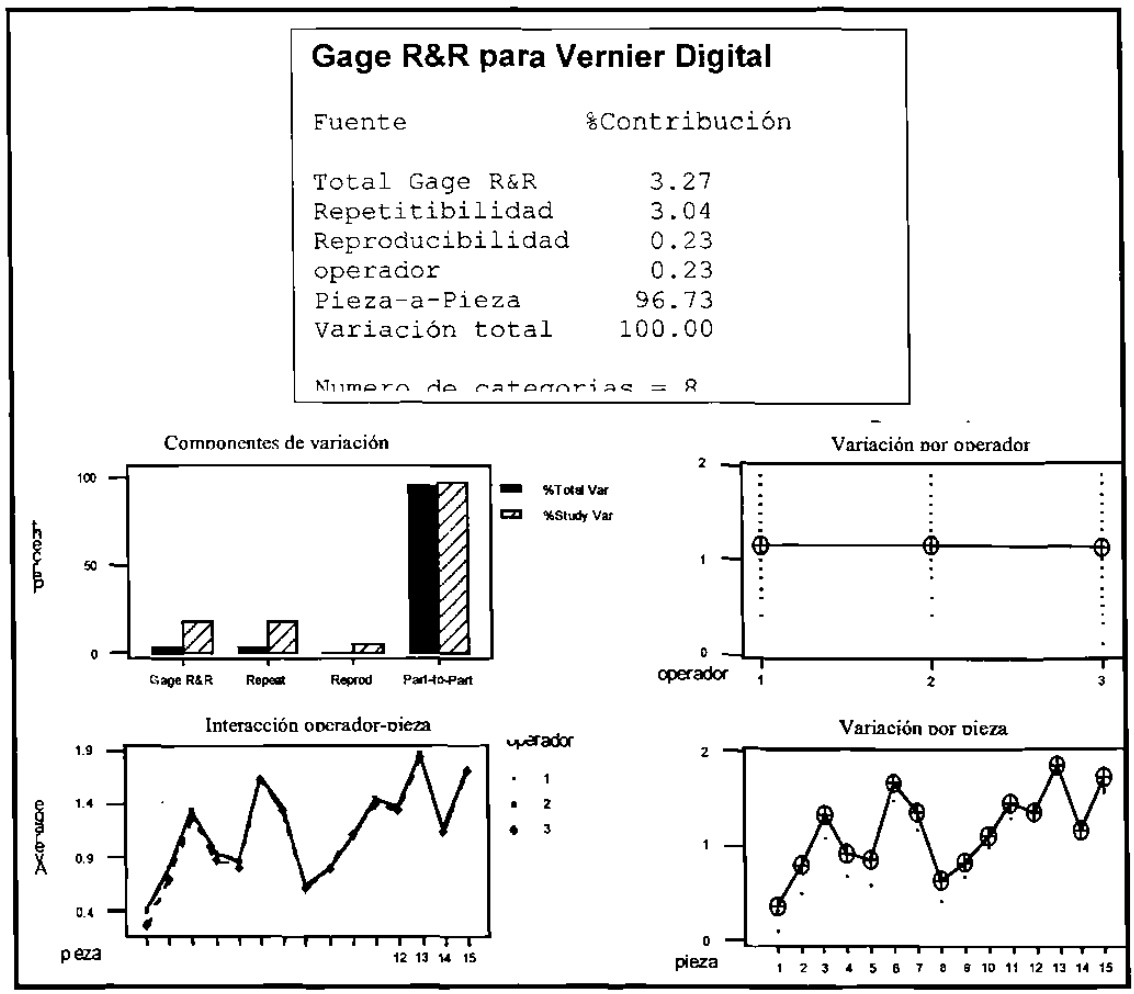


Fig.- 4.4 Reporte Gage R&R del Vernier Digital

4.3.- RECOLECCION DE INFORMACION.

Se colectará información de un lote de 25 piezas, en los parámetros críticos (CTQ's), utilizando el método ya validado para cada dimensión en el punto 3.1, hay que notar que las piezas no son todas iguales, dado que el modelo de producción para este tipo de unidades no es en serie. Para eliminar este efecto se trabajará con las variaciones entre manufactura – diseño (real - teórico) de las medidas analizadas. Los datos son tomados a lo largo de 5 días continuos, en horarios y operadores aleatorios. Los datos son presentados en la tabla 6.

4.4.- ANALISIS ESTADISTICO PARA DETERMINAR LA ALEATORIEDAD DEL PROCESO Y ESTABILIDAD DEL MISMO

Se prueba la aleatoriedad de los resultados obtenidos en el programa estadístico Minitab con la prueba de "Anderson-Darling", vease figura 4.5.

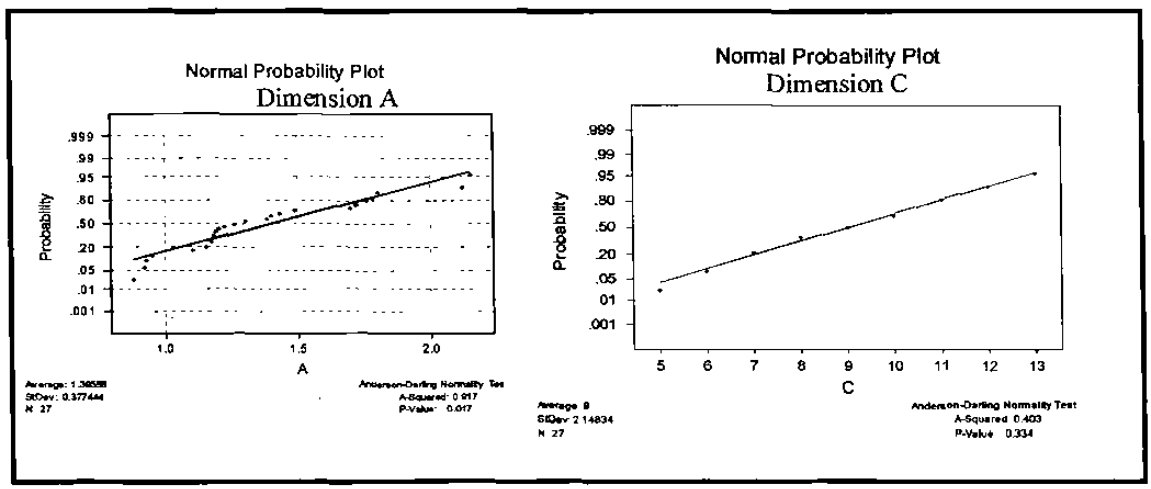


Fig.- 4.5 Pruebas de Normalidad de A y C

Genrales		Datos de Manufactura			Datos de Diseño		
orden	KVA	A	C	D	A	C	D
IH33	750	49.1	290	98	48.0	283	94
IS19	150	40.2	241	59	39.0	235	57
KS29	500	44.4	271	90	43.0	261	87
SE33	1500	59.1	326	103	58.0	313	99
SI141	3000	78.1	353	122	77.0	342	118
IH33	750	49.1	303	111	48.0	293	107
IS13	150	39.6	248	64	38.5	242	62
IF23	225	39.6	250	65	37.5	245	64
IF23	225	39.6	243	53	37.5	235	53
P103	125	35.2	230	61	34.0	223	60
P103	125	35.7	226	58	34.0	218	55
P103	125	34.9	223	60	34.0	215	57
IS13	150	39.7	238	64	38.5	231	60
IF23	225	39.6	246	62	37.5	239	61
SI141	3000	78.1	359	124	77.0	346	122
S133	7500	87.8	385	163	86.0	374	159
S133	7500	87.7	376	158	86.0	366	155
IF31	750	49.8	297	108	48.5	289	104
KS29	500	44.4	285	97	43.0	275	93
KS29	500	44.3	275	96	43.0	268	91
SE29	1500	60.2	355	126	58.5	344	123
SI141	3000	78.1	370	139	77.0	358	134
PI38	300	44.4	264	85	43.5	255	82
PI38	300	44.3	267	88	43.5	257	85
PI38	300	44.4	296	82	43.5	287	78
SE29	1500	59.9	336	111	58.5	325	106
S133	7500	87.7	370	153	86.0	361	149

Tabla 6 Datos colectados de núcleos para revisar normalidad y crear familias tecnológicas.

Al revisar las gráficas se evalúan con el valor P, el cual debe ser < 0.005; lo cual indica que es normal, para nuestro caso A, C y D no son normales (0.017, 0.334 y 0.089 respectivamente). Puede sonar lógico si se nota que hay una gran diversidad de diseños, con diferente comportamiento. Así como se evalúa no es un proceso estable en A, C y D.

4.5.- ANALISIS DE INFORMACION PARA LA CREACION DE FAMILIAS TECNOLOGICAS.

Las familias tecnológicas buscan hacer grupos de piezas, datos etc., con características afines y que a la vez los separan de los demás, indudablemente se necesita cierto conocimiento para tomar características que en realidad impacten y no agruparlas por mera casualidad. Pueden existir más de una característica para hacer familias, la persona que evalúa, considerará la más representativa. Para el caso de este estudio, se puede agrupar por tamaño ó Kva´s. Vease figura 4.6.

A continuación se presenta la gráfica de variaciones de dimensiones Vs. Kva´s

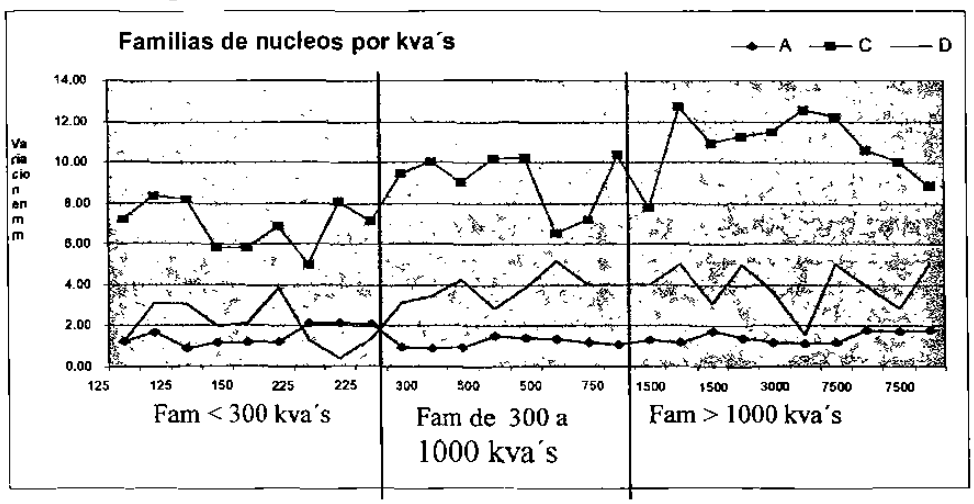


Fig.- 4.6 gráfica de variaciones A,C,D del núcleo VS. Diseño

Como se ve las dimensiones C y D marcan muy bien los cambios en los Kva´s en las familias que se marcaron, mas sin embargo A no muestra ninguna tendencia contra los Kva´s y es más constante ante los cambios de Kva´s; aunque tiene leves variaciones. Las familias quedan como se indican en la gráfica. Se vuelven a correr pruebas de aleatoriedad ahora con las familias generadas; obteniendo en familia de 300 kva´s, donde se ven menos variaciones.

C P= 0.05 D P= 0.038

Al abrir familias se tienen las ventajas de separar tendencias que si se dejan unidas aparentan caos y falta de normalidad, pero lamentablemente aún hay variaciones que no permiten que el proceso sea aleatorio. Y como ya se había comentado A queda sin estar afectada por las familias.

CAPITULO 5

ESTABILIZACION DEL PROCESO DE NUCLEOS

5.1.- DETECCION DE VARIABLES POTENCIALES

El proceso y sus familias deben estar estables; esto se reflejará en la variables. En esta etapa la experiencia de las personas del proceso juega un papel muy importante. Para cada dimensión se revisarán las variables que según los expertos pueden impactar.

5.1.1 DIMENSION A

Según los conocedores la fabricación de la pieza es totalmente manual y como tal las variables son directamente dependientes del factor humano así:

A = Posición de medición + Rango de Tolerancia + Experiencia

Esto es :

- Posición de la medición.- La posición de medición cambia el valor de la misma, dado que no se fija el criterio, el operador lo mide aleatoriamente sobre el perímetro donde se le presenta la pieza.

- Rango de Tolerancia.- Esta situación, la manipula el operador buscando cargarse hacia arriba en el rango de tolerancia, esto no es aleatorio y nunca lo será; púes están forzando a que la A tome valores de +1 a + 2 mm y ambiguamente algunos consideran correcto como meta + 1 ó + 1.5 ó tal vez +2, esto aún y cuando el proceso puede precisar ± 0.2 que es el espesor de cada laminación.
- Experiencia .- este factor contempla la práctica que tiene el operador para realizar sus labores en lo que se refiere a controlar la dimensión A; su experiencia por así decirlo. Para este caso el jefe de área sugiere que 4 semanas de prácticas son suficientes

5.1.2 DIMENSION C

Esta dimensión es afectada por las siguientes variables

C = c del molde + holgura de formado

Donde la C del molde varia con una media de +2.5 y desviación estándar (desv. Std.) +.2 según una muestra de 25 piezas tomas de los moldes. La holgura de formado es claro que queda entre la dimensión C de la pieza y c del molde al conformarlos, mediante una muestra de 15 piezas del mismo tipo, los valores oscilaron entre 0.0 a 4.2 mm, medidos con vernier. La media fue de 3.8 mm y desviación estandard de 0.3 mm.

5.1.3 DIMENSION D

Esta dimensión es afectada por las siguientes variables

D = d del molde + holgura de formado

Donde la d del molde varía con una media de + 1.6 y desv std de + 0.2 según muestra de 25 piezas tomadas de los moldes. Por lo que se ve en proceso estas dimensiones del molde son independientes entre sí. La holgura de formado es claro que queda entre dimensión D de la pieza y d del molde al conformarlos, mediante una

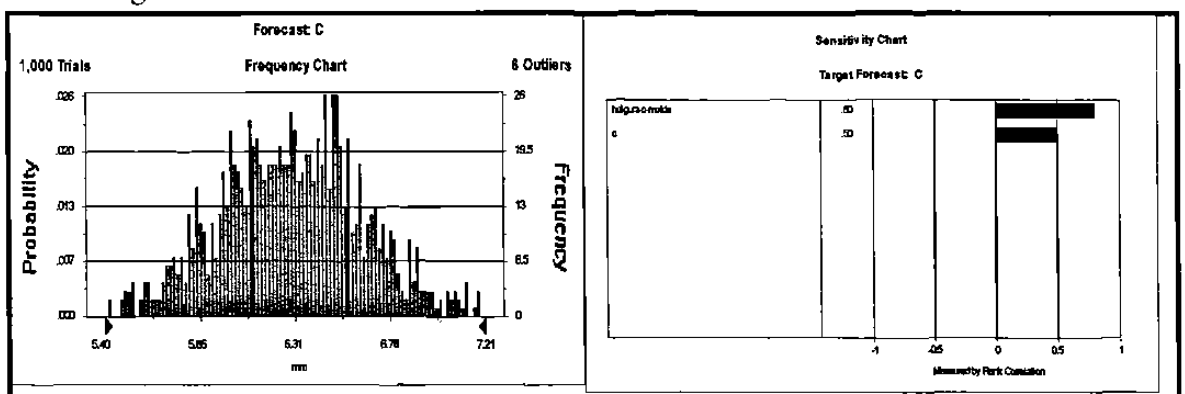
muestra de 15 piezas del mismo tipo, los valores oscilaron entre 0.0 a 3.0 mm, medidos con vernier. La media fue de 1.4 mm y desviación estandard de 0.2 mm.

5.2 ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Esta técnica demuestra como es la interacción de las variables con su salida o dimensión, esto es muy útil sobre todo cuando hay variables con una misma salida y se conoce a ciencia cierta su relación . En este caso C y D tienen una relación que se conoce y se puede valorar através de un modelo simple y para el caso de A no es así, por lo que tendrá que ser resuelto en un diseño de experimentos (DOE).

5.2.1 DIMENSION "C"

Recordemos que en 4.1.2 ,C = c del molde + holgura de formado y cada una de estas variables se les conoce su comportamiento .Para el análisis de se correrán 1,000 pruebas aleatorias en el programa "Crystal Ball", el reporte de sensibilidad se muestra en la figura 5.1:



El pronóstico de C muestra una media de 6.3 mm y una desviación estandard de 0.35

El análisis de sensibilidad muestra que la holgura tiene un impacto muy alto a favor de una C grande y la c del molde apenas si es considerada, toda correlación ≥ de 0.5 es de considerar.

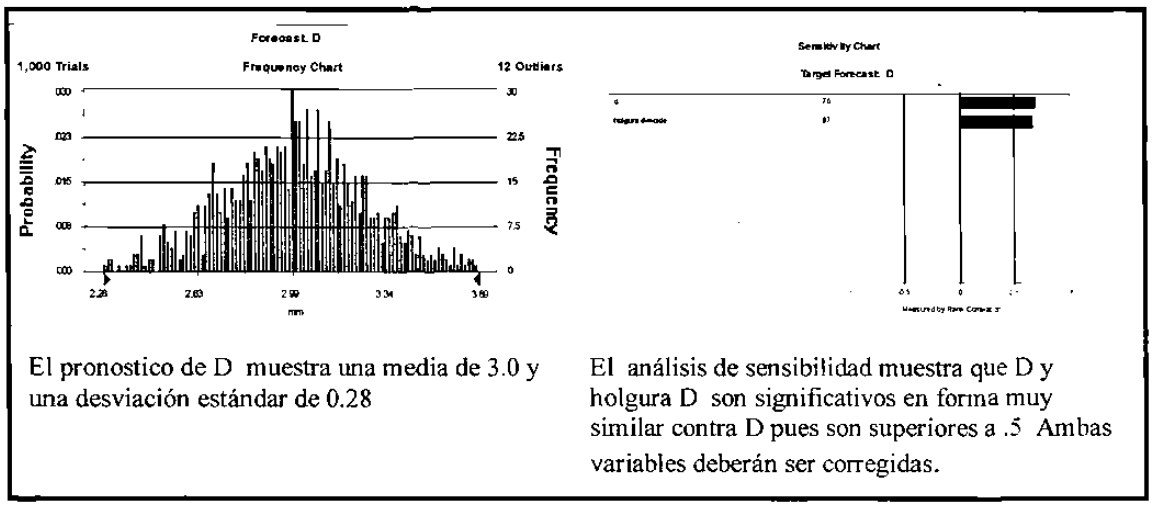
Figura.-5.1 Análisis de Sensibilidad para C

Seria conveniente trabajar con ambas variables en la mejora de C.

5.2.2.- DIMENSION "D"

Recordando del punto 4.1.3: D = d del molde + holgura de formado

Volviendo a correr un análisis de sensibilidad en "Crystal Ball" en 1,000 corridas y el resultado se observa en la figura 5.2:



El pronostico de D muestra una media de 3.0 y una desviación estándar de 0.28

El análisis de sensibilidad muestra que D y holgura D son significativos en forma muy similar contra D pues son superiores a .5 Ambas variables deberán ser corregidas.

Fig. 5.2.- Análisis de Sensibilidad para D

5.3.- DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DOE)

El experimento se ejecuta con el fin de conocer si hay o no relación entre una variable y la salida dimensional que se supone tendrá un impacto. En el caso de este estudio se ha tenido buen apoyo del personal que conoce el proceso, pues tiene años de uso; por lo que ha sido relativamente fácil el buscar la forma y magnitud de la relación con variables y salidas dimensionales. Pero para el caso de A, las variables se pueden considerar ambiguas, pues el lugar donde se debe medir, meses, años de experiencia, presión de compactación; como se miden y, ¿Afectan o no significativamente a favor o en contra la dimensión A? Para este caso se correrá un experimento que aclare esta situación, se tiene una salida A y además 3 variables. Se hará una corrida de 15 piezas donde los valores que tomaran las variables serán:

- Posición de medición : +1 cualquier lugar fuera de entre hierros, -1 en área de entre hierros
- Experiencia: a sugerencia del supervisor 5 semanas es el nivel óptimos; así +1 será 5 ó más semanas de experiencia y –1 menos de 5 semanas de experiencia.
- Rango de Tolerancia : Se refiere a el rango que se le especificará al operador como tolerancia para dar la medida A. Siendo +1 en rango de 0 a 1 mm y –1 como rango de 0 a +2 mm.

El experimento es lo que se conoce como un 2K factorial. Para eliminar un posible error , se medira 3 piezas por corrida para lo cual se genera una tabla con todos los posibles arreglos de las tres variables, se corre el experimento y se obtiene la tabla 7 con los valores encontrados.

corrida	Posicion de Medicion (-1) en entrehierros y (+1) fuera de entrehierros	Experiencia (-1) experiencia de<5 sem y (+1) experiencia de=0>a5 sem	Rango de tolerancia (+1) rango de 0 a 1 mm y (-1) rango de 0 a 2 mm	Pieza 1 Variacion de A vs. Diseño en mm	Pieza 2 Variacion de A vs. Diseño en mm	Pieza 3 Variacion de A vs. Diseño en mm
1	-1	-1	-1	2.52	2.64	2.57
2	-1	-1	1	1.6	1.72	1.63
3	-1	1	-1	1.48	1.6	1.51
4	-1	1	1	0.8	0.92	0.82
5	1	-1	-1	1.84	1.96	1.88
6	1	-1	1	0.8	0.92	0.82
7	1	1	-1	1.23	1.35	1.26
8	1	1	1	0.4	0.52	0.41

Tabla 7 Datos de Núcleos para DOE

Puede ser errático tratar de adelantar conclusiones sobre el impacto de las variables sobre la salida por lo que se correrá el análisis en Minitab, lo que se muestra en la gráfica de la figura 5.3

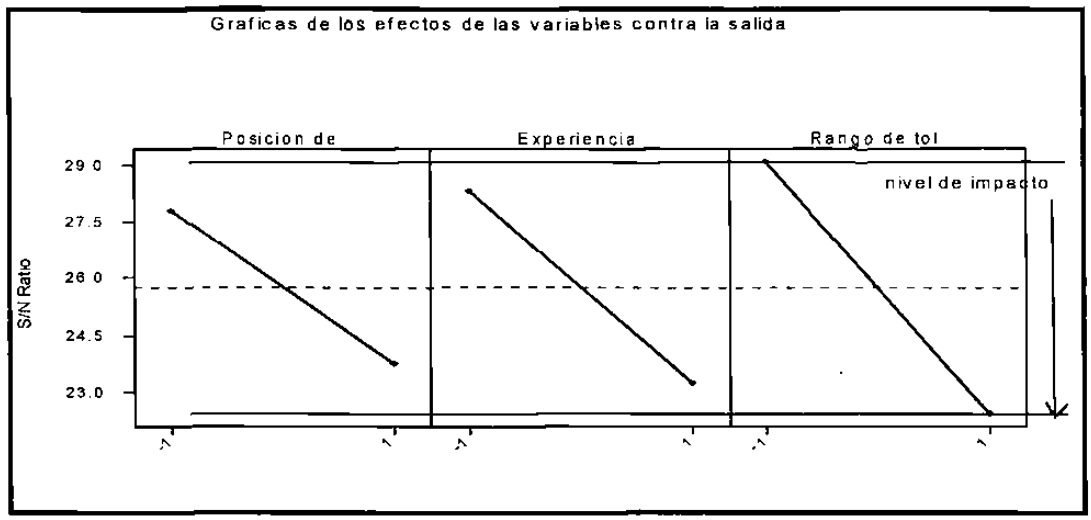


Figura. 5.3 Resultados de impacto de las variables

En las gráficas se observa como la pendiente de variación de –1 a +1 es negativa , en todos los casos lo que demuestra que la posición +1 es buena para reducir la variación en A. La longitud de pendiente en la escala de relacion "S/N Ratio" indica qué tanto impacta c/u, así pues Rango es la variable de más impacto, le sigue experiencia y luego posición; habrá que mejorar dichas variables si se pretende mejorar A.

5.4.- ESTABLECER ACCIONES PARA REDUCIR EL IMPACTO DE LAS VARIABLES INVOLUCRADAS.

Ya que se tienen las variables relevantes se deben proponer e implementar acciones que ayuden a reducir el impacto de estas sobre la dimensión. Para esto, en consenso con un comité que conoce el proceso, se elabora una lista de actividades de mejora (vease tabla 8), la cual es priorizada e implementada.

Actividad	Variable	Dimensión Impactada
* Entrenamiento sobre proceso y parámetros de Calidad	Experiencia	A
* Sustitución de verniers analógicos por digitales	Experiencia	A
* Reducción de tolerancia de accesorios de formado de núcleo de +2 –1 a ±1 mm	c y d molde	C y D
* Reducción de tolerancia de espesor de +2 -0 a +1 – 0 mm	Limite de Tolerancia	A
* Aumentar espesor de placas de formado para C y D pasando de 3/16" a ¼"	holgura C y D	C y D
* Documentar e implementar posición de medición de A sobre área de no entre hierros.	Posición de medición	A

Tabla 8 Acciones de mejora para área de Núcleos.

Se implementarán estas acciones y se dará una pausa de 2 semanas para permitir que los cambios no originen lecturas erróneas.

5.5 VERIFICACION DE CONTROL.

Ahora se necesita constatar que los cambios han sido efectivos, de lo contrario se tendrá que repetir el proceso de estabilización, buscando nuevos comportamientos de las variables. Así pues se tomarán nuevamente muestras por 25 unidades y se revisará su comportamiento; media, desviación estandard, las graficas se muestran en la fig. 5.4

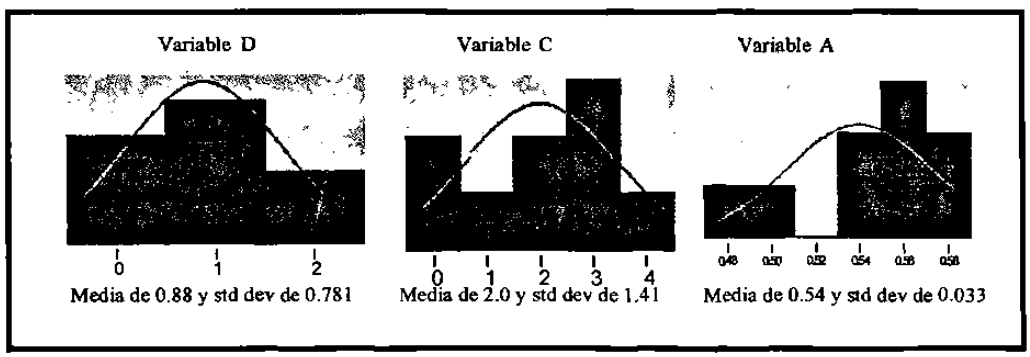


Figura .- 5.4 Familia de núcleos < 300 kva´s

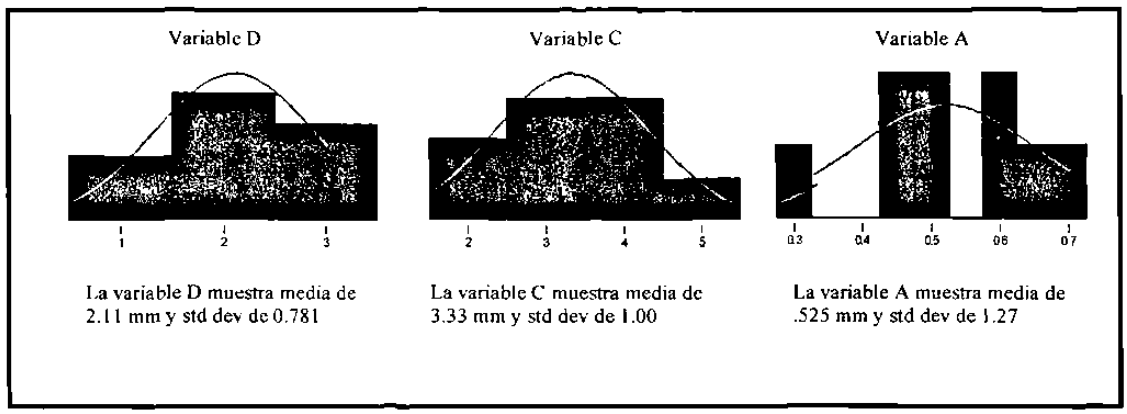


Figura 5.5 Familia de núcleos de 300 kva's hasta 1000 kva's

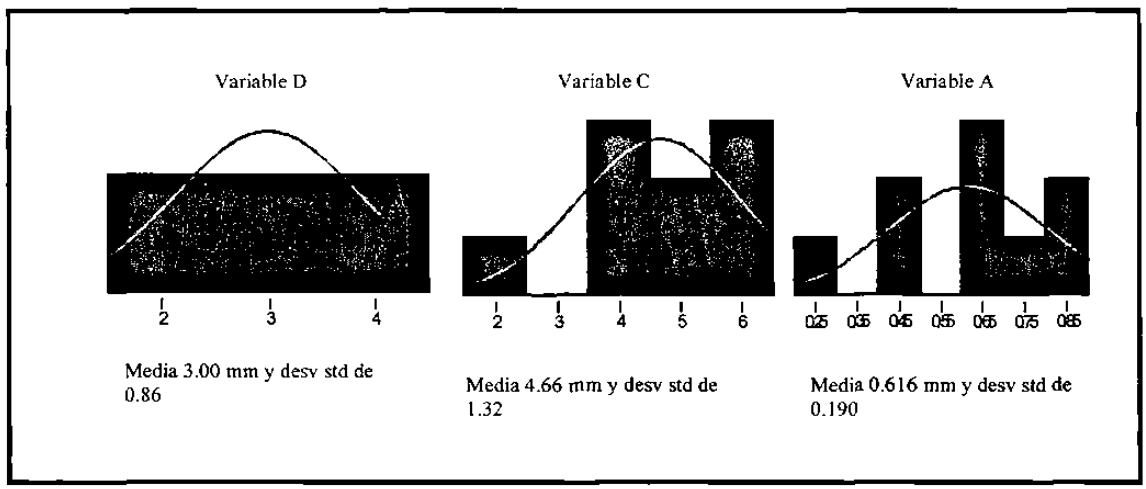


Figura 5.6 Familia de > 1000 kva's

Observe como en las gráficas 5.4, 5.5 y 5.6 las dimensiones A, C̀ y D han reducido aún más su media y su desviación estandard con los ajuste y criterios de familias formados. Esto será particularmente bueno al buscar reducir las tolerancias para un mejor ensamble.

Se está entonces listo para preparar el siguiente componente.

CAPITULO 6

BOBINAS

6.1 FUNCION DE LA BOBINA EN EL TRANSFORMADOR.

Este elemento es el más importante del transformador y es la que en sí realiza la función de transformación. Funciona como circuito eléctrico, recibe un voltaje y una corriente para entregarlos transformados por inducción, a diferentes valores. Son fabricados con conductores aislados eléctricamente y enrollados sobre moldes. Los conductores más comunes son el cobre, en primer lugar, para toda la variedad de capacidades y aluminio para bajas capacidades, en lámina o alambres. Estos conductores tienen una resistencia al flujo eléctrico, lo cual origina perdidas llamadas de "devanados". Al operar con carga el devanado se calienta y necesita ser enfriado por un fluido refrigerante, siendo la temperatura un aspecto importante de su operación.

La bobina eléctrica debe de ser concebida con la mezcla óptima de los siguientes criterios:

- Suficiente esfuerzo dieléctrico a diferentes voltajes así como a los rayos.
- Ventilación adecuada.
- Esfuerzo mecánico adecuado.
- Bajo costo.
- Especificaciones máximas de perdidas.

6.2.- TIPOS DE BOBINAS PARA TRANSFORMADOR

6.2.1.- SEGUN SU CAPACIDAD

La capacidad de la bobina se referencía a los kva (kilo volt ampere) para los cuales ha sido diseñado el aparato en sí. Estos valores están estandarizados a: 5, 10, 15, 20, 25, 40, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 225, 300, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 500, 3000, 5000, 7500, 10000 kva.

6.2.2.- SEGÚN SU VOLTAJE EN ALTA TENSION (AT)

Esta clasificación se refiere a los niveles de voltaje para los cuales ha sido diseñado en su operación, aunque pudiese existir un cierto valor determinado de voltaje en línea, se acostumbra manejar el valor próximo de la clase de voltaje superior para diseñar. Los valores de alta tensión (AT) los especifica el cliente, sabiendo de antemano que voltaje tienen las líneas a donde se conectará el transformador. Así los más comunes son: 7200 v, 13,500 v, 23,500 v y 34,500 v, existen niveles superiores e inferiores de voltaje los cuales caen fuera del rango de los transformadores del estudio.

6.2.3.- SEGÚN SU VOLTAJE EN BAJA TENSION (BT)

Esta clasificación es la contra parte de la anterior clasificación, el voltaje que el cliente desea obtener en la salida, 220/440 son los más comunes trifásicos, aunque en los monofásico tenemos el 110/220 v y en general se puede obtener cualquier valor que el cliente especifique para alguna aplicación en especial.

6.2.4.- SEGÚN SU CONSTRUCCION INTERNA.

Se consideran materiales, forma del conductor y geometría:

- En materiales se tiene cobre y aluminio, el primero es más barato y más usado que el segundo, pero el segundo ofrece mejor disipación de calor.
- La forma del conductor puede ser lámina, alambre rectángular o bien alambre redondo.
- La geometría puede ser rectángular, que será el caso de estudio, además puede existir el redondo en capas ó galletas, o bien el espiral, estas dos últimas redondas son para aparatos de gran capacidad.

CAPITULO 7

ANALISIS DEL PROCESO DE BOBINAS

7.1 MAPA DEL PROCESO E IDENTIFICACION DE CTQ´s

El proceso típico de la fabricación de bobinas se muestra a contiuación en la figura 7.1.

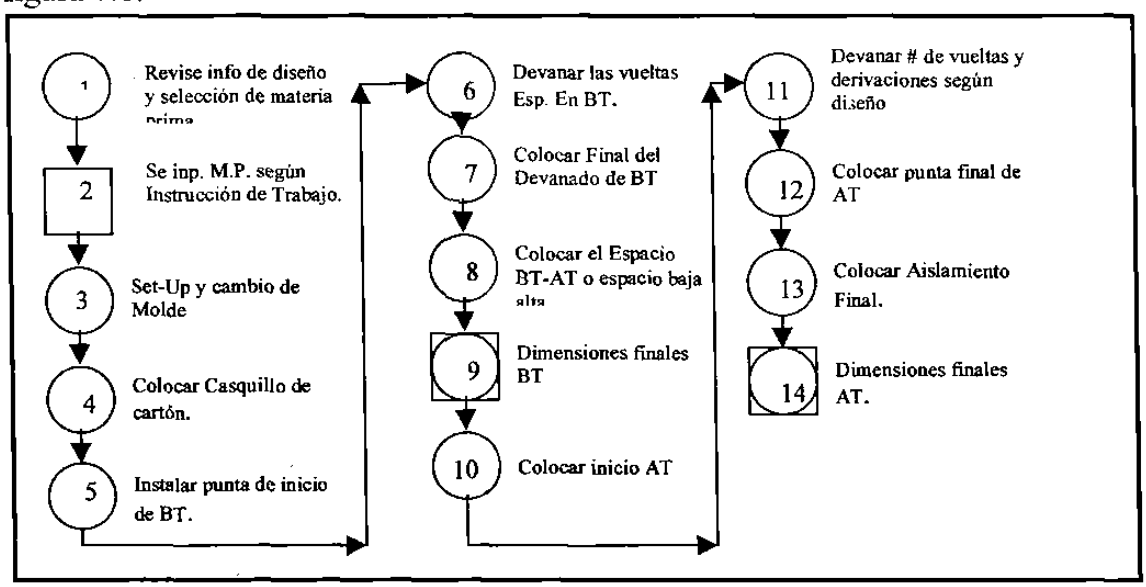


Figura. 7.1 Diagrama de flujo de fabricación de bobinas

En la tabla 9 se muestra un mapa de proceso donde aparece con información más a detalle, las entradas, controles, pasos, productos de salida y CTQ´s.

ENTRADAS	CONTROLES	PASO	PRODUCTO	CTQ'S DIMENSIONALES
• Información de diseño para bobinas.	• Seguir especificaciones de diseño. • No. De orden y consecutivo.	1- SE REVISA INFORMACION DE DISEÑO SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA	• Materia prima seleccionada.	
• Conductores y aislamientos sin empaque.	• Especificación de materiales.	2.- SE INSPECCIONA MATERIAL SEGUN INSTRUCCION DE TRABAJO.	• Materia prima aprobada o rechazada.	• LCBT y LLBT • LCAT y LLAT.
• Información de diseño. • Molde. • Herramienta. • Materia prima	• especificaciones de manufactura (IT). • Tensión de Conductor BT • Medición de molde	3- SET-UP Y CAMBIO DE MOLDE	• Máquina ajustada. • Molde montado. • Materiales montados	• LLM y LCM
• .Kit de aislamientos • máquina lista para devanar	• .Seguir espes. De manufactura • Info. de diseño	4.- COLOCAR CASQUILLO DE CARTON	• Casquillo montado.	
• Punta de inicio. • Conductor.	• Verificar espesor con cinta. • Inspección contra muestras físicas.	5.- INSTALAR PUNTA DE INICIO DE BT	• Inicio instalado, listo para devanar.	
• Casquillo y punta de inicio instaladas.	• Información de diseño. • Compactación de 1eras 2 vtas. De BT vía lista de chequeo.	6.- DEVANAR LAS VUELTAS NECESARIAS EN BT	• Bobina de BT con el numero de vueltas especificadas.	• LCBT
• Devanado de BT. • Punta Final	• Verificar esp. con cinta. • Inspección contra muestras físicas.	7.- COLOCAR FINAL DEL DEVANADO DE BT	• Devanado de BT terminado.	
• .Devanado de BT terminado • Aislam. EBA	• Info de diseño	8.- COLOCAR EL ESPACIO BT-AT (EBA)	• Bobina BT con EBA instalado.	
• Bobina BT con EBA • Flexometro y Compás	• Especificación de diseño • Formato de control	9.- DIMENSIONES FINALES BT	• Registro de dimensiones	
• Devanado BT y EBA.	• Comparar contra muestras físicas.	10.- COLOCAR INICIO AT	• Bobina lista para devanar AT.	
• Bobina con punta de inicio AT lista • Conductor AT	• Información de diseño • Tensión de Aislamiento y conductor AT	11.-DEVANAR EL NUMERO DE VUELTAS Y DERIVACIONES SEGÚN DISEÑO	• Bobina AT devanada	• LLAT y LCAT
• Devanado de AT terminado • Punta final AT	• Muestra física	12.-COLOCAR PUNTA FINAL DE AT	• Devanado AT con sus puntas	
• Devanado AT • Aislamiento	• Especificación de diseño	13.- COLOCAR AISLAMIENTO FINAL	• Bobina terminada y aislada	
• Bobina terminada • Compás y Flexómetro	• Información de diseño. • Control dimensional	14.- DIMENSIONES FINALES AT	• Registro dimensional • Bobina aprobada o rechazada	

Tabla 9 .- Mapa de Proceso de Bobinas

Los CTQ's relevantes a las dimensiones en el proceso se han remarcado para su posterior análisis. Ha sido importante el contar con un equipo de personal con experiencia en el producto.

7.2 SISTEMA DE MEDICION ACTUAL

El sistema de medición para dimensiones de bobinas, es en base a un compás de puntas de 900 mm. y un flexómetro de 3 m., escalado en mm. Las medidas se toman en forma indirecta presentando el compás contra la pieza y después se mide con el flexómetro el hueco generado entre las puntas del compás.

Se hara el mismo ejercicio conocido como "Gage R & R", pero sólo se presentan los resultados de dicho estudio, las bases son similares al ejercicio del capítulo 3 de los núcleos. Los resultados del estudio pueden ser observados en las gráficas 7.2 y 7.3.

Gage R&R

Fuente	%Contribución
Total Gage R&R	100.00
Repetitibilidad	95.88
Reproducibilidad	4.12
operador	4.12
Pieza-a-Pieza	0.00
Variación	100.00

Numero de dist. de categorias= 0

Figura 7.2 Resumen Gage R/R del uso de compás

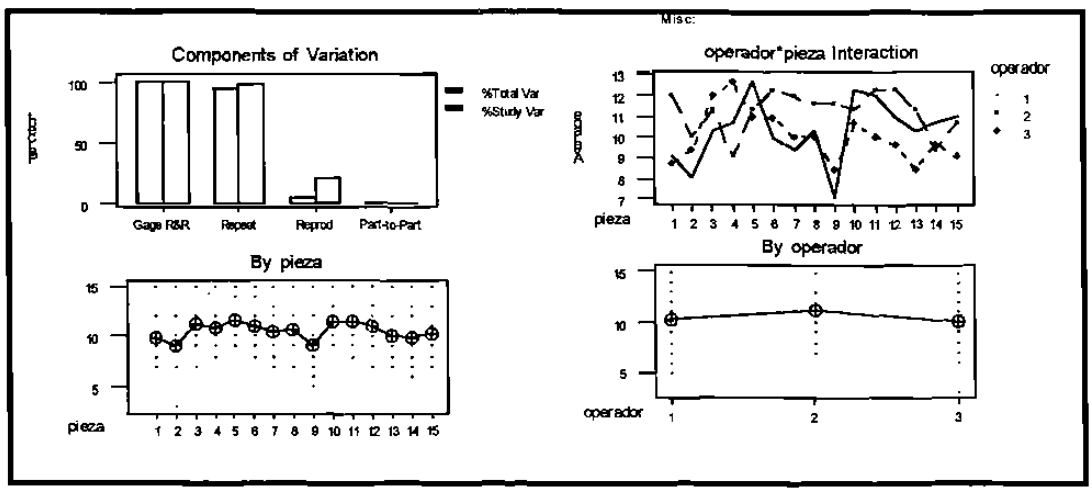


Fig. 7.3 Gráficas del Gage R&R del uso de compás.

Del a´nalisis de las gráficas 7.2 y 7.3 se concluye:

El sistema de medición por instrumento aporta el 95% de error, el 4% por el operador y no tiene variacion por pieza; es decir, el sistema es pésimo, el número de distinción de categorias es 0; es decir, el instrumento no tiene capacidad. En las gráficas de "interacción por operador" se observa un desorden completo "por operador", el 1 y 3 se ven similares y el 2 un poco alto "por pieza".

7.3 SISTEMA PROPUESTO.

El sistema debe ser cambiado, según los datos anteriores, para eso se propone el uso de Vernier con precisión de dos decimales después del punto. A este nuevo sistema de medicion se le corre su Gage R&R y los resultados se muestran en la grafica 7.4

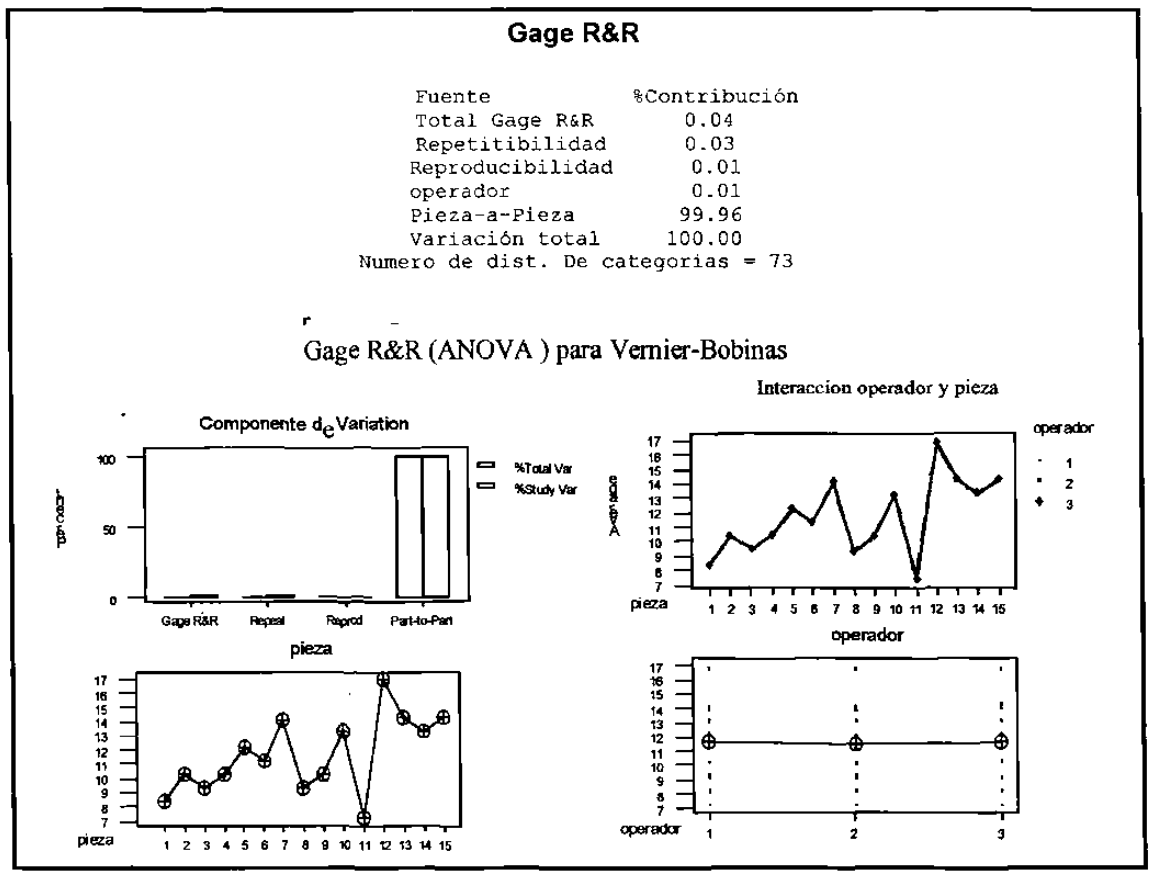


Fig.- 7.4 Reporte de Gage R&R del vernier en bobinas

En base a la gráfica de la figura 7.4 se concluye:

El método actual, junto con un nuevo instrumento y con la debida implementación a travéz del entrenamiento ha mejorado al 99.96 % de variacion a la pieza, con 73 niveles de discriminación, lo cual es excelente.

Tal vez como un ejercicio convendría en otra ocasión bajar la resolución a una decimal. La gráfica por operador muestra reproducibilidad y bastante bien los operadores entre si , dejando la variación sólo por causa de las piezas.

Método aprobado

7.4 RECOLECCION DE INFORMACION

Ya con el método de medición establecido y validado, es momento de colectar datos que nos muestren como esta el proceso de fabricación de bobinas en la actualidad. Se seguirá el mismo método utilizado para núcleos , tomando 25 muestras (vease tabla 10) como mínimo y separando estos en días, y con operadores diferentes para asegurar su aleatoriedad.

Como en el ejercicio de núcleos no siempre es posible el tomar las muestras de la misma orden, se analizarán las variaciones contra información de diseño. Las variables involucradas en las bobinas se muestran en la grafica 7.5. Las diversas abreviaciones pueden revisarse en el apendice 1.

A simple vista no dicen mucho las gráficas, en los siguientes puntos se analizará, salvo que A es estable e independiente.

					Datos de Manufactura						Datos de Diseño					
orden	KVA	MVAT	MBT	MAT	LLM	LCM	LLBT	LCBT	LLAT	LCAT	LLM	LCM	LLBT	LCBT	LLAT	LCAT
IF12	150	34.5	AL	M	166.82	52.82	238.16	123.02	323.18	208.88	165	51	234	120	318	204
IF22	225	24.5	AL	M	166.42	63.42	245.84	141.81	340.72	237.63	165	62	242	139	336	233
IF30	750	24.5	AL	S	206.88	107.88	298.26	197.78	405.99	306.57	205	106	292	193	398	299
IF41	750	34.5	CU	M	206.52	97.52	291.81	181.18	392.11	282.47	205	96	286	177	385	276
IH32	750	15	AL	S	206.20	111.20	301.64	205.22	414.33	319.01	205	110	296	201	407	312
IS12	150	15	AL	M	166.68	64.68	249.13	146.11	347.71	245.66	165	63	245	143	343	241
IS18	150	24.5	AL	M	166.76	59.76	242.14	134.07	332.09	224.91	165	58	238	131	327	220
IS28	225	15	AL	M	166.52	66.52	252.00	151.00	354.27	254.29	165	65	248	148	349	249
IS30	225	34.5	AL	M	166.52	55.52	241.90	129.79	331.85	220.63	165	54	238	127	327	216
KF23	500	15	AL	M	186.62	96.62	283.79	192.44	398.95	308.74	185	95	278	188	391	301
KF25	500	24.5	CU	M	186.38	94.38	277.46	184.08	385.19	292.87	185	93	272	180	378	286
KS28	500	34.5	CU	M	186.86	90.86	269.82	172.38	367.65	271.17	185	89	264	168	360	264
P102	125	15	AL	M	146.52	62.52	229.78	144.94	329.59	245.74	145	61	226	142	325	241
P103	125	24.5	AL	M	146.48	57.48	224.69	134.80	318.34	229.37	145	56	221	132	314	225
P105	125	34.5	AL	M	146.65	49.65	221.83	123.86	311.78	214.70	145	48	218	121	307	210
P120	300	24.5	AL	M	186.70	85.70	263.57	160.27	353.97	251.11	185	84	258	157	347	246
PI37	300	34.5	AL	M	186.62	81.62	295.97	168.47	425.99	319.13	185	80	290	165	418	313
S132	7500	15	CU	S	368.76	163.76	386.45	180.11	401.30	195.48	367	162	379	174	394	189
S181	7500	24.5	CU	S	368.42	159.42	377.99	167.47	382.94	172.59	367	158	371	162	376	167
S202	7500	34.5	CU	S	368.66	153.66	373.15	156.44	371.91	155.15	367	152	366	151	365	150
SC122	3000	15	AL	S	328.36	139.36	368.79	177.82	412.13	222.44	327	138	362	173	405	216
SC130	3000	24.5	CU	S	328.22	127.22	357.49	154.22	387.20	184.82	327	126	351	150	380	179
SE28	1500	24.5	CU	S	248.82	110.82	335.76	195.69	437.30	299.23	247	109	329	191	429	291
SE32	1500	34.5	CU	S	248.52	103.52	324.29	177.12	412.21	266.77	247	102	318	173	405	260
SI140	3000	34.5	CU	S	328.34	123.34	352.53	145.16	376.06	169.38	327	122	346	141	369	164

Tabla 10 Datos de bobinas, en manufactura y Diseño.

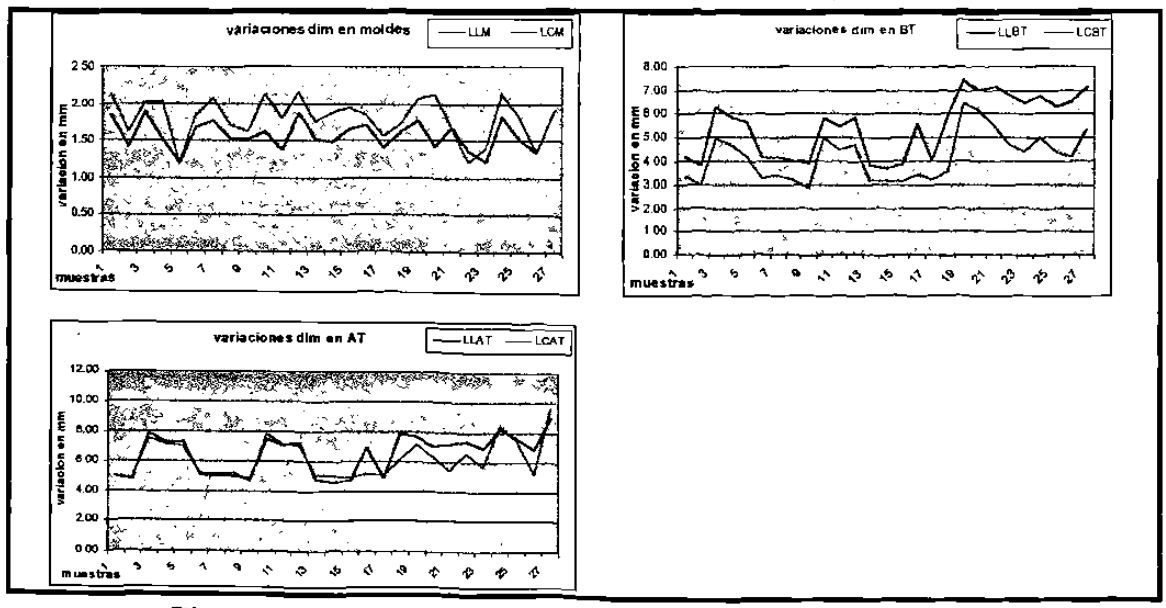


Figura.- 7.5 Gráficas de comportamiento de las variables de bobinas

7.5.- ANALISIS ESTADISTICO PARA DETERMINAR LA ALETORIEDAD DEL PROCESO.

Para revisar los datos lo que se debe saber es si es aleatorio y normalizado, para lo cual se correrá la prueba de Anderson –Darling, que muestra los valores de P

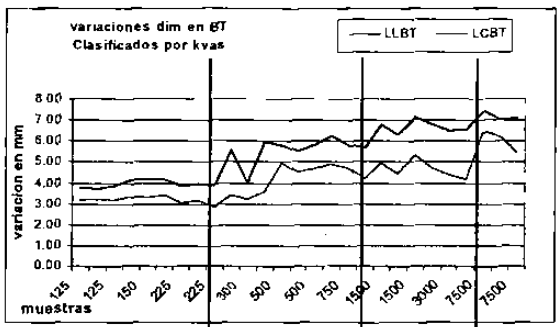
Dim	P	Dim	P
LLM	0.004	LCBT	0.000
LCM	0.002	LLAT	0.001
LLBT	0.003	LCAT	0.002

Se concluye que todos los datos son normales por presentar valores de $P<0.005$, el proceso es estable, pero hay que mejorarlo.

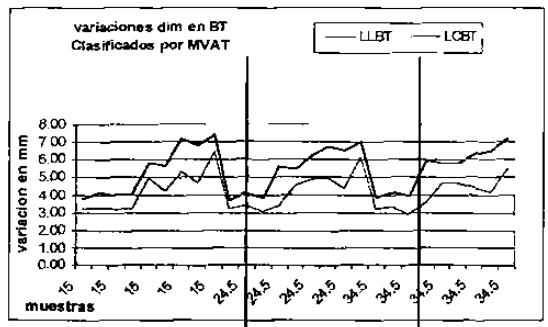
7.6.- ANALISIS DE INFORMACION PARA CREACION DE FAMILIAS TECNOLOGICAS

Como los datos son estables, el proceso también, pero no quiere decir que sea óptimo, buscando entender la variación de cada dimensión se podrá predecir su comportamiento. La creación de familias tecnológicas busca, en base a características afines, hacer un conjunto de artículos con comportamiento similar. Para el caso de este estudio los KVA, volts en AT, conductor en BT o en AT son los criterios a probar, y la representación de su afinidad menor o mayor de tal o cual característica de la familia dependerá del criterio de quien evalúa. En la gráfica 7.6 se muestran las representaciones de dimensiones de BT en cada uno de los 4 críterios para formar familias.

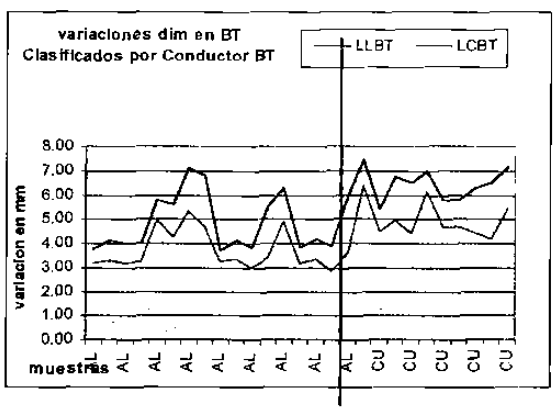
147528



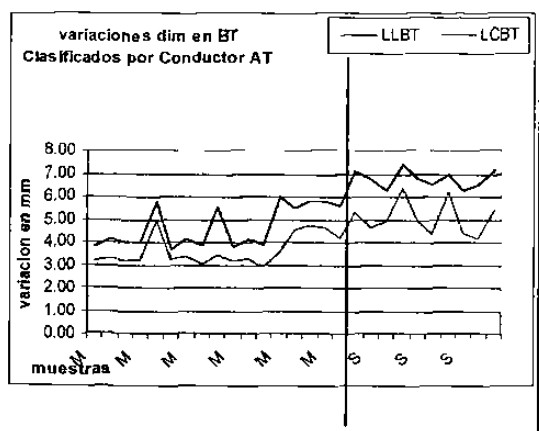
Se aprecia una tendencia entre las líneas indicadas, bastante marcadas con los cambios en los kva, veamos las demás .



Se aprecia una tendencia de 2 ciclos y en la 3era se desvanece, los cuales no son concordantes con los cambios en los mvat



No se aprecia ninguna tendencia o relación de las variaciones contra los materiale sde construcción de BT .



Se aprecia una leve tendencia según el material usado en AT, pero la logica indica que dichos eventos son independientes y por lo tanto no relacionables.

Figura 7.6 Gráficas de comportamiento de las variaciones Vs Variable.

Al revisar la gráfica 7.6, sin duda la relación con los Kvas y la variación es lo más representativo, para formar familias. Por otro lado de la gráfica de los moldes, se aprecia una variación cerrada sin importar cualquier criterio a utilizar; por lo que se concluye que es insensible a los posibles criterios de formar familias.

Las familias a formar serian de

- 300 kva o menores
- 301 a 1000 kva

- 1001 a 1500 kva
- 1501 a 3000 kva
- 3001 o mayores.

Se ve obvio que el proceso del molde es independiente del tamaño del aparato, por lo que se no se considera en las familias. Veamos en la tabla 11 como ha beneficiado el formado de familias a la variación de dimensiones que se tenía; donde xxx/xxx = media/desv std.

Dim.	Anterior	<300	301-1000	1001-1500	1501-3000	>3000
LLM	1.57/.20	**********		Sin cambio	**********	
LCM	1.8/.283	**********		Sin cambio	**********	
LLBT	5.45/1.3	4.25/.74	5.8/.28	6.72/.47	6.6/.183	7.2/.26
LCBT	4.16/1.0	3.22/.18	4.65/.28	4.86/.51	4.4/.287	6.0/.57
LLAT	6.5/1.36	5.3/1.03	7.37/.28	8.27/.77	7.1/.346	7.28/.37
LCAT	6.19/1.3	5.13/.36	7.28/.32	8.52/1.2	5.8/.792	6.3/1.00

Tabla 11. Medias y desviación estandard de las variables por familias.

Se puede observar en la tabla 11 como las desviaciónes estandard de las medidas de baja LLBT y LCBT bajan drásticamente en las familias, en las de AT, LLAT y LCAT, la causa ya es más específica apuntando en cierta familia, que necesitará ajustes.

CAPITULO 8

REDUCCION DE VARIACION DEL PROCESO DE BOBINAS.

8.1 INTRODUCCION

En este capítulo se pretende encontrar que variables influyen en las dimensiones de las bobinas, así como buscar el impacto de estas sobre la dimensión en cuestión.

La orientación en este paso de las personas que conocen el proceso es muy importante.

Se procederá en los siguientes puntos a analizar las variables críticas en la fabricación de bobinas.

8.1.1 VARIABLES LLM Y LCM

Esta dimensión depende de la medida de la placa de ensamble y de la medida de los ángulos que forman el esqueleto.

La figura 8.1 muestra las variables del molde típicas , además se aprecian los componentes, ángulos y placas.

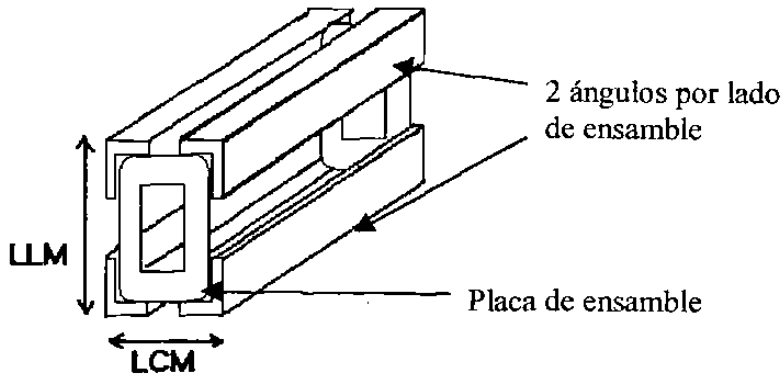


Figura 8.1 Variables de molde típico

Entonces: LLM = placa de ensamble + ángulo 1 + ángulo 2

LCM= placa de ensamble + ángulo 3 + ángulo 4

Donde cada uno de ellos es independiente.

Aquí las variables a controlar es la placa de ensamble y los ángulos.

8.1.2 LCBT Y LLBT EN BOBINAS

Variables de impacto en estas dimensiones:

- Conductores de BT
- Molde de bobina
- Compactación de primeras 2 vueltas (prácticas std)
- Tensión de conductores

8.1.3 LCAT Y LLAT EN BOBINAS

Variables de impacto en estas dimensiones, :

- Conductores AT
- Bobina BT
- Tensión de conductores

8.2 ANALISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad será corrido en el programa "Crystal Ball", en el cual se incluirá cada una de las dimensiones de las bobinas con sus respectivas variables en un arreglo que explique su comportamiento. A la vez se necesita conocer el comportamiento de las variables en cuestión

8.2.1 LLM Y LCM

Las dimensiones quedan relacionadas a sus variables de la siguiente forma:

LCM= placa de ensamble +ángulo 1 + ángulo 2

LLM =placa de ensamble + ángulo 1 + ángulo 2

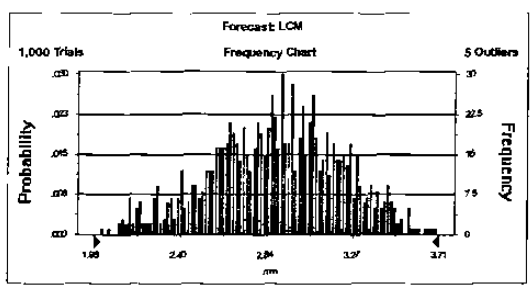
Donde los ángulos 1 y 2 no son el mismo, pero tiene un comportamiento estadístico dentro de la misma familia.

El comportamiento estadístico de cada variable es encontrado por 25 muestras de cada uno y evaluando en el programa de Minitab su comportamiento tenemos que:

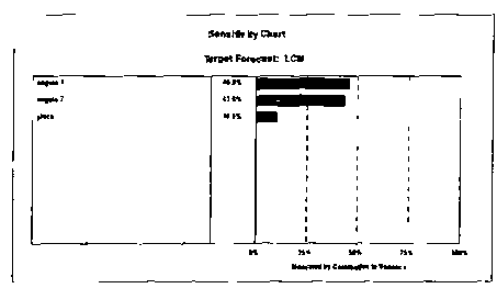
- Placa ensamble Media de + 0.5 mm /std dev de 0.10 / distribución normal
- Angulos c/u Media de + 1.2 mm/ std dev de 0.22/ distribución normal

En crystal bowl se corre un análisis de sensibilidad para determinar que impacto tienen

Los resultados se aprecian en las gráficas 8.2 y 8.3 .

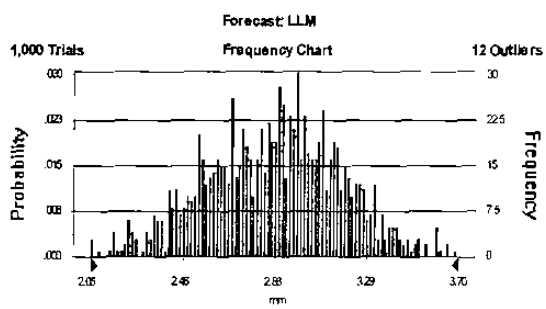


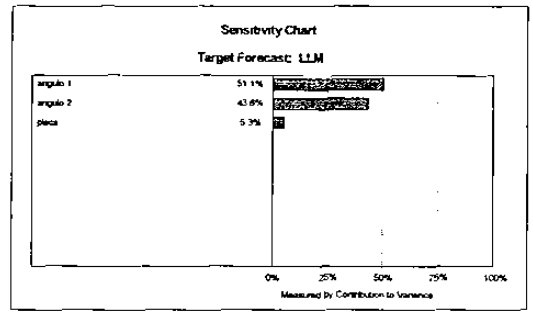
El LCM según el pronóstico tendría una media de 2.88 y una Desv. Std. de 0.33



El análisis de sensibilidad muestra como el impacto de los ángulos ya sumados es de cerca del 90%, este será el punto a atacar.

Figura 8.2 Reporte de Sensibilidad para la variable LCM.





El LLM según el pronóstico tendría una media de 2.88 y una Desv. Std. de 0.32

El análisis de sensibilidad muestra como el impacto de los ángulos ya sumados es de cerca del 94%, este será el punto a atacar.

Figura 8.3 Reporte de Sensibilidad para la variable LLM

8.2.2 LLBT Y LCBT

Las dimensiones quedan relacionadas a sus variables de la siguiente forma:

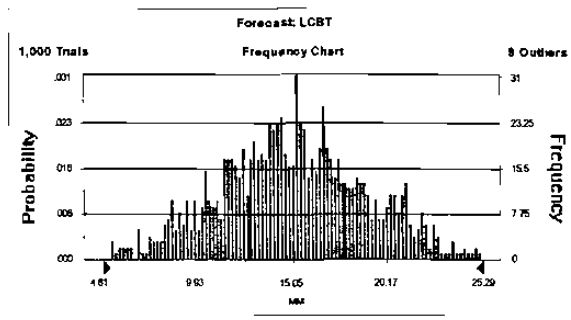
LCBT= LCM + Conductor BT + Compactación 2 vueltas + Tensión de conductor

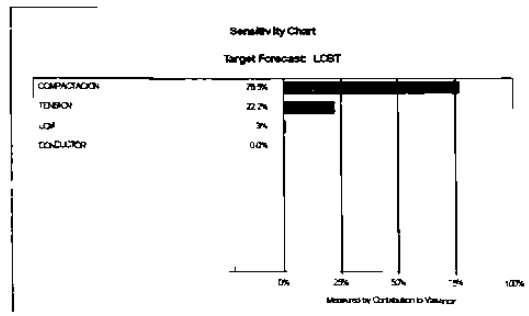
Donde : LCM; ya es conocida

- Conductor BT: Representa el impacto por sobre dimensión en espesor, tiene una variación media de +0.06 mm y desv. Std. 0.01 y se afectaría por el # de vueltas del conductor de BT.
- Compactación de 2 vueltas: Es el comportamiento aleatorio de la variación que se obtiene en las 2 primeras vueltas del devanado, media de 6 mm. y desv. Std. 3.5.
- Tensión de conductor; representa la tensión con la que se devanará el conductor, su media es de 0.12 mm/mm2 y desv. Std. 0.04 lo cual se afecta por el área transversal del conductor y el # de vueltas.

Se correrá con el diseño SF32 # vtas BT = 18 , area de conductor =4.8 mm2.

La corrida en Crystal Ball arroja su reporte mostrado en la gráfica 8.4.





LCBT muestra en pronóstico una media de 15.14 mm y un desv. Std. de 4.03

En el análisis de sensibilidad de LCBT , la compactación y tensión se llevan el 98 %, estas son las variables a atacar.

Figura 8.4 Reporte de Sensibilidad para las variables LLBT y LCBT.

LLBT= LLM + Conductor BT + Tensión de conductor

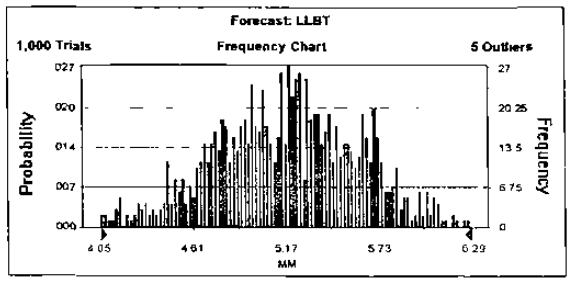
Donde : LLM; ya es conocida

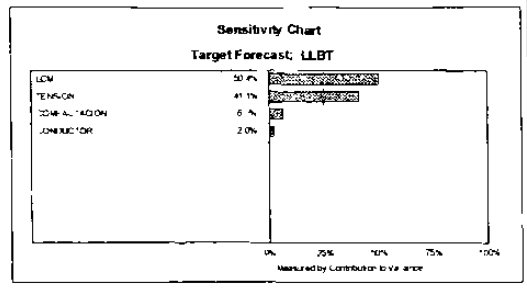
- Conductor BT: Representa el impacto por sobre dimensión en espesor, tiene una variación media de +0.06 mm y desv. Std. 0.01 y lo afectaríamos por el # de vueltas del conductor de BT.
- Tensión de conductor: Representa la tensión con la que se devanará el conductor, su media es de 0.05 mm/mm2 y desv. Std. 0.02 lo cual se afecta por el área transversal del conductor y el # de vueltas.

Cabe aclarar que aquí no se compacta y que la influencia de la tensión es mucho menor por la forma semicircular de este lado.

Se correrá nuevamente con el diseño SF32 # vueltas BT = 18 , Area de conductor = 4.8 mm2.

Los resultados de la corrida en "Crystal Ball" se observan en el reporte que se aprecia en la figura 8.5.





En el pronóstico LLBT quedaría en media de 5.18 y desv. Std. de 0.44

En la sensibilidad de LLBT el molde y la tensión son los factores relevantes, compactación con solo el 6%

Figura 8.5 Reporte de sensibilidad para la variable LLBT

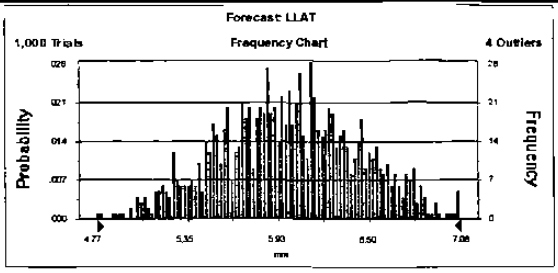
8.2.3 LCAT Y LLAT

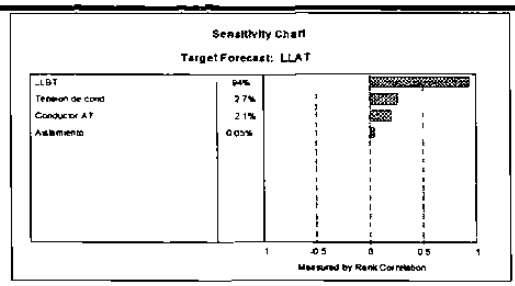
En este caso nuestra LLAT se ve afectado de las siguiente forma:

LLAT = LLBT + conductor AT + aislamiento + Tensión

Donde LLBT ya es conocido

La figura 8.6 muestra el resultado del análisis de sensibilidad de la variable LLAT





El pronostico LLAT muestra una media de 6.0 mm y una desv. Std. De 0.45

El Análisis de sensibilidad de LLAT , indica que la gran variación depende de recibir una BT en buenas condiciones.

Figura 8.6 Reporte de Análisis de Sensibilidad de la variable LLAT

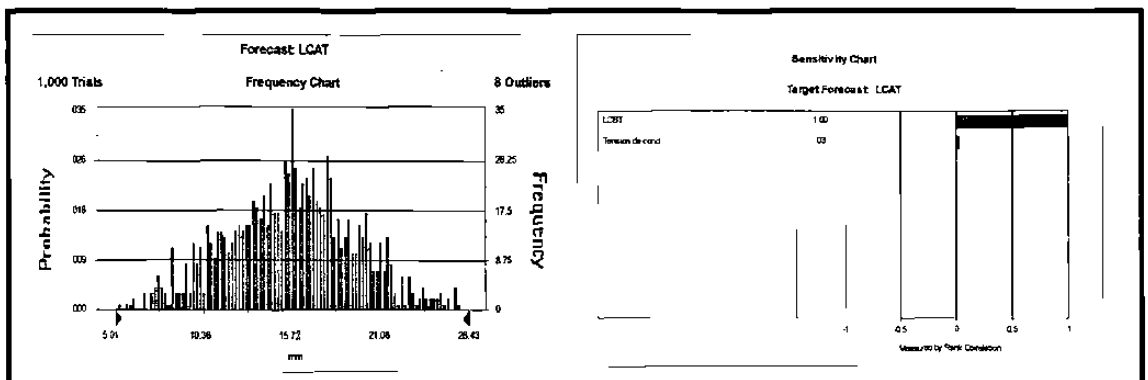
En este caso la LCAT se ve afectado de la siguiente forma:

LCAT = LCBT + conductor AT + aislamiento + Tensión

Donde LCBT ya es conocido

- El conductor tiene una media de 0.02 mm y desv. Std. de 0.01 y se afecta por el número de capas de AT.
- Tensión de conductor con media de 0.01 m y desv. Std de 0.01 afectada por el número de capas AT.
- Aislamiento de media 0.01 mm y std dev de 0.005 afectada por el número de papeles x capa y el número de capas de AT.

La figura 8.7 muestra el resultado del análisis de sensibilidad de la variable LCAT



El pronóstico de LCAT muestra una media de 15.69 y una desv std de 4.0 mm

El análisis de sensibilidad de LCAT muestra una dependencia de una buena baja en cerca del 100% , las otras variables no figuran relevantes.

Figura 8.7 Reporte de Análisis de Sensibilidad para la variable LCAT

De lo anterior se concluye que las siguientes variables son las que hay que mejorar.

Dimensión	Variable	Var. de 2° nivel
1.-LCM	Angulos	
2.-LLM	Angulos	
3.-LLAT	LLBT	Molde LLM
		Tensión Cond.
4.-LCAT	LCBT	Compactación BT
		Tensión de 2 vtas.

Las dimensiones son las que intervienen directamente en el ensamblaje con el núcleo y aislamientos, y las variables son las que impactan en primera instancia a dicha

dimensión, pero a su vez la variable se ve afectada por una dependencia de una variable de 2° nivel, todo como una relación causa-efecto.

Observe como LLM juega una dualidad como dimensión de ensamblaje, pero a la vez impacta en otra dimensión como LLAT.

8.3 ESTABLECER ACCIONES PARA REDUCIR EL IMPACTO DE LAS VARIABLES INVOLUCRADAS

Una vez conociendo las variables que causan impacto en las dimensiones de las bobinas se necesita tomar acción para reducir su variación y dimensión, para hacer que impacten en menor cantidad al producto.

Se consensa al personal conocedor del proceso para llevar a plantear e implementar acciones en un lapso corto de tiempo.

Actividad	Variable	Dim . impactada
➢ Cambiar tolerancias de proceso de corte de placas de +2 –1mm a +1 –0 mm	placas	LCM/LLM/LLAT
➢ Maquinar los ángulos a un rango de ± 0.2 mm y el valor central o medio en 5.0 mm y compensarlo a la placa central.	ángulos	LCM/LLM/LLAT
➢ Establecer método y herramientas para compactación de las 2 vueltas.	Tensión de 2 vueltas.	LCBT/LCAT
➢ Determinar tensión máxima por conductor, documentar, calibrar máquinas e incluir sistema de tensión en mantenimiento.	Compactación BT	LCBT/LCAT

Se ejecutarán acciones y reevaluarán las variables de ensamble LCM, LLM, LCAT que son las que finalmente impactarán.

8.4 VERIFICACION DE CONTROL

Después de arrancar los cambios del punto 8.3 y permitir 2 semanas de estabilización de proceso, se procede a tomar nuevas muestras de 50 bobinas, dimensionándolas y clasificándolas en las familias del capítulo anterior.

Los datos resumidos se muestran en la tabla 12

Dim.	<300	301-1000	1001-1500	1501-3000	>3000
LLM	0.55/0.05	Igual para todas las familias			
LCM	0.46/0.06	Igual para todas las familias			
LCAT	2.9/0.29	4.1/0.22	4.35/0.86	3.91/0.42	3.52/0.67

Tabla 12 Medias y desviación estándar de las variables de ensamble por familias.

Como al inicio del estudio de las bobinas, los moldes y sus dimensiones se continuaron estudiando como independientes de las familias (punto 7.6.).

En las dimensiones de moldes (LLM y LCM) las acciones de maquinado y cierre de tolerancias en ángulos y placas; fue precisa y fácil de implementar, pero para el caso de la compactación de conductores y tensión en las 2 primeras vueltas se siguen obteniendo una media alta aunque menor a la anterior, pero la desviación estándar si pudo bajar.

Si por alguna causa o en otra etapa se necesitara reducir la media y variación podría hacerse partiendo desde este punto.

CAPITULO 9

AISLAMIENTOS DE ENSAMBLAJE

9.1 CARACTERISTICAS DE LOS AISLAMIENTOS DE ENSAMBLAJE BOBINA-NUCLEO DE UN TRANSFORMADOR

Los aislamientos empleados por un transformador de tipo industrial en el campo de análisis de este trabajo puede utilizar varios tipos de materiales entremezclados como son micarta, madera o aglomerados de esta, polímeros, nomex, fibra de vidrio o derivados de celulosa. Los más ampliamente usados (más de 80%) son los derivados de celulosa ; se presentan como papeles o cartones que al aglutinarse con resinas dan espesores desde 0.8 mm hasta 200 mm; lo importante del aislamiento es su capacidad dieléctrica que se mide en voltaje de ruptura; para mejorar sus valores naturales se impregnan de aceites o siliconas aunque adicionalmente debemos considerar :

- Su resistencia a la temperatura de operación, sostenida. La celulosa opera a cerca de 105° C contínuos y el nomex a 130° C
- La necesidad de conformarlo, doblarlo o de dar soporte mecánico, según la aplicación particular.

La tabla 13 muestra la clasificacion térmica de los aislamientos.

Designación de clase	Máx. temperatura permisible	Materiales típicos
90 Y o O	90° C	Celulosa sin impregnar o algodón
105 A	105° C	Celulosa impregnada, algodón, resinas fenolicas
120 B	120° C	Triacetato de Celulosa
130	130°C	Mica, fibra de vidrio, asbestos c/aglutinante orgánico
155 F	155°C	Igual que la clase 120 pero con aglutinante orgánico
185 H	185°C	Clase 120 con silicona aglutinante
220	220°C	Como en la clase 185
Mas de 220 C	Arriba de 220°C	Mica, porcelana, cuarzo y materiales inorgánicos similares

Tabla 13 Clasificación Térmica de los Aislamientos Eléctricos

9.2 FUNCION Y ESQUEMA DE LOS AISLAMIENTOS DE ARMADO DEL TRANSFORMADOR

La tabla 14 y la figura 9.1 muestran conjuntamente los aislamientos de un transformador.

Partida	Descripción	Función
1	Barreras en "L" entre bobinas	Evitar arqueo bobina a bobina y tierra a núcleo
2	Doctos para Barreras en "L" entre bobinas	Permitir enfriamiento
3	Aislamiento núcleo a herraje htz.	Evitar tierra entre núcleo a herraje
4	Aislamiento núcleo a herraje vertical	ídem al anterior
5	Barrera lateral núcleo bobina	Evitar tierra entre núcleo a herraje
6	Relleno núcleo bobina	Llenar el espacio entre nuc-bob
7	Barrera entre núcleos	Evitar corto entre núcleos
8	Apriete núcleo bobina lateral	Rellenar espacio nuc-bob
9	Apriete núcleo bobina central	Rellenar espacio nuc-bob
10	Apriete herraje -bobina	Soportar apriete herraje -bobina
11	Separador axial de núcleo	Evitar cortos entre núcleos
12	Papel refuerzo separador	Evitar cortos entre núcleos
13	"C" lateral para núcleo	Evitar cortos entre núcleos
14	"C" central para núcleo	Evitar cortos entre núcleos
15	Cubierta superior de herraje	Evitar falla puntas AT a herraje

Tabla 14 Componentes de los aislamientos y su función dentro de l transformador

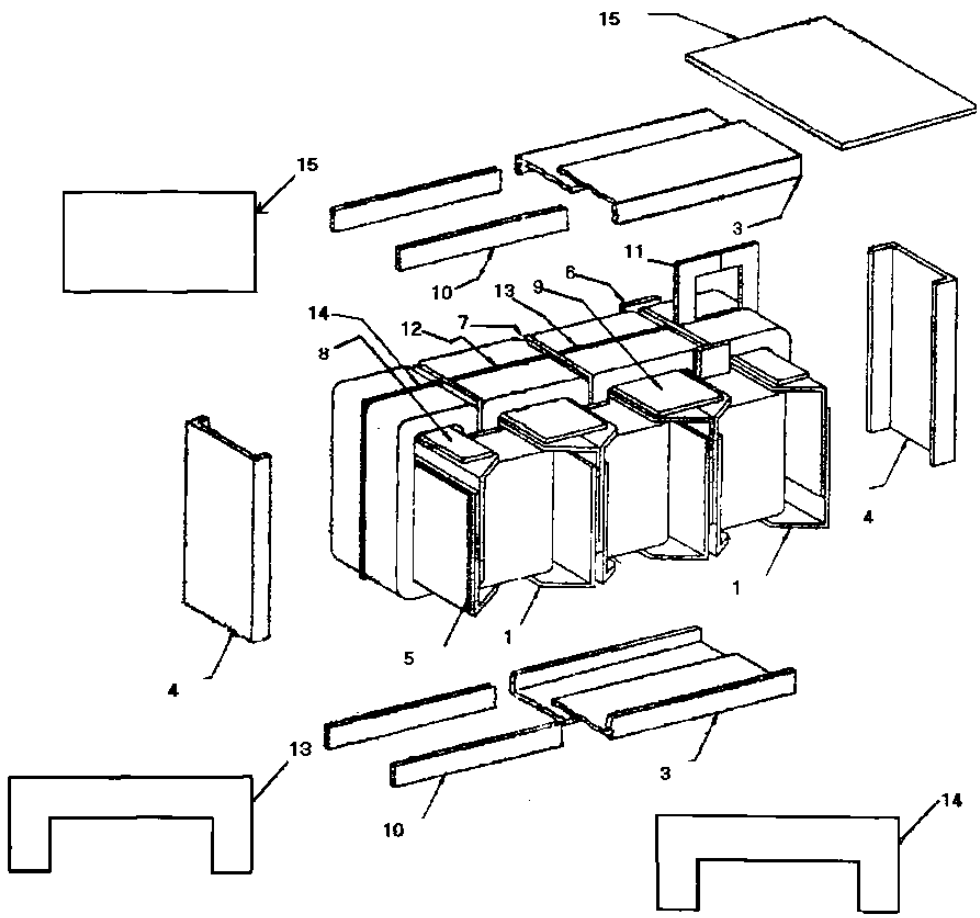


Figura.- 9.1 Dibujo de posicionamiento de aislamientos en el transformador. (complemento de la tabla 14).

CAPITULO 10

ANALISIS DEL PROCESO DE AISLAMIENTOS

10.1 MAPA DE PROCESO.

La figura 10.1 muestra el diagrama de flujo con los pasos de operación e insumos involucrados.

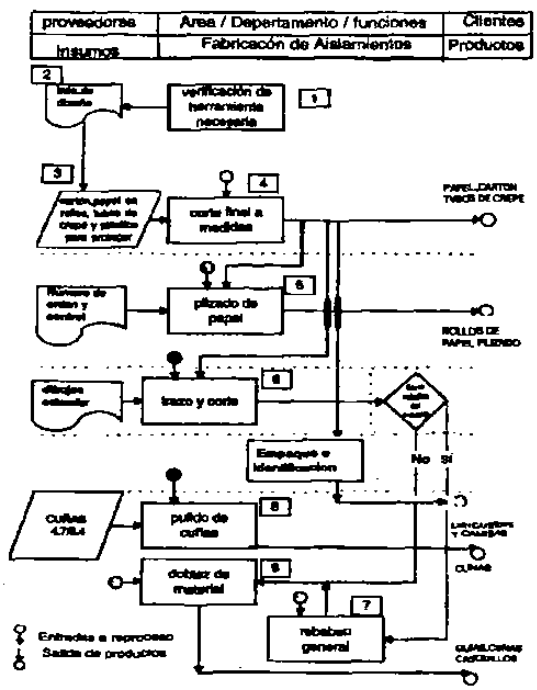


Figura 10.1 diagrama de Flujo de Proceso de Fabricación de Aislamientos.

10.2 IDENTIFICACION DE CTQ´s

De la tabla 15 que fue elaborada con la ayuda del personal que más conoce el proceso, se observa que potencialmente los calibres de materiales y el largo y ancho de los componentes afectan en el proceso de ensamblaje de la parte activa del transformador

ENTRADAS	CONTROLES	PASO	PRODUCTO	CTQ'S
* Herramienta y equipo en general	* Verificar que se cuente con la herramienta necesaria	* Se revisa herramienta de trabajo y equipo estén en buenas condiciones	* Herramientas y equipos en buen estado	
* Información de diseño p/aislamientos. * Secuencia de fabricación	* Identificación por diseño	* Selección de materia prima	* Material . información	
* Cartón. Papel, Tubo	* Inspección al 100 % de las dimensiones	* Habilitación a primer corte	* materia prima lista para corte final	* Dimensiones
* Cartón. papel	* Inspección al 100 % de las dimisiones	* Corte final	* Papel, cartón	* Dimensiones
* Rollos de papel y dados de plisado	* Selección de dados acorde a información de diseño	* Plisado de papel	* Rollo de papel plisado acorde a información de diseño.	
* Guías y cuñas * Información de diseño		* Trazo y corte	* Aislamientos listos para doblez y pulido	
* Toda pieza de cartón procesada	* Inspección visual	* Rebabeo general de la piezas	* Aislamientos de cartón listos para uso	* Dimensiones
* Cuñas y htas. De corte	* Ajustes de maquinaria acorde a manufactura	* Pulido y corte de cuñas	* Cuñas pulidas y dimensionadas	
* Barreras , guías y casquillos		* Doblez de materiales	* Guías barreras y casquillos	* Dimensiones

Tabla 15 Muestra los CTQ´s del proceso de aislamientos

10.3 SISTEMA DE MEDICION PARA CTQ´s

10.3.1 SISTEMA ACTUAL

Actualmente los CTQ´s son evaluados de la siguiente manera:

Componentes	***Base***	***Ancho***	***Espesor***
Componentes de cartón	Cinta métrica	Cinta métrica	Micrómetro
Componentes de Papel	Cinta métrica	Cinta métrica	Micrómetro

10.3.2 VALIDACION DEL SISTEMA

Para validarlo se correrá un Gage R&R al igual que en los componentes anteriores, se toman 25 componentes de cartón, de papel y a cada uno se le toma el ancho y el largo así como su espesor. Se sigue la misma mecánica que en casos anteriores con 3 operadores para mediciones y en forma aleatoria.

Los resultados se corren en Minitab , y se aprecian en la tabla 16

Componente		Base	Ancho	Espesor
Cartón	(% de gage)	8.31	8.56	3.12
	(discriminante)	7	7	16
Papel	(% de gage)	7.89	8.15	3.27
	(discriminante)	8	8	15

Tabla 16 resultados de gage R&R para cartón y papel

10.3.3 CONCLUSIONES

En los ejercicios anteriores de este tipo, el porcentaje de error es menor de 13% y el discriminante mayor a 4, por lo que se puede considerar satisfactoria la manera como se miden estos componentes.

Observando un poco nos daremos cuenta que el método de medición es muy similar, aún y cuando cambiamos de materiales.

10.4 RECOLECCION DE INFORMACION

En este caso en particular, como los métodos fueron validos para la aplicación, se tomarán los mismos datos (tabla 17) para continuar al siguiente punto.

Orden	KVA´s	voltaje AT en KV	base-carton	ancho-carton	Espesor-carton	base-papel	ancho-papel	Espesor de papel
ID21	225	13.5	-1	2	0.02	0	-1	0.01
ID21	225	13.5	-1	-1	0.08	0	-1	0.01
ID21	225	13.5	2	1	0.01	1	3	0
ID25	500	23.5	0	2	0	3	0	0
ID25	500	23.5	1	1	0.04	1	0	0.01
ID25	500	23.5	3	1	0.04	2	3	-0.01
IH45	1000	23.5	2	1	0.06	-1	1	0
IH45	1000	23.5	1	0	0.05	1	1	0.02
IH45	1000	23.5	2	-1	0.02	2	1	0.01
KF85	1500	13.5	0	3	0.01	1	2	0
KF85	1500	13.5	3	3	0.06	3	-1	0
KF85	1500	13.5	1	1	0.02	1	1	0.01
PJ45	150	13.5	3	2	0.06	2	2	0.01
PJ45	150	13.5	2	0	0.04	-1	-1	0
PJ45	150	13.5	1	0	0.04	1	1	0
PK28	150	13.5	3	3	0.03	2	1	0.02
PK28	150	13.5	1	1	0.06	1	3	0
PK28	150	13.5	0	1	0.01	2	0	0.01
S450	6000	33.5	-1	2	0.06	3	3	0
S450	6000	33.5	3	0	0.02	0	2	-0.01
S450	6000	33.5	2	3	0.08	-2	1	0.01
SC75	3000	33.5	1	2	0.04	0	2	-0.01
SC75	3000	33.5	1	-1	0.04	-1	2	0.02
SC75	3000	33.5	2	1	0.08	-1	-1	0

Tabla 17 Datos de corrida

Los criterios más viables son los KVA´s del aparato y su nivel de voltaje en AT. Ya con esto se crean gráficas de estos datos buscando encontrar tendencias sobre su comportamiento.

10.5 ANALISIS DE INFORMACION PARA LA CREACION DE FAMILIAS TECNOLOGICAS

Al revisar la información se aprecia que tanto por KVA´s como por voltaje en AT no hay una relación apreciable.

Más aún, al revisar los datos del cartón y papel mezclados en sus tres dimensiones correspondientes, se aprecia en la gráfica 10.2 que los cortes son muy similares tanto para ancho como base entre sí como entre cartón y papel; lo cual no es muy sorpresivo dado que utilizan el mismo proceso. Aparentemente los espesores también son muy similares, salvo que la escala es muy grande para su representación por lo que se construye la otra gráfica con escala.

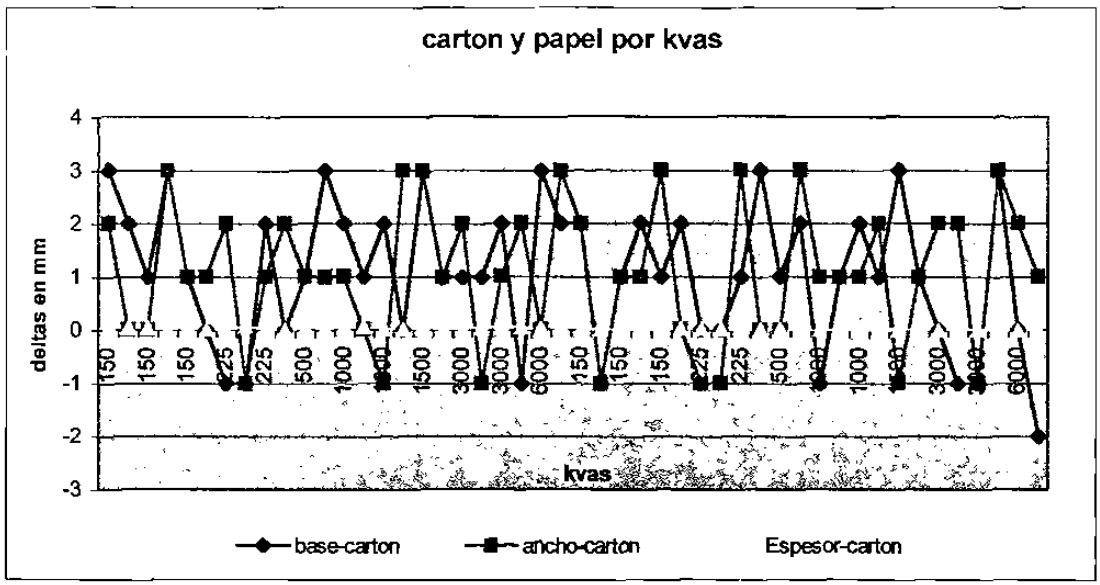


Figura 10.2 gráfica de varias dimensiones de papel y cartón en relación a KVA´s

La gráfica 10.3 ya muestra el ajuste en la escala, mostrando exclusivamente los espesores de papel y cartón en relación a los KVA's.

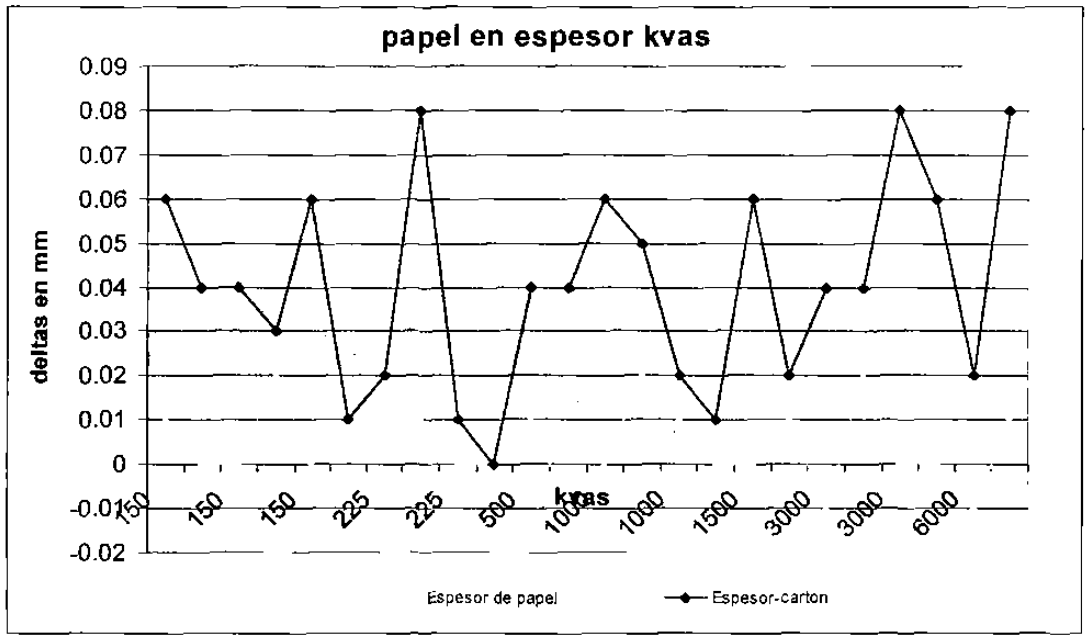


Figura 10.3 gráfica de espesores de papel y cartón por KVA´s

Puede apreciarse que la variación de espesores es mayor en cartón que en papel, contra lo que se espera del nominal; aquí el proceso no tiene influencia púes no se afecta el espesor de los materiales. El fabricante del material; indica que ésto se debe a que el material es altamente higroscópico y que variará con las condiciones ambientales de humedad. La variación de espesor entre papel y cartón es dependiente de la humedad y tiempo de exposición a la misma; así que en días cálidos éstos serán menores.

En conclusión, Los materiales se comportan en ancho y base de manera igual para papel o cartón, además no hay base aparente para formar familias o agrupar los datos para su análisis. La posible distinción entre espesores de papel y de cartón queda desechada por provenir de la relación del espesor entre ambos con la variación original del papel.

10.6 ANALISIS ESTADISTICO PARA DETERMINAR LA ALEATORIEDAD DEL PROCESO.

Finalmente se realizará una prueba de aleatoriedad " Anderson Darling" en el software " Minitab" para revisar si hay estabilidad en el proceso. La gráfica 10.4 muestra los resultados de la prueba.

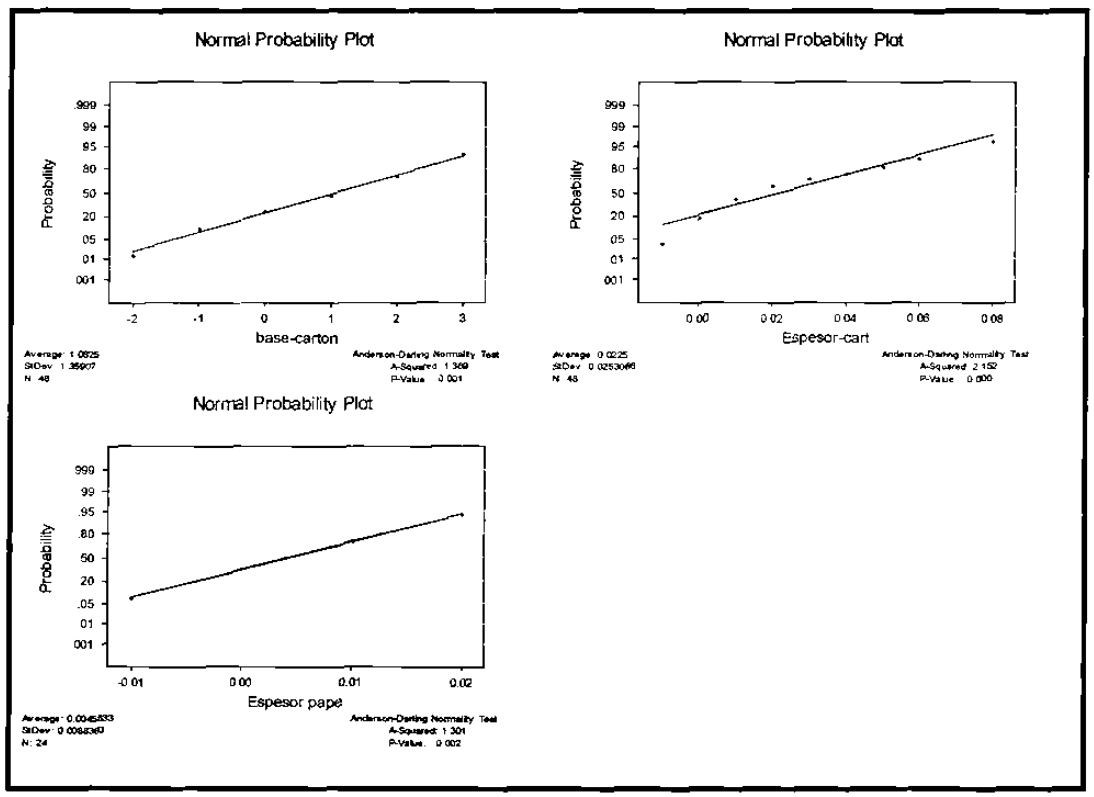


Figura 10.4 Gráfica de reporte de prueba de aleatoriedad en proceso de aislamientos

Las gráficas mostradas son para la base y ancho de papel y cartón combinados, adicionalmente se muestra una para el espesor de papel y otra para el espesor del cartón; en todas el valor de $P < 0.005$, indica que son normales y por tanto, se supone el proceso estable y no presentará cambios a menos que algo exterior suceda.

El proceso está listo para ser mejorado si así se decide.

10.7 REVISION DEL IMPACTO DE LOS AISLAMIENTOS SOBRE EL ENSAMBLE FINAL

El componente fabricado de aislamiento ya sea papel o cartón ha mostrado poca variación y ninguna tendencia a formar familias, aparte de ser estable; además, este tipo de material muestra una variación en sus espesores por la humedad, pero la misma naturaleza del material permite fácilmente comprimirlo o doblarlo sin que se convierta en un impedimento para el ensamblaje de los núcleos con las bobinas.

Si valorizamos la proporción de impacto de la variación de las dimensiones de los aislamientos contra la situación general de varios milímetros en total, se prefiere dar un impacto sobre las grandes variaciones de núcleos y bobinas y postergar la mejora al proceso de aislamientos a una segunda etapa.

CAPITULO 11

PROCESO DE ENSAMBLAJE DEL NUCLEO Y LA BOBINA.

11.1 DESCRIPCION DEL PROCESO.

El proceso de armado es bastante sencillo; las bobinas son colocadas en forma vertical sobre una superficie plana, de preferencia con la posibilidad de nivelarse para compensar variaciones de la bobina.

Los lados del interior del casquillo de la bobina deberán de quedar a la misma altura. Se coloca aislamiento de papel de relleno nucleo-bobina , fijándolo con cinta adhesiva. Se identifica el núcleo a instalar, y se abre por completo.

Ahora se instala lámina por lámina alrededor de la pierna de la bobina, la cual debe de irse compactando evitando que los entre hierros se hagan más grandes. Finalmente, el núcleo se cierra con fleje para evitar que se abra en operación y se colocan los aprietes núcleo-bobina (aislamiento), se colocan las barreras entre bobinas y finalmente los aislamientos de los herrajes y los mismos herrajes.

11.2 RUTA DE ACCION ESPECIFICA A CADA INTERFERENCIA SEGÚN SU ORIGEN Y CUANTIFICACION.

11.2.1 INTERFERENCIA EN LADO LARGO DE NUCLEO

Se analizarán las posibles interferencias y su posible acción, esto se hace cuando la "C" del núcleo está corta o bien la dimensión axial de la bobina es muy larga.

En este caso recordemos que en las familias tecnológicas de los núcleos y sus dimensiones "C" en el punto 5.5 tenían comportamiento :

am <300 kva X= 2.0 mm y desv. Std. = 1.41 mm en la familia de 300 kva, habiendo una posible interferencia de 2.2 mm

Fam< 300 kva, X= 3.33 y desv. Std de 1.00 mm, sin posibilidad de interferir

Fam>1000 kva, X= 4.66 mm con desv. Std de 1.32 mm; es imposible interferir dentro de un nivel de confianza de 99.97% (3 sigma)

Por el lado de la bobina en su axial o ancho depende del ancho de diseño con precision de ± 0.04 mm; y que es directamente controlado por el proveedor de este material y sin deterioro en el área. De esto se visualiza que tampoco es posible que la bobina interfiera con el núcleo.

Así pues tenemos que:

En los aparatos < 300 kva existe interferencia que debe ser compensada en 2 mm en la "C" del núcleo.

En los aparatos > 300 kva no hay interferencia pero si una holgura de +0.3 mm que podemos disminuir y ahorrar dinero en el producto.

En los aparatos de1000 kva o más; se obtiene una holgura de +0.7 mm que también se puede disminuir para ahorrar material en el producto.

El diseño holgado no da problemas de ensamble pero tiene un costo de materiales.

11.2.2 INTERFERENCIA EN EL LADO CORTO DEL NUCLEO

Esto se ocasiona cuando La "D" del núcleo esta corta o bien la pierna de la bobina ((LCAT-LCM)/2) esta mas alta.

Para el caso de los núcleos, la dimensión "D" en el punto 5.5 muestra:

- Fam < 300 kva X= 2.0 y desv. Std = 1.41 mm
- Fam > 300 kvas X= 2.11 y desv. Std = 0.781 mm
- Fam > 1000 kvas X= 4.66 mm y desv. Std = 1.32 mm.

En la bobina los datos se publicaron en el punto 8.4

En el punto 10.2.1 la interfase dependía de una sola variable ya que la otra era muy estable y con variación casi imperceptible; esto hacia que el análisis fuera sencillo, pero ahora la D cambia, LCAT y LCM también lo hacen. Tienen parámetros estadísticos con media y desviación std., por lo que no sería representativo tomar una relación directa, por lo que se hará un pronóstico de la interfase de lado corto con la siguiente relación simple:

Interface LCN= D – ((LCAT- LCM)/ 2).

Para lo anterior usaremos el programa "Crystal Ball" Familia <300

Con media de 0.75 y desv Std 1.4 mm. La simulación resultante aparece en la figura 11.1

En esta familia en promedio habrá un claro de 0.75 mm pero la variación estándar alta de 1.4 mm, nos indica que habrá una interferencia de 3.5 mm al tratar de ajustar el núcleo con la bobina en esta dimensión dentro de un marco de 3 sigma (99.97 % de confiabilidad).

Conviene agrandar el núcleo 3.5 mm. en "D" o como una segunda etapa trabajar en bajar la desv. std

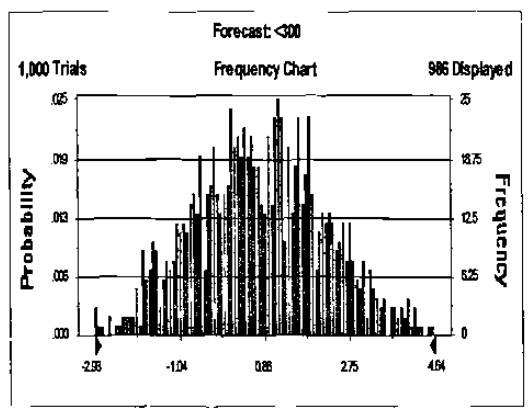


Figura 11.1 Pronóstico de simulación y resumen para familia menor a 300 Kva´s

Se procede de igual manera para las otras familias en esta interfase:

Familia	Media	desv. Std	Análisis
>300	0.28	0.74	interferencia en 2 mm, crecer núcleo
>1000	2.76	1.38	interferencia en 1.5 mm, crecer núcleo
>1500	2.97	1.33	interferencia en 1 mm, crecer núcleo
>3000	3.17	1.38	interferencia en 1 mm, crecer núcleo

En todas las interfaces en D es recomendable aumentar el núcleo, recordemos que previamente se mejoró el desempeño y estabilidad tanto de bobinas como de núcleo; aunque no se descarta previo análisis el volver a tomar acciones al respecto.

Para el caso de este estudio se dejará para una futura etapa y se tomarán acciónes en el crecimiento del núcleo.

Observe como el haber hecho familias tecnológicas permite ser más precisos en las acciones.

11.2.3 INTERFERENCIA EN EL INTERIOR DE LA BOBINA LADO CORTO.

Aquí la interferencia se daría al intentar meter el grueso de los dos núcleos en el lado LCM de la bobina, tal vez porque el núcleo es muy grueso (A) o porque el lado interior corto de la bobina es muy corto (LCM) .

Del punto 5.5 tenemos los siguientes valores de A en las familias establecidas.

Familia	media	desv. Std
➢ < 300 kva	0.54 mm	0.033
➢ >300 hasta 1000 kva	0.525 mm	1.27
➢ > 1000 kva	0.616 mm	0.190

y en LCM no fue necesario formar familias quedando X= 0.46 mm y std dev = 0.06.

De igual forma el resultado de la interacción de ambas variables habrá que determinarlo en base a una formula y tomando su comportamiento.

La relación es : Interferencia = LCM- A –A

Donde A se considera dos veces por ser aleatoriamente independiente una de otra

Ahora se correrá una simulación en Crystal Ball de mil corridas con los parámetros de las variables.

Familia	**Media**	**desv. Std**	**Comentarios**
< 300 kva	-0.38	0.09	Interferencia en nivel 99.97% confiabilidad debe crecer LCM en 1 mm
> 300 kva	-0.39	1.3	Interferencia en nivel 99.97% confiabilidad debe crecer LCM en 4 mm.
> 1000 kva	-0.30	0.21	Interferencia en nivel 99.97% confiabilidad debe crecer LCM en 1 mm.

En conclusión en este apartado de interferencia se observa que la familia de mayores a 300 kva está muy excedida en el rango necesario de crecimiento de LCM, esto debido a que la desviación estándar es muy amplia con 1.3 mm, el número negativo de la media indica interferencia. Al igual que en las otras interferencias, se ha decidido hacer crecer uno de los elementos. Ya que se haya pasado por una etapa de disminución de variación de proceso, cuando el ciclo de ajuste de diseño y capacidad hayan cerrado, puede ser conveniente volver a arrancar con otra detección y disminución de variaciones de proceso.

CAPITULO 12.

PROCESO DE DISEÑO ACTUAL.

12.1 EXPLICACION DEL SISTEMA ACTUAL DE DISEÑO

La operación actual de diseño, se realiza en un sistema computarizado conocido como "AUDI", el sistema es básicamente un optimizador en base a rutinas preestablecidas, con ciertos parámetros necesarios de entrada y a límites operativos.
Con valores establecidos por el cliente como:

- KVA´s
- Voltaje AT
- Voltaje BT
- Restricciones de Espacio
- Liquido aislante
- Nivel de pérdidas en cobre
- Nivel de pérdidas en fierro
- Norma de Fabricación (si aplica)
- Tipo de enfriamiento
- Accesorios
- Clima de instalación

El sistema crea un diseño para bobinas y núcleos en un arreglo óptimo de costo de materiales, posteriormente el diseñador ajusta las dimensiones de los cuerpos periféricos, , como accesorios, herrajes, etc. Otro frente diseña el tanque basándose en la parte viva.

El diseño se lanza a piso y si se requieren cambios o ajustes se hacen a mano y sin registro.

Los factores de ajuste son únicos y perpetuos, nadie ajusta o monitorea al respecto.

12.2 DETECCION DE PUNTOS DEBILES

Al entrar en contacto con los ingenieros que manejan la lógica de operación del AUDI se perciben los siguientes puntos débiles de operación:

- No contempla ningún sistema de tolerancias para la fabricación de los componentes; es decir el diseño es 100 % teórico
- Los ajustes que se realizan son con criterios no homologados, pudiendo haber variación de un diseño a otro.
- No se monitorea la precisión del diseño al piso por lo que todo cambio se hace a mano sin cerrar un ciclo de ajuste al sistema mismo.
- No se tiene la mínima idea del comportamiento de los componentes al ser fabricados

CAPITULO 13

PROCESO DE DISEÑO PROPUESTO

13.1 VARIABLES PROPUESTAS

El sistema de optimización es bastante bueno, sólo se buscará agregar las variables y ciclos de ajuste necesarios para facilitar los mismos de manera periódica; reconozcamos que todo proceso de manufactura está en cambio.

Las variables serán aquellas en las que se toman acciones y que se demostró que tenían impacto relevante en el ensamblaje del núcleo y la bobina:

En el núcleo C , D y A y en la Bobina LCM y LCAT.

13.2 CREACION DEL SISTEMA DE OPERACION

De una manera sencilla se propone crear una tabla acorde con los valores y familias que se definieron en los puntos anteriores para todas las variables.

En la rutina de optimización final que corre el programa, cada variable interactuará con la tabla de parámetros compensatorios acorde a la familia establecida y compensará el comportamiento de la variable, agregando o quitando la cantidad que se aloje en esta variable. Al final de esto se volverá a correr el cálculo de la impedancia de la bobina y de la resistencia de los devanados con las dimensiones propuestas; después se correrán las rutinas de desglose de materiales de manera transparente.

13.3 AJUSTES

Decía Einstein que nada es constante, todo está en cambio y que lo único constante es el cambio. En el caso de este estudio, el proceso cambia por desgaste de máquinas , personal nuevo, nuevas técnicas empleadas o por variación de nuestros proveedores a través de sus insumos. Pues bien, este cambio indeseado pero inevitable debe de ser controlado y predecible para adaptarnos a el, así pues, se sugiere:

- Monitorear el proceso en las variables definidas y corroborar su comportamiento, para así ajustar los parámetros de la tabla correspondientes a cada variable; se sugiere un periodo de 3 meses, un periodo muy largo podría permitir que reaccionáramos muy tarde al cambio y un ciclo muy corto causaría mucha inestabilidad al proceso.
- Cualquier intento de cambio de proceso, material que tenga relación o se sospeche que tenga relación con las variables criticas para el ensamble, debe de ser cuidadosamente analizado antes de lanzarse a piso.

CAPITULO 14

DETECCION DE IMPACTOS ECONOMICOS

En esta sección se tratará lo que los analistas financieros preguntarían ; cuánto cuesta y cuánto costaría, desde los puntos de impacto diversos: desperdicios, pérdidas, materiales, tiempo de ciclo, inventario, para lo cual en el caso del diseño nuevo el apoyo venra de los expertos de cada área involucrada, así como de los controladores de materiales que proporcionarán los costos. Se debe recordar que hasta ahora se ha analizado y visto comportamientos independientes de las piezas y sus variables, pero no se han hecho piezas con los parámetros de ajuste, ni tampoco físicamente los ensambles o prototipos.

14.1 COSTO DEL DISEÑO ACTUAL

En el caso del diseño actual el costo es bien conocido, pues tiene tiempo implementado así :

- En el núcleo:
  - El nivel del desperdicio de material es de 6 % a razón de 480 ton. por mes solo por concepto de interferencia el costo de material procesado es $ 1.85 usd/ kg.; en total $ 53,850 usd.

- La elevación de pérdidas por razón de esfuerzos en el núcleo causaron en promedio mensual . multas por un total de $ 8,567 usd en el año 2000.

❖ En la bobina:

- Los costos de la no calidad originaron una tasa del 4.5% de cortos por daños a las bobinas al armarlas con interferencias, causando rechazos por $ 7,850 usd en el mes de marzo del 2001.

❖ En el Ensamble :

- El tiempo de ensamble se dispara un 14.6% atribuible a dificultades por interferencias entre núcleos y bobinas, la tasa de producción diaria del área de ensambles de 10 unidades al día, convirtiéndose en restricción de la línea ya que la demanda es de 12. Aquí esta situación se podría abordar por costo de personal para compenzar esta deficiencia, pero no es posible ya que el equipo y herramental es insuficiente (límite de capacidad instalada). Por lo que esto se aborda por costo de oportunidad, el solucionar este problema daría 1.5 unidades extra al día y como el costo promedio de la unidad el año 2000 cerro en $30,000 usd con 20% de margen de utilidad, el costo seria de $ 180,000 usd/mes.

En conclusión, el costo se estima en cerca de $ 250,000 usd/mes con el diseño actual.

14.2 COSTO DEL DISEÑO NUEVO

La comparación se hará sobre los mismos niveles de operación que en el punto 13.1.

Si recordamos que todos los análisis de interferencias se hicieron con un 99.97% de confiabilidad esto indica que se tendra a largo plazo un 0.03% de problemas, esto en proporción puede conducirnos a un costo igualmente proporcionado al costo con el diseño anterior es decir de $ 75 usd/mes.

Adicionalmente se requerirá que los ingenieros de control de producción indiquen según las familias que se manejan como se comporto el año 2000 en cuanto a unidades fabricadas y por último al personal de diseño algunas medidas promedio por familia. Cabe aclarar que cada aparato tiene 4 núcleos.

La Tabla 18 muestra a detalle los costos que impactarán el nuevo diseño, basándose en el comportamiento del año pasado.

Analisis de impacto economico por los ajustes del nucleo en dimension "C"

Familia	Accion en esa dimension en mm	Area transversal promedio del nucleo en mm2	Unidades fab prom mensual	Volumen de mtl en mm3	Densidad kgs/mm3	Costo usd/kgs	Costo mensual en "C"
< 300 kva	2	12000	60	5760000	0.00000765	1.85	81.52
> 300 kva	-0.3	22400	120	-3225600	0.00000765	1.85	-45.65
> 1000 kva	-0.7	40800	60	-8654400	0.00000765	1.85	-97.01
						SubBalance	-61.14

Analisis de impacto economico por los ajustes del nucleo en dimension "D"

Familia	Accion en esa dimension en mm	Area transversal promedio del nucleo en mm2	Unidades fab prom mensual	Volumen de mtl en mm3	Densidad kgs/mm3	Costo usd/kgs	Costo mensual en "C"
< 300 kva	3.5	12000	60	10080000	0.00000765	1.85	142.66
> 300 kva	2	22400	120	21504000	0.00000765	1.85	304.34
> 1000 kva	1.5	40800	20	4896000	0.00000765	1.85	69.29
> 1500 kva	1	40800	40	6528000	0.00000765	1.85	92.39
> 3000 kva	1	43300	20	3464000	0.00000765	1.85	49.02
						SubBalance	657.69

Analisis de impacto economico por los ajustes de la bobina en dimension "LCM"

Familias	Accion en esa dimension en mm	Area transversal promedio de la Bobina en mm2	Unidades fab prom mensual	Volumen de mtl en mm3	60% Cobre @ 8.89 g/cm3 40% Aluminio @ 2.71 g/cm3	Costo usd/kgs mezclando 60% cobre y 40% aluminio	Costo mensual LCM en usd
< 300 kva	1	8000	60	1920000	0.000006418	3.662	45.13
> 300 kva	4	24000	120	46080000	0.000006418	3.662	1083.01
> 1000 kva	1	54000	60	12960000	0.000006418	3.662	304.60
						SubBalance	1432.73
						Balance	2029.28175

notas. El costo por Kg procesado de cobre es 4.25 usd
El costo por Kg procesado de aluminio es 2.73 usd
Los numeros negativos muestran una reduccion en la partida a la que pertenecen (dimensiones, areas, volumen o costo)
usd , indica dollares americanos

Tabla 18 Resumen de costos originados por el cambio de diseño

14.3 BALANCE

El nuevo sistema operará con un costo de $2,029 usd/mes vs el antiguo de $ 250,000 usd/mes.

En conclusión el proyecto es rentable, con un margen bastante bueno. Incluso si se consideráran movimientos en la mezcla del tipo de unidades fabricadas, es muy difícil impactar en contra, para la evaluación de este proyecto un margen del 15% o menor exigiría considerar expectativas de costo de los materiales, tendencias de mercado o de los clientes e incluso tomar el horizonte pesimista en cuenta, afortunadamente no es el caso. La clave es en sí los parámetros de calidad que percibe el cliente, junto con el material que se tira, los cuales son de gran impacto.

CAPITULO 15

VALIDACION EN PISO

Generalmente la etapa más escabrosa es la validación de lo planteado y más aun si se plantea hacer un grupo representativo de prototipos comparado contra producción similar sin cambio alguno, ya que los recursos son 100% de producción y no se cuenta con el excedente de estos o bien de forma permanente para correr los prototipos en forma más amplia.

Por lo anterior explicado se correrá al menos un prototipo para ejemplificar lo establecido.

La manera como se hará será la de correr un prototipo con el diseño nuevo, por el impacto que esto crea, el generador de diseño no será tocado y se ajustará a mano solo en esta unidad de producción.

15.1 CORRER DISEÑO CON PROCESO ACTUAL.

Se selecciona la orden P103 lote 131 parte 1 de 125 kva, al cual se ajustaron las medidas y se mandó producir como aparato único, dándole seguimiento en el tiempo que estaba disponible un servidor, no se hicieron comentarios al respecto de la especialidad del aparato con ningún operador, pero si con los supervisores involucrados.

Se fabricaron núcleos y bobinas de la manera habitual y se fueron registrando (Tabla 19) sus valores en las variables de interés comparándose contra diseño (el nuevo diseño)

Prototipo	A	C	D	LCM	LCAT	Comentarios
P103-131-1	0.5	2	2	0	4	Al armar hubo holguras

Tabla 19 de levantamiento de datos de variables en validación de prototipos

15.2 ANALISIS E INTERPRETACION

A primera impresión se pensaría que como ahora las piezas salieron arriba de lo diseñado, hay que quitar alguna cantidad a las variables que se establecieron.

En realidad no es así, recordemos que los límites naturales del procesos fueron fijados por 3 veces la desviación estándar hacia arriba y hacia abajo, y al ajustar con los valores de las variables en realidad se centró el proceso. La holgura deberá ser llenada con aislamiento base cartón, buscando que el ensamble se compacte. Por otro lado el proceso de armado no presentó ninguna interferencia, dando una facilidad de operación, registrando un 17% de reducción contra el tiempo normal.

15.3 AJUSTES AL SISTEMA

En la corrida hasta aquí no se amerita un cambio de parámetros de ajuste en las variables, pero no se consideró que la desviación estándar de las variables pudieran generar una holgura que debe ser llenada con aislamiento y este con un costo no considerado. La Tabla 20 muestra un desglose de los costos implicados para un nuevo diseño.

Así pues, se consideran que las variables que permitieron generar los valores de ajuste, pudiesen tomar valores entre $\pm$ 3 veces su desviación estándar, esto podrá hacer según el caso, asegurar la no interferencia entre el ensamble, o en el peor de los casos

quedaría una holgura. Así pues, habría que ajustar el costo del nuevo diseño en el caso de esa holgura y llenarlo con aislamiento.

Analisis de impacto economico en aislamiento del nucleo en dimension "C"							
Familia	posible relleno en mm	Area promedio del relleno en mm2	Unidades fab prom mensual	Volumen de mtl en mm3	Densidad kgs/mm3	Costo usd/kgs	Costo mensual en "C"
< 300 kva	4	9000	60	12960000	0.00000108	1.1	15.40
> 300 kva	3	18200	120	39312000	0.00000108	1.1	46.70
> 1000 kva	4	28160	60	40550400	0.00000108	1.1	48.17
						SubBalance	110.27
Analisis de impacto economico en aislamiento del nucleo en dimension "D"							
Familia	Accion en esa dimension en mm	Area promedio del relleno en mm2	Unidades fab prom mensual	Volumen de mtl en mm3	Densidad kgs/mm3	Costo usd/kgs	Costo mensual en "C"
< 300 kva	4	8100	60	7776000	0.00000108	1.1	9.24
> 300 kva	2	19500	120	18720000	0.00000108	1.1	22.24
> 1000 kva	4	39600	20	12672000	0.00000108	1.1	15.05
> 1500 kva	4	48400	40	30976000	0.00000108	1.1	36.80
> 3000 kva	4	57200	20	18304000	0.00000108	1.1	21.75
						SubBalance	105.08
Analisis de impacto economico en aislamiento de la bobina en dimension "LCM"							
Familias	Accion en esa dimension en mm	Area promedio del relleno en mm2	Unidades fab prom mensual	Volumen de mtl en mm3	Densidad kgs/mm3	Costo usd/kgs	Costo mensual LCM en usd
< 300 kva	0	36000	60	0	0.00000108	1.1	0.00
> 300 kva	4	84000	120	120960000	0.00000108	1.1	143.70
> 1000 kva	1	176000	60	31680000	0.00000108	1.1	37.64
						SubBalance	181.34
						Balance	396.685555

notas: El costo por Kg procesado de Aislamiento Tipo Hival A es 0.85 usd
usd , indica dollares americanos
Se muestra el caso critico de la holgura maxima en todos los casos

Tabla 20 Costo adicional implicado por aislamientos en el nuevo diseño

Se agregará un cargo de $ 400 usd/mes por concepto de aislamiento, aun así es viable el cambio.

CAPITULO 16

CONCLUSIONES

Como consecuencia de la ejecución de estas actividades se concluye:

- Cada componente involucrado en el ensamble del núcleo y la bobina tiene un comportamiento en cuanto a sus dimensiones, por lo que no se pueden considerar valores fijos; a su vez tienen una o varias variables que en conjunto dictaminan como se comportará la dimensión del componente.
- La mejora del desempeño de las variables y sub variables involucradas en el ensamble de núcleo y bobina, permitió llevarlas a un estado estable con mínima dispersión y mejor valor de centrado, impactando directamente en las dimensiones del núcleo y la bobina también con menos dispersión y mejor centrado.
- El formar grupos o familias de variables revisando su comportamiento, permitió hacer más predecible a las variables en cuestión sobre todo contra los KVA´s y por tanto hacer ajustes más precisos y menos costos al proyecto.
- Revisar caso por caso las interferencias del núcleo y la bobina, junto con encontrar la forma como interactuan las variables en cada una permitió el ajuste preciso, para incrementar o disminuir en la proporción exacta la bobina o el núcleo.
- El análisis financiero demuestra, que es rentable eliminar el problema de interferencia del núcleo y la bobina.
- Cada acción de mejora impacto sobre las variables y a la vez a los componentes, por lo que se concluye que de igual manera puede haber cambios no deseados y deberá de monitorearse el sistema en forma sistemática para futuras variaciones.

CAPITULO 17

RECOMENDACIONES

Al termino de este estudio, se recomienda lo siguiente:

Los cambios constantes en los equipos, personal, materia prima, especificaciones de diseño, garantizan un entorno siempre cambiante al que se debe de estar ajustando las expectativas de producto, así pues se recomienda continuar el proceso de ajuste de tolerancias de manera continua, tal vez no se encuentre un beneficio económico tan jugoso como la primera vez, pero seguramente se podrán mejorar el desempeño.

Cabe la posibilidad de no encontrar nada, lo cual no indica necesariamente un mal análisis, sino que tal vez el proceso es tan maduro y ya no existe oportunidad de mejora, es ahí cuando se arranca una etapa de mantenimiento.

Más aun la frecuencia de revisión se puede espaciar y enfocar los recursos en otra área de oportunidad.

Básicamente la estructura o procedimiento para atacar el problema puede ser aplicado a otros ensambles de cualquier índole más simples o más complicados.

A las personas que les interese continuar o extender estas ideas a otra aplicación se les recomendaría:

- Utilizar muestras estadísticas más grandes siempre que les sea posible; considere muestras de 25 piezas que es lo mínimo recomendado por los expertos en estadística para ser representativo. Recuerde que la mejor muestra es la población, aunque tal vez seria difícil de manejar tanta información.
- En aplicaciones con sistemas complicados o poco conocidos o de mayor cantidad de variables a controlar, puede haber relaciones entre ellas que amplifican ó anulan su

efecto, por lo que es recomendable que en el análisis de sensibilidad se consideren todas las posibles relaciones.

- Los sistemas no son estáticos, aún y cuando se obtengan buenos resultados en el control del ensamble, se debe crear un ciclo de mantenimiento para detectar cambios
- En el sistema se observa como estrategia primero bajar las dispersión de la salida del sistema (darle capacidad al proceso) y después con los factores de ajuste orientarlo hacia donde se quiere (centrar el proceso), siempre siga esta secuencia.
- Evite cambios en el proceso si hay duda sobre su impacto al problema de ensamble, por ejemplo: nuevos proveedores de materia prima, nuevas maquinas, cambios en herramental, operadores sin entrenamiento, nuevos métodos de trabajo, etc.
- Todo cambio o ajuste que realice , siempre valídelo con un prototipo, puede haber factores no considerados.
- Cuando el proceso se encuentre estable; es decir, que no hay cambios sorpresivos, es el momento de bajar la variación de las variables, tal vez esto implique cambios drásticos, solo así continuaremos la mejora de los sistemas.

BIBLIOGRAFIA

1. Allegheny Ludlum Corporation, Silicon Electrical Steel Product Information and design Data, 1998.
2. The Technical services Silicon laboratory Bagdad plant , 1996.
3. Armco Inc. Product Data Bulletin Number M-24.
   Armco Electrical Steel Products, 1993.
4. Beaty H. Wayne, Electrical Engineering Materials reference Guide.
   McGraw Hill , 1990.
5. EHV/ Weidmann, Transformer Insulation Product Resource.
   Weidmann International , 1998.
6. Doble Client Comittee on insulating Fluids, Reference Book on insulating Fluids
   Doble Engineering company, 1965.
7. Genreal Electric , Six Sigma.
   (CRD) Center For Manufacturing Technology , 2000.
8. Gonzalez Gonzalez Carlos, Metrologia.
   McGraw Hill, 1995.

9. Lawrence Ralph L. , Priciples Of Alternating Current Machinery Fourth Edition
McGraw Hill Book Company, 1953

10. Mayers S.D. , Transformer Maintence Guide
Transformer Maintence Institute Division of S.D. Mayers Inc. . 1981

11. Navarro Contreras V. Javier, Curso de Introduccion de Transformadores
Transformadores IEM , 1991

12. Normag Inc. Product Data: Distributed Gap Cores
Normag inc , 1999

13. Pine W. Bruce , (SPC) Statistical Process Control
(A.I.A.G.) Automotive Industry Action Group, December 1991

14. (SME) Society of Manufacturing Engineers, Toll & Manufacturing Engineers Handbook Third Edition
McGraw Hill Book Company, 1976

LISTADO DE TABLAS

No.	Descripción	Pág.
1	Cronología del nacimiento del Transformador	8
2	Mapa de Proceso del Núcleo Tipo Enrollado	23
3	Datos de Fabricación de Núcleos colectados para Gage R&R, para validar Vernier	25
4	Datos de Fabricación de Núcleos colectados p/Gage R&R, p/validar Flexometro	25
5	Datos recolectados De Núcleos Para Gage R&R ahora con Vernier Digital	28
6	Datos colectados de núcleos para revisar normalidad y crear Familias tecnológicas	31
7	Datos de Núcleos para DOE	38
8	Acciones de mejora para área de núcleos	40
9	Mapa de proceso de Bobinas	46
10	Datos de Bobinas, en Manufactura y Diseño	50
11	Medias y desviación estandard de las variables por familias	53
12	Medias y Desviación estándar de las Variables de Ensamble por familias	62
13	Clasificación Térmica de los Aislamientos Eléctricos	64
14	Componentes de los aislamientos y su función dentro del Transformador	64
15	Muestra los CTQ´s del proceso de Aislamientos	67
16	Resultados de gage R&R para cartón y papel	68
17	Datos de Corrida	69
18	Resumen de Costos Originados por el cambio de Diseño	85
19	Levantamiento de datos de variables en validación de prototipos	87
20	Costo Adicional Implicado por aislamientos en el nuevo Diseño	88

LISTADO DE FIGURAS

No.	Descripción	Pág.
2.1	Transformador típico tipo Subestación de 5 MVA	7
2.2	George Westinghouse y Thomas Alba Edison	9
2.3	Sentido de Generación de Corriente al pasar en conductor Por un Campo magnético	9
2.4	Representación Esquemática del Transformador	10
2.5	Acomodo Real de los Devanados y Núcleos de un Transformador	11
2.6	Arreglo de Línea de Distribución de la Generación Hasta el usuario.	15
2.7	Representación Esquemática de un Transformador Monofasico y uno Trifasico.	15
3.1	Núcleo de Columna y Enrollado en un aparato Trifasico	18
3.2	Tipos de Traslapes en núcleos Columnas	20
3.3	Núcleos Tipo Enrollado con sus Dimensiones	20
4.1	Diagrama de flujo de Fab. De Núcleos Enrollados	22
4.2	Reporte Gage R&R para Flexometro	26
4.3	Reporte Gage R&R para Vernier	27
4.4	Reporte Gage R&R del el Vernier Digital	29
4.5	Pruebas de Normalidad de A y C	30
4.6	Gráfica de Variaciones A, C , D del núcleo Vs. Diseño	32
5.1	Análisis de Sensibilidad para C	36
5.2	Análisis de Sensibilidad para D	37
5.3	Resultados de impacto de las Variables	39
5.4	Familia de Núcleos < 300 kva´s	40

5.5	Familia de núcleos de 300 kvas hasta 1000 kvas	41
5.6	Familia de > 1000 kva´s	41
7.1	Diagrama de Flujo de Fabricación de Bobinas	45
7.2	Resumen Gage R&R del uso de compás	47
7.3	Gráficas del Gage R&R del uso de Compás	47
7.4	Reporte de Gage R&R del vernier en Bobinas	48
7.5	Gráficas de Comportamiento de las variables de bobinas	50
7.6	Gráficas de Comportamiento de las Variaciones Vs. Variable	52
8.1	Variables del molde Típico	55
8.2	Reporte de Sensibilidad para la Variable LCM	56
8.3	Reporte de Sensibilidad para la Varibale LLM	57
8.4	Reporte de Sensibilidad para las variables LLBT y LCBT	58
8.5	Reporte de Sensibilidad para la variable LLBT	59
8.6	Reporte de Análisis de Sensibilidad de la Variable LLAT	59
8.7	Reporte de Análisis de Sensibilidad para la variable LCAT	60
9.1	Dibujo de Posicionamiento de aislamientos en el Transformador Complementando la tabla 14	65
10.1	Diagrama de Flujo de Proceso de Fabricación de Aislamientos	66
10.2	Gráfica de varias Dimensiones de Papel y Cartón en Relación A Kva´s.	70
10.3	Gráfica de Espesores de papel y cartón por Kva´s	71
10.4	Gráfica de Reporte de prueba de aleatoriedad en proceso de Aislamientos.	72
11.1	Pronostico de Simulación y resumen para familia menor a 300 kva´s.	76

APENDICE

1.- Glosario de Términos

2.- Programas Estadísticos

APENDICE 1

GLOSARIO DE TERMINOS

A.- Grueso del núcleo

Análisis de capacidad.- Se refiere a la habilidad de un proceso para generar piezas aceptadas dentro de limites establecidos., Se manejan dos términos CP, quien solo considera el rango de proceso y de tolerancia de especificación, y por otro lado el CPk quien relaciona el rango y que adema este centrado uno contra el otro, este ultimo es mas usado y su valor de referencia es 1.33; inferior es malo y superior satisfactorio.

Aleatoriedad.- Que es al azar, es decir los datos no están influenciados

AT.- Abreviación de Alta Tensión.

AUDI.- Nombre comercial de programa optimizador adecuado a diseño de transformador propiedad de AUDI Systems Inc.

B.- Ancho del núcleo

BT .- Abreviación de Baja Tensión.

C.- Lado Largo Interior del Núcleo

Celulosa.- Derivado Orgánico producto de la pulpa del papel.

CTQ(s).- abreviación de "Critical to Quality", se refiere a un punto relevante en la calidad del producto.

D.- Lado Corto Interior del Núcleo

Diagrama de Flujo.- Representación gráfica de un proceso

DOE.- Abreviación de las palabras en ingles " Design Of Experiments" , La cual es una técnica estadística que en base a la programación de ciertos eventos en los que las variables de interés se hacen tomar ciertos valores dentro de limites establecidos midiendo el impacto que tienen sobre la salida del proceso y de esta manera determinar su impacto, relación o punto optimo para un objetivo.

Ensamblaje.- se refiere a la unión de 2 o mas componentes, pudiendo ser de tipo mecánico es decir físicamente en las piezas o bien magnético es decir por la acción de un campo magnético.

Estabilidad del proceso.- Se dice que un proceso es estable si ha salido de su estado transitorio, en el cual permanecerá dentro de un rango predecible hasta que no existan factores externos que lo afecte.

Factor de Destrucción.- Termino utilizado en diseño, generalmente manejado en porcentaje , en el cual se referencia el deterioro de una característica desde su estado original a final del proceso donde aplica ese factor.

FMEA.- abreviación de "Failure Mode analisis" herramienta que representa los modos posibles de falla de un proceso, que permite llegar a las variables mas criticas del proceso en una primera estimación.

Gage R&R.- Técnica estadística que en base a muestras estadísticas controladas determina si el método, la herramienta o en conjunto ambos constituyen un método confiable de medición.

Gaps.- Es el entre hierro o abertura que queda entre las puntas de las laminaciones del núcleo.

Gráfica de Gantt.- Técnica de programación de eventos en la evaluación de proyectos.

Hipótesis.- Idea, especulación o Supuesto a ser probado.

Hojas de Datos.- Técnica de recolección de información donde se estructura un formato con la información requerida y se colecta información en la operación deseada.

Interface.- Punto de contacto entre 2 o mas partes.

Interferencia.- Situación que se presenta en un ensamble caracterizado por no poder acoplar las piezas libremente, la interferencia se mide en mm necesarios que de no presentarse harían que la piezas ensamblara justa

KVA.- Kilo Volt Ampere

LCAT .- Abrev. De Lado Corto de la Alta Tensión de la Bobina.

LCBT.- Abrev. De lado Corto de La Baja Tensión de La Bobina.

LCN .- Se refiere a la interface en el lado corto del núcleo.

LLBT.- Abrev. De Lado Largo de la Baja Tensión de la Bobina.

LLAT .- Abrev. De Lado Largo de la Alta Tensión de la Bobina

MAT.- Material del Conductor eléctrico usado en Alta Tensión en la Bobina.

MBT .- Material del conductor eléctrico usado en Baja Tensión en la Bobina.

Media.- Medida de Centrado de una distribución Estadística

Molde.- Herramienta de Formado, en este caso sirve para devanar sobre el la bobina y dar las dimensiones internas de la bobina.

MVA.- Mega Volt Ampere

Nomex .- Nombre comercial de papel sintético fabricado con Fibras de aramid con efectos de aislamiento propiedad comercial de Dupont Co.

Normalidad.- O normal se referencia al comportamiento de un proceso que muestra tendencia estadística con Distribución Normal

Prueba Anderson Darling.- Prueba estadística que pretende demostrar la normalidad de un proceso. Utiliza el indicador de valor P

Rentabilidad de Proyecto.- Es un termino usado en la evaluación de proyectos de inversión que indica si el proyecto retribuirá recursos superiores al costo de operación en un % determinado por los inversionistas e invertido en un lapso de tiempo estimado, generalmente no mayor a un año.

Six Sigma.- Metodología para resolución de problemas en forma estadística, basa su nombre en la premisa de reducir la desviación estándar aun nivel de seis veces la desviación estandard de la salida que se evalúa.

SPC.- Abrev. de las letras en ingles "Statistical Process Control"

Std Dev.- Abreviación de Desviación Estándar, que es una medida de Dispersión en una Distribución Estadística

Tamaño de muestra.- Termino estadístico que indica la cantidad de individuos que se recolectan de una población sobre la cual se pretende hacer inferencias. Normalmente las muestras que son validas para hacer inferencias sobre la población son de 25 piezas mínimo.

TQC.- Abreviación de las palabras en ingles "Total Quality System" metodología de solución de problemas en una forma global desplegando sus estrategias a toda la compañía.

Transformador.- Maquina eléctrica sin partes en movimiento que reduce o eleva el voltaje e inversamente afecta a la corriente. Funciona en base a la inducción de campos magnéticos.

USD.- Abrev. De la moneda de Estados Unidos de Norteamérica.

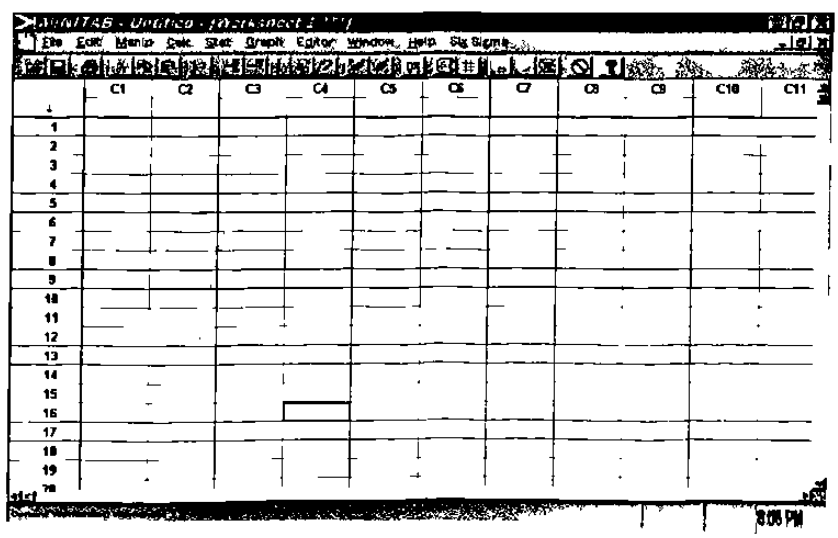
APENDICE 2

PROGRAMAS ESTADISTICOS

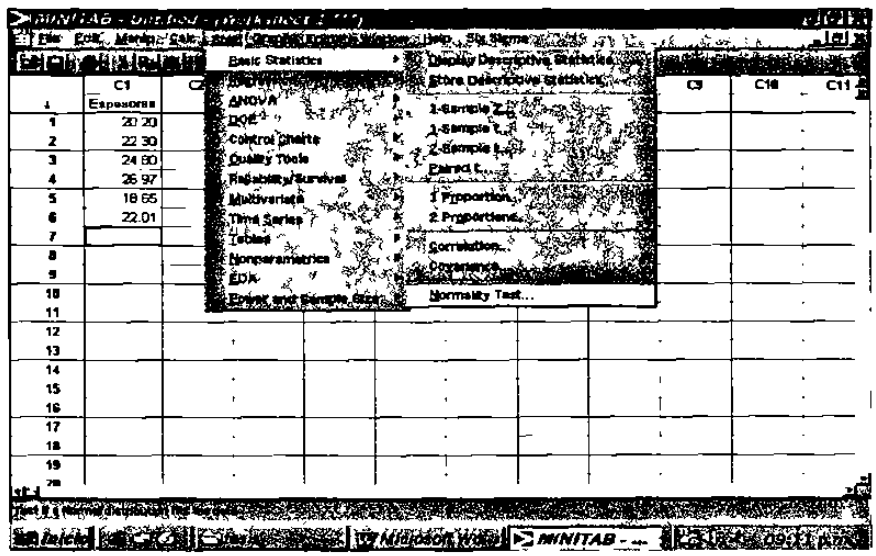
A lo largo de este trabajo se utilizaron varios software y operaciones que se explican a mas detalle en este apartado.

Minitab .- Es un paquete estadístico muy versátil usado en su versión 12.2 propiedad de Minitab Inc. Se puede descargar una versión demo gratuita en su pagina en Internet www. Minitab.com.

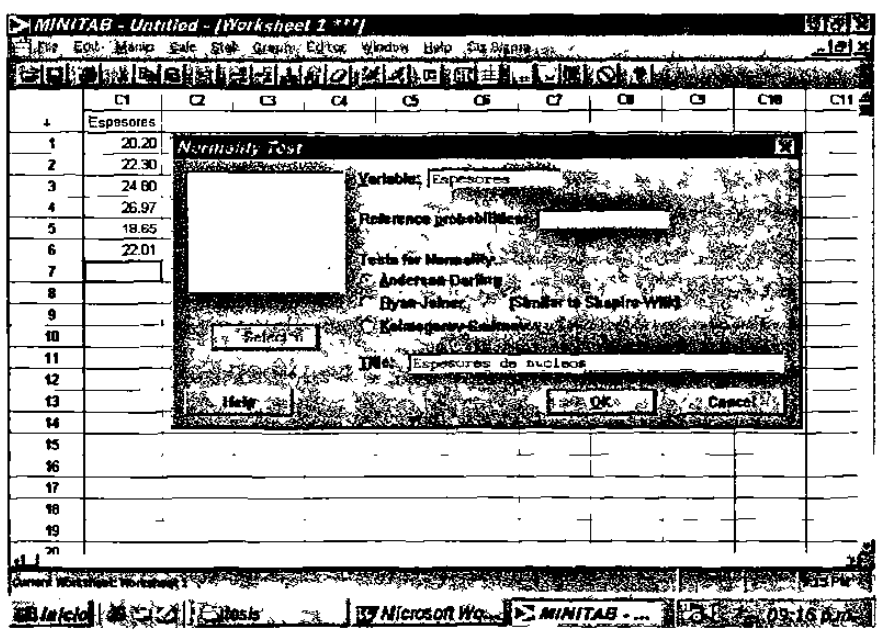
La pantalla típica, es una hoja de trabajo tal como en Excel, pero las habilidades de formato y tipos de edición han sido suprimidas para dar cabida a las funciones estadísticas; de hecho con el suficiente tiempo y habilidad Excel puede sustituirlo.



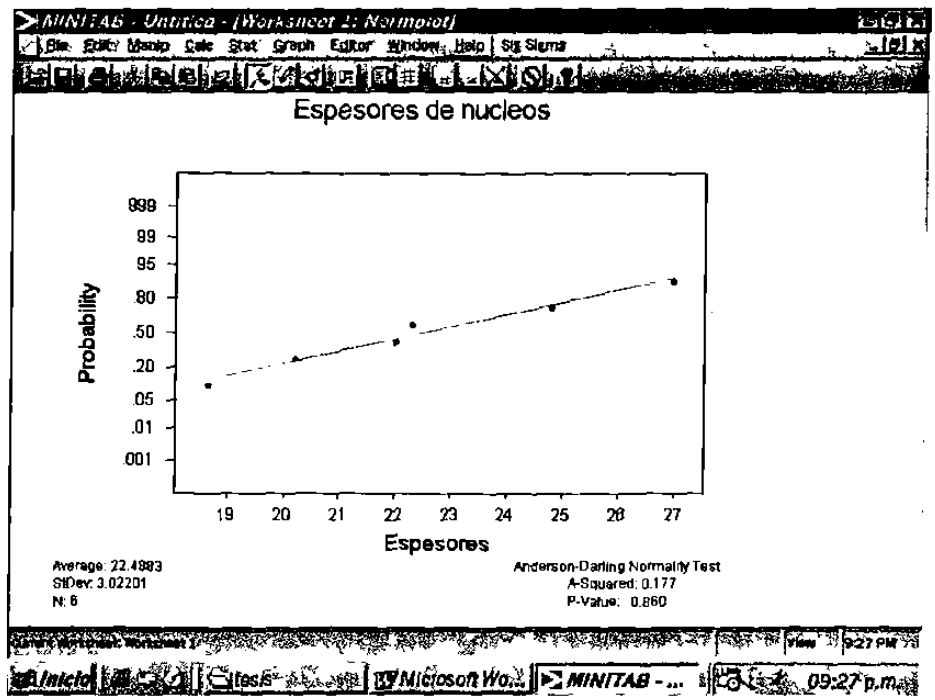
Para la prueba de normalidad los datos se cargan en una columna, en la celda superior se pueden escribir los títulos de los datos, pero nunca pueden ser iguales a algún otro ya usado en la misma hoja de trabajo. Los datos de trabajo pueden ser hasta 100,000 celdas. Las ventanas a abrir se muestran a continuación en la sig. figura



Y posteriormente se selecciona en variable que deseamos utilizar, para nuestro caso actual "espesor" y además seleccionamos la prueba deseada, en nuestro caso la prueba de Anderson Darling es la seleccionada . Vea la siguiente figura.



Los resultados se presentan en forma de una gráfica como la siguiente



Dentro de los datos arrojados como media y desv. Std o la suma cuadratica de los errores, aparece el valor P, que es un valor adimensional y al ser mayor de 0.005 no es normal; para este caso no lo es. La gráfica muestra los puntos y la línea roja muestra un lineamiento que indica que tan bien ajusta con los puntos; bien justos será normal.

Esta fue la forma como hicimos la prueba de Normalidad de todas las variables con sus datos.

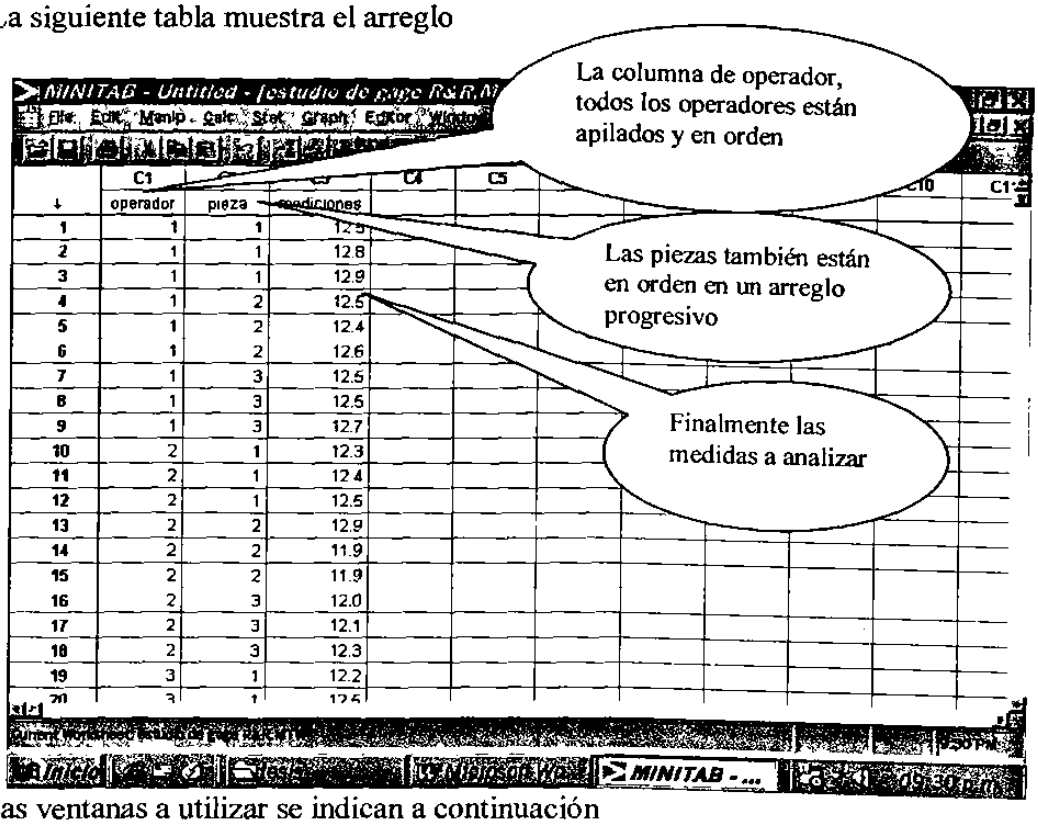
Gage R&R.-

En este estudio estadístico se obtiene como en un sistema de medición se divide el error en los diferentes factores que participan ; Operador, el instrumento y la pieza y desde luego el total , así pues podemos saber que tanto error podemos obtener y decidir si el porcentaje es aceptable o no.

El estudio se corre también en minitab, necesitaremos al menos 3 operadores, 3 piezas y 3 tomas de c/u, se hace un arreglo factorial obteniendo 9 tomas por operador, como

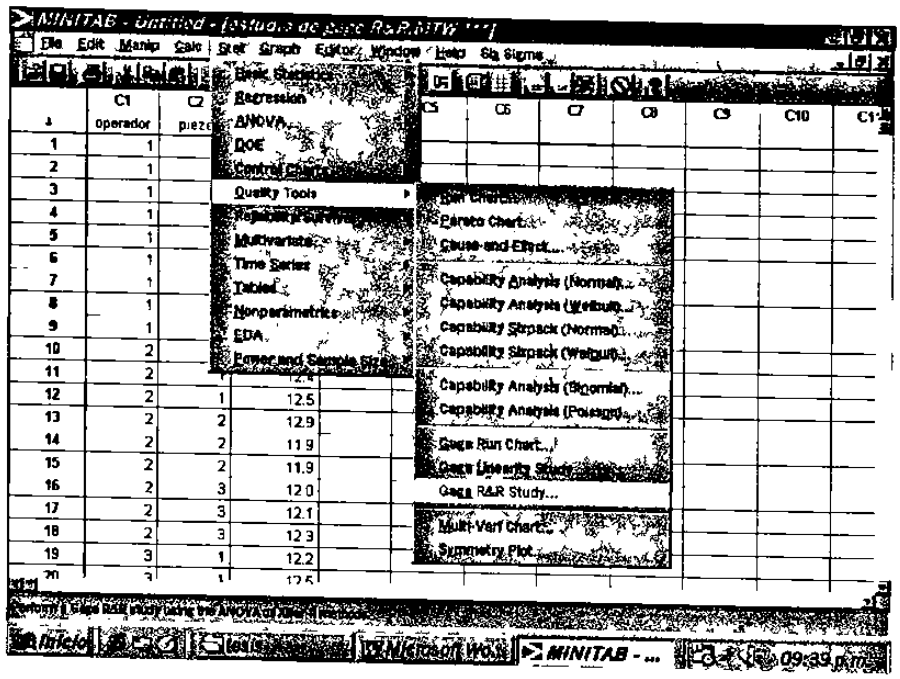
minitab es mas fácil utilizar datos numéricos, los operadores seran cargados como 1,2,3, igualmente las piezas se llamaran 1,2,3 y las oportunidades de cada pieza sera 1,2,3. Desde luego los números pueden cambiar y las muestras ser mayores.

La siguiente tabla muestra el arreglo

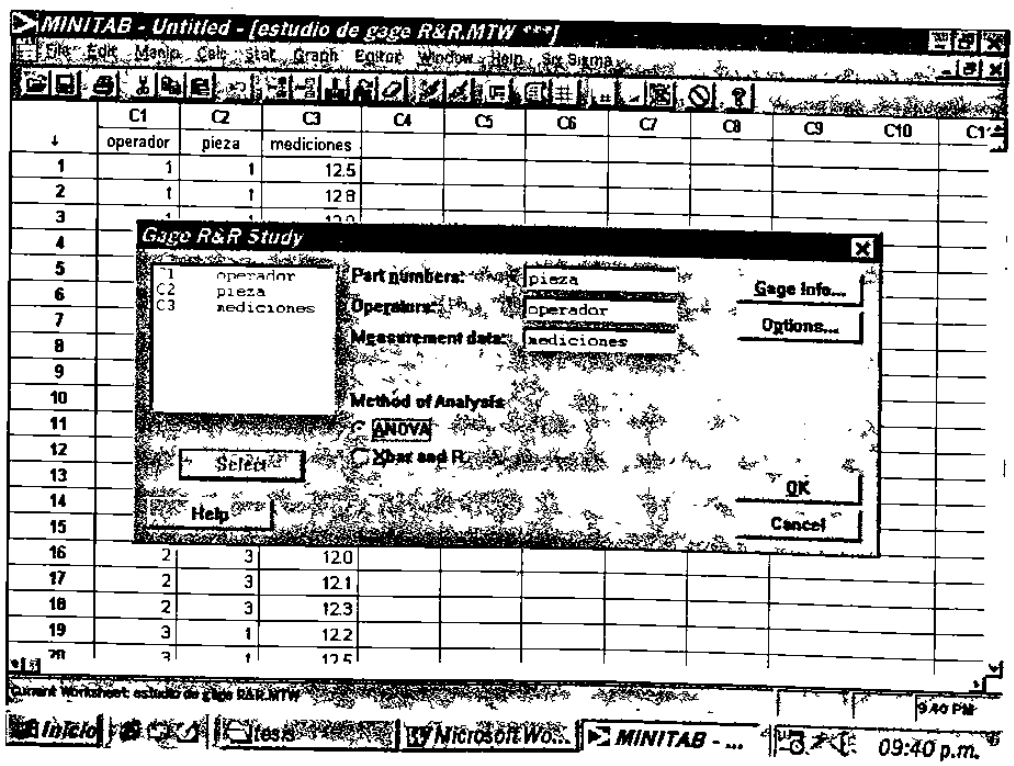


↓	C1 operador	pieza	mediciones
1	1	1	12.5
2	1	1	12.8
3	1	1	12.9
4	1	2	12.5
5	1	2	12.4
6	1	2	12.6
7	1	3	12.5
8	1	3	12.5
9	1	3	12.7
10	2	1	12.3
11	2	1	12.4
12	2	1	12.5
13	2	2	12.9
14	2	2	11.9
15	2	2	11.9
16	2	3	12.0
17	2	3	12.1
18	2	3	12.3
19	3	1	12.2
20	3	1	12.5

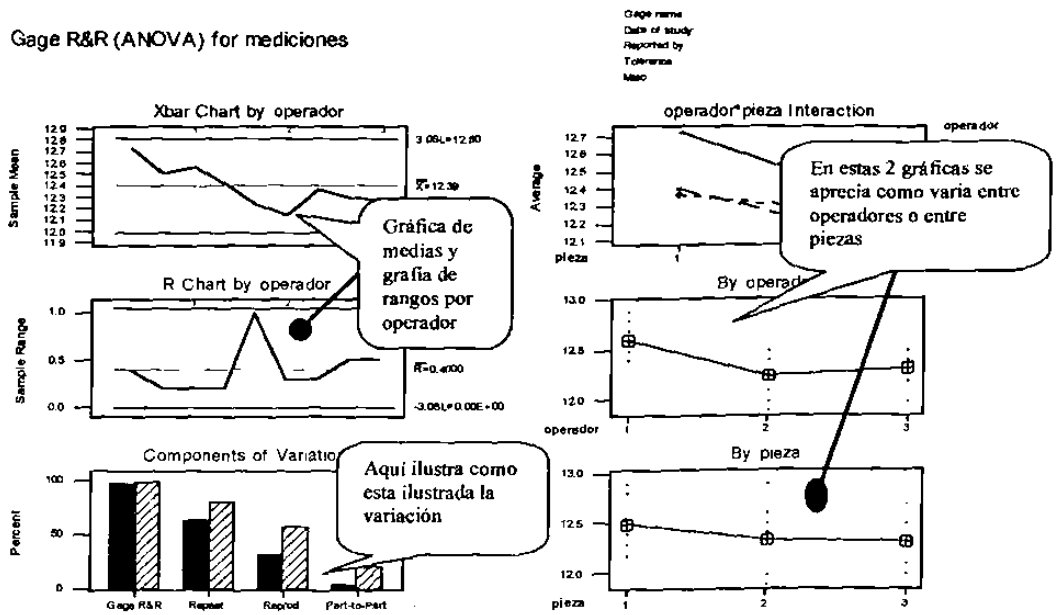
Las ventanas a utilizar se indican a continuación



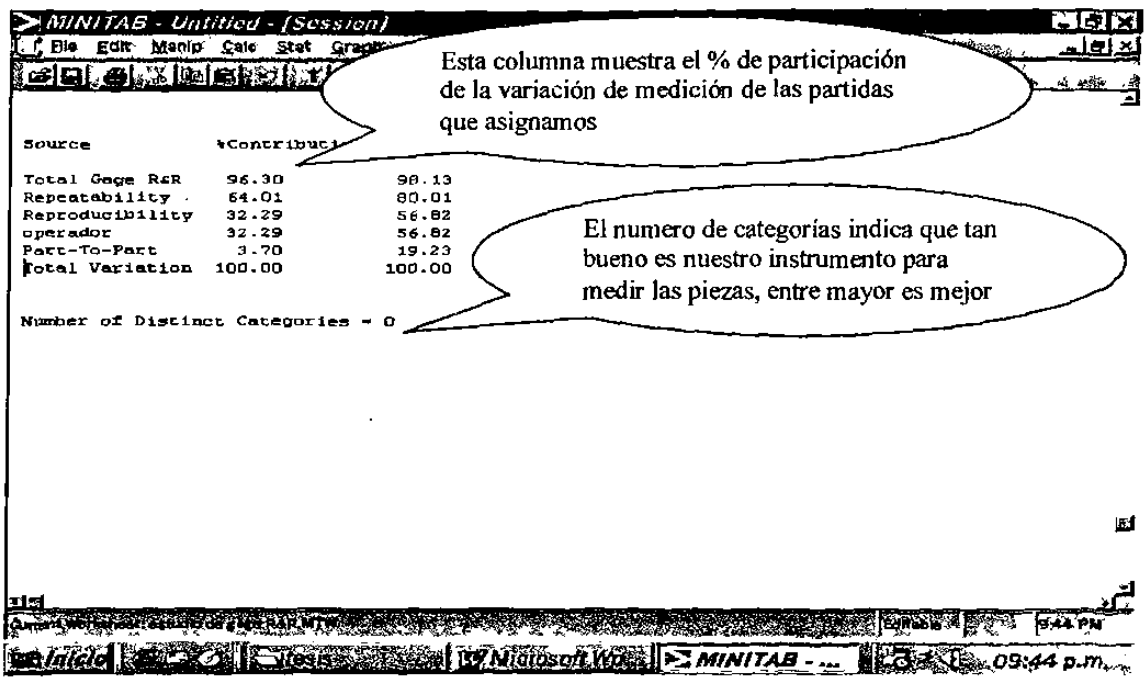
Finalmente se asignan los datos en la ventana siguiente como se ilustra, la asignaciones se hacen como se muestran en los cuadros de selección



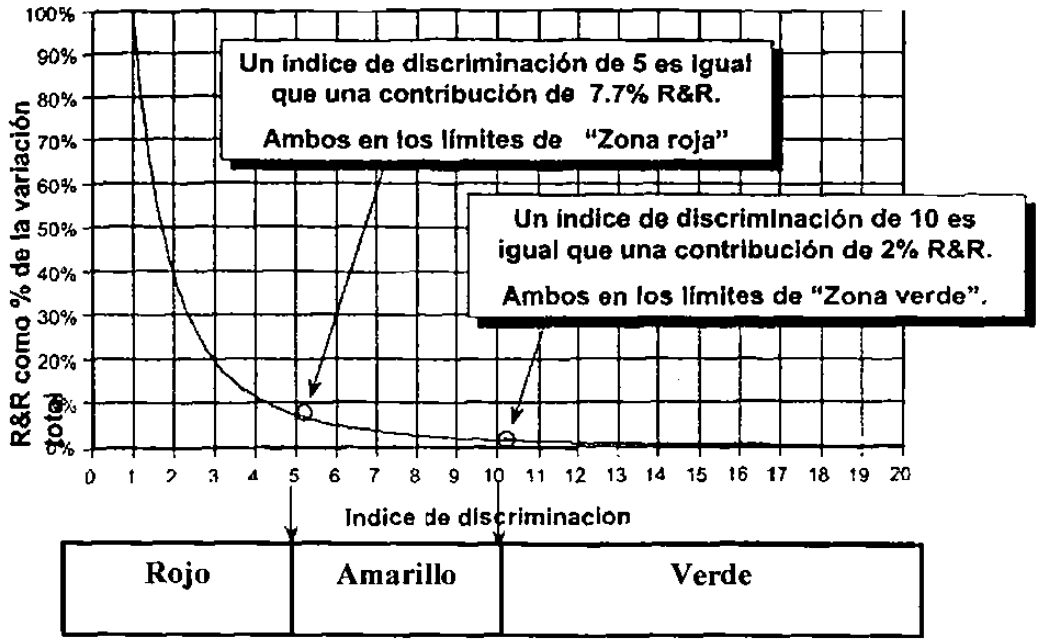
Los resultados típicos se muestran a continuación, con gráfica



Y escritos tipo resumen, esta es la manera mas rápida de interpretarla:



En base a los resultados anteriores se hace la interpretacion en la siguiente grafica



La zona roja indica rechazo del sistema de medición, la amarilla apenas aceptable, pero seria bueno trabajar en mejorar el sistema de medición y la zona verde indica que funciona bien y es aceptado sin problemas.

DOE.- El diseño de experimentos ha sido corrido también en el programa de Minitab

En esta técnica se busca determinar la validez de una hipótesis Ho , y su hipótesis alternativa H1. La técnica utilizada es la llamada 2K factorial;

Donde Ho: establece que las variables X;Y;Z tienen efecto sobre la variable A

H1: las variables X,Y,Z no tienen efecto sobre A.

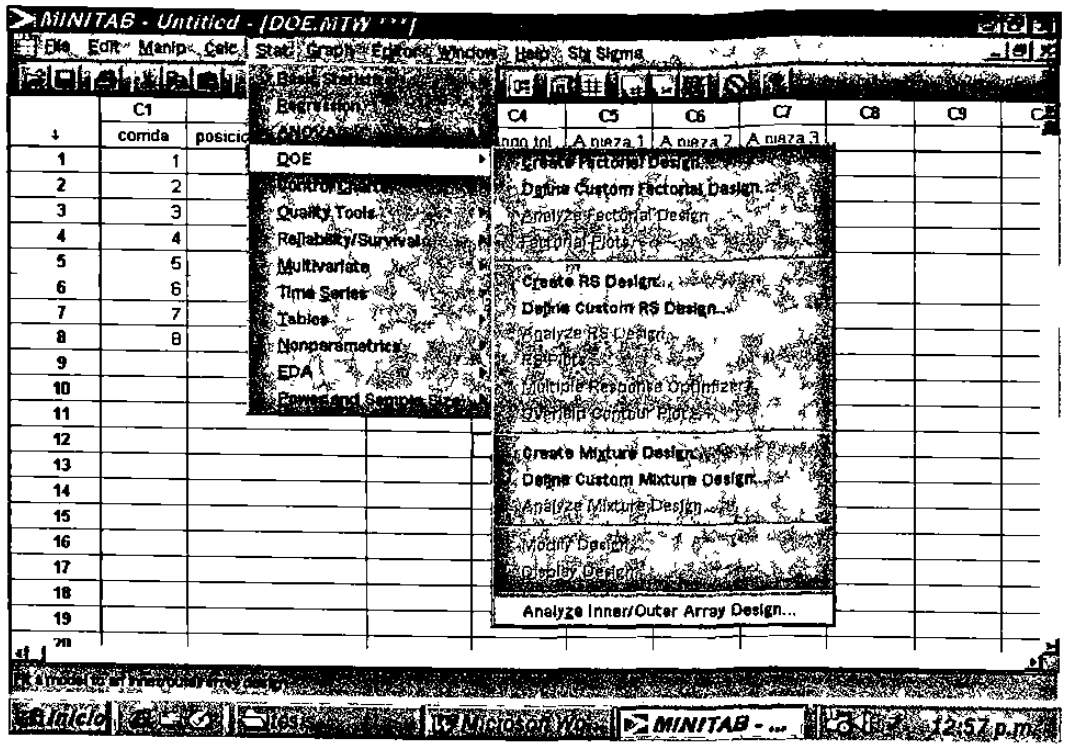
Las variables X,Y, Z se limitaran a tomar solo 2 valores a definir siendo alto o bajo aun y cuando sean variables continuas (Solo defina un rango) o atributos.

Así las variables XYZ tendrán solo 2 valores 1 o –1

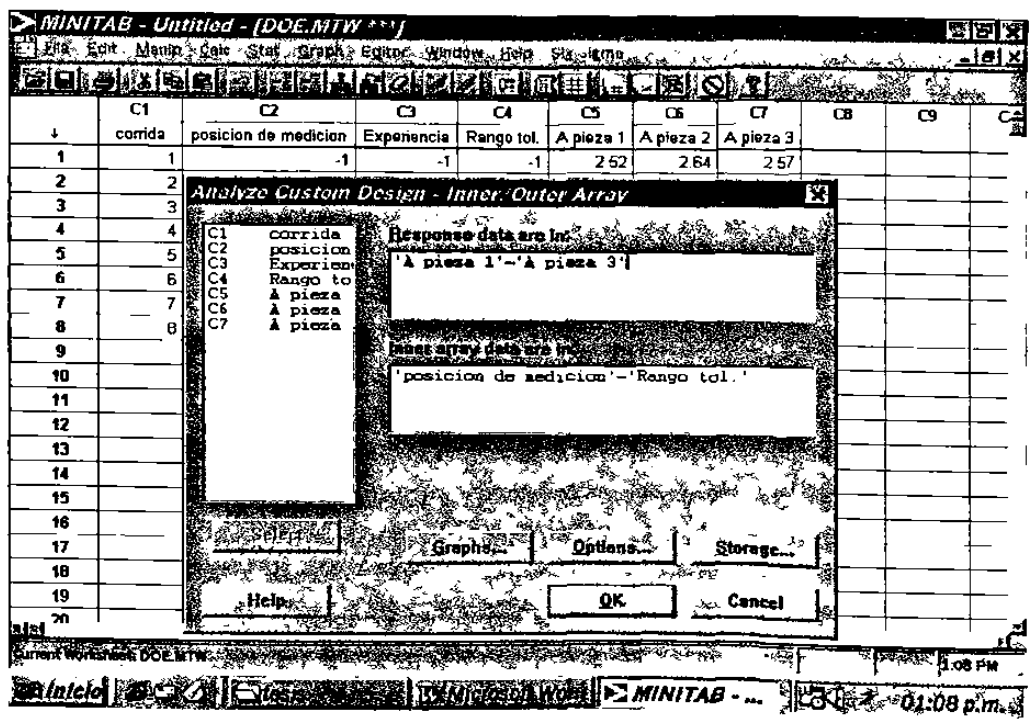
Para diseñar el experimento se construye una tabla donde se harán todas las posible combinaciones de las variables involucradas (recuerde , solo 2 valores).

Para cada opción se tomaran 1 medicion a cada una de las tres piezas. Y se genera una tabla como la # 7, de forma idéntica se carga en Minitab.

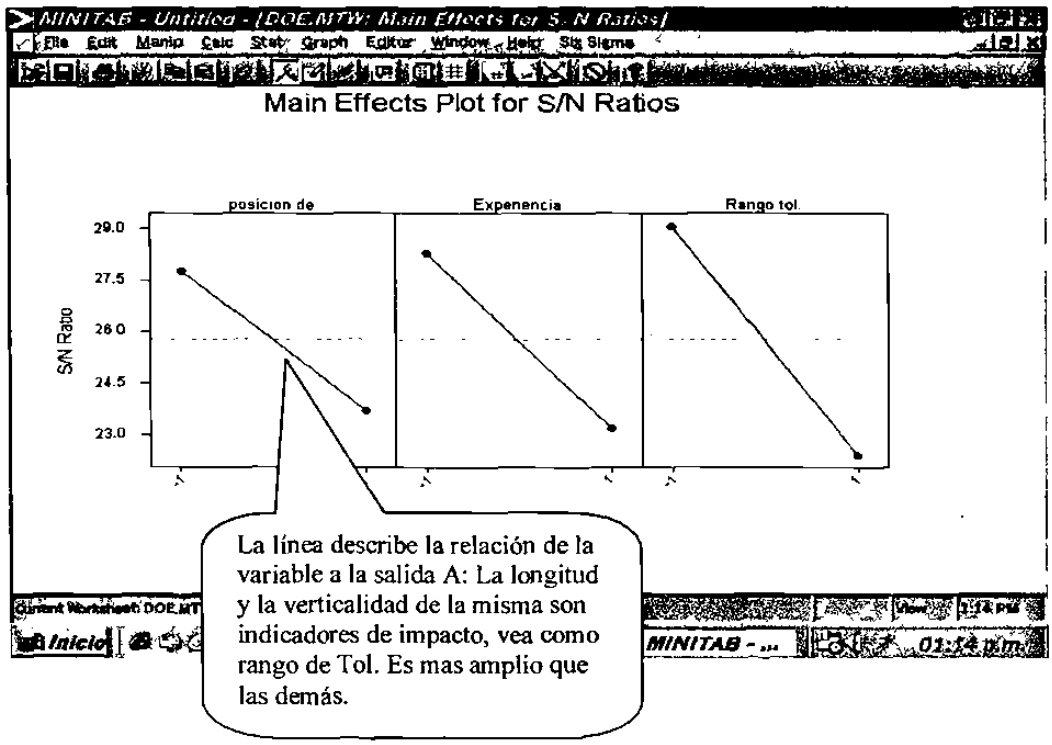
Se seleccionan las siguientes ventanas para correr el DOE



Al seleccionar la segunda ventana se habré un cuadro de dialogo preguntando por los resultados (A en pieza 1,2 y 3) y las variables (posición, experiencia y Rango).



Los resultados del DOE se muestran a continuación:



Si las líneas rectas hubieran sido horizontales se demostraría que esa variable no impacta sobre la salida A, al menos en el rango que supusimos. Estos experimentos se pueden ir haciendo de manera general desde un amplio espectro hasta un rango fino, cerrando los rangos de valor de cada variable, logrando así un valor optimo.

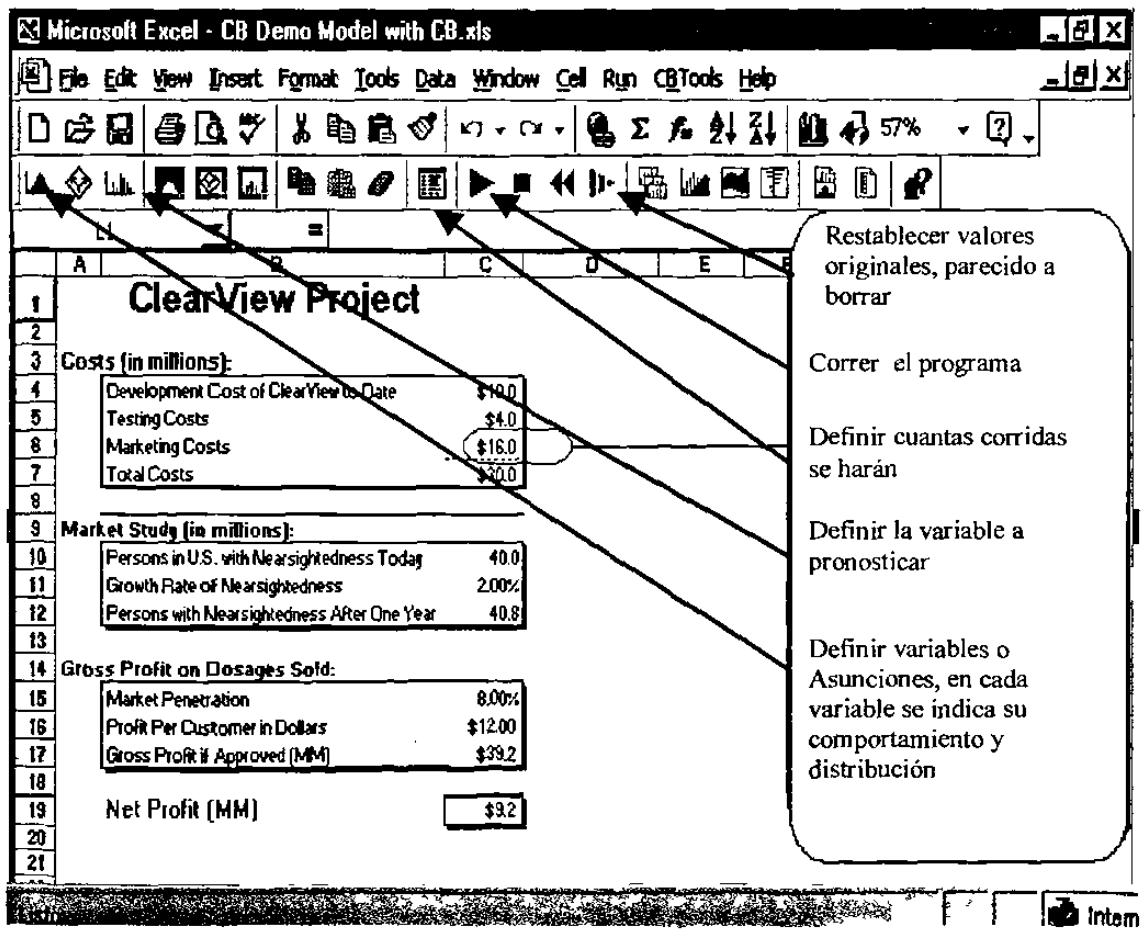
Estadística Descriptiva:

Para un grupo de datos cualesquiera el buscar su media, desviación estándar y gráfica de distribución, es muy fácil, mediante Excel, calculadora o minitab, se practico con minitab por ser mas rápido.

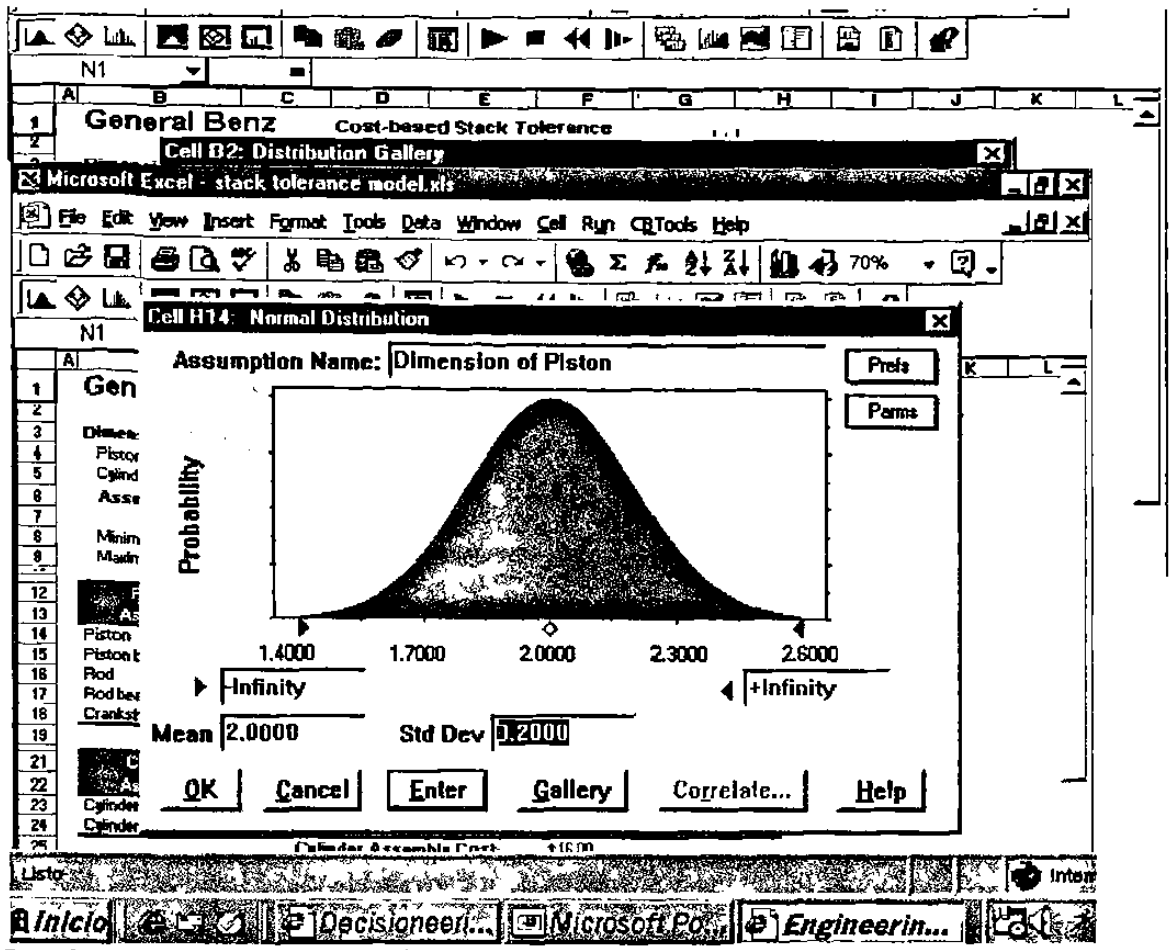
Los datos se manejan en una columna y se selecciona " Stat" y "Descrptive Statistics", la presentación típica de los resultados se presenta como en la fig. 5.4.

Crystal Ball.- Es un software para la administración y análisis de riesgos propiedad de decisión Engineering LTD. UK y se pueden accesar demos a traves de su pagina en Internet WWW.decisioneering.com. Se utilizo la versión "2000.2 Standard Edition". Básicamente es una macro de el programa de Excel en el que básicamente se hacen pronósticos en base a una formula típica de Excel y se define cuales de estas serán variables y que comportamiento estadístico se tiene, se define cuantas pruebas o valores aleatorios tomaran las variables y se obtienen valores de salida describiendo su comportamiento.

En la siguiente figura se muestra la ventana típica del programa:



Al definir cada variable se deberá seleccionar su distribución, de la siguiente galería de posibilidades



Los datos adicionales de cada distribución y de cada variable deben ser introducidos, en el caso de la distribución normal, la media y la desviación estándar son necesarias, en los limites se marcan ya sea las tolerancias o el nivel de % de confiabilidad que se desea

Se define cual variable será la que se pretende predecir

Se definen en numero de pruebas a ejecutar, en nuestro caso se corrieron 1,000 pruebas

Los resultados se la prueba se presentan en forma de gráfica tal y como en la figura 5.2. Donde básicamente se muestra una distribución de la variable incógnita con sus parámetros en las corridas efectuadas, y en la gráfica de barras horizontales, se muestra que tan significativo son las variables que involucraste sobre la variable de salida.

Al final cuando concluyes , conviene regresar las variables a sus valores originales.

RESUMEN AUTOBIOGRAFICO

El Ing. José Candelario Gutiérrez Rodríguez Estudiante de la División de Postgrado de la FIME presenta la tesis " Análisis y Solución a la Problemática del Ensamble Mecánico del Núcleo y la Bobina en Planta Fabricante de Transformadores de Tipo Industrial Inmersos en Aceite " , para su defensa en la obtención del grado de Maestro en Ciencias de la Manufactura con Especialidad en diseño de producto".

El Ing. José Candelario Gutiérrez Rodríguez es originario de la ciudad de Monterrey N.L., nacido el 23 de Marzo de 1966.

Hijo de el Sr. Candelario del Carmen Gutiérrez Rodríguez y la Sra. María Lidia Rodríguez Morales.

El Ing. Gutierrez se gradúo en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica como Ingeniero Mecánico Administrador en Enero del año 1989 con promedio de 90. Además se gradúa de su curso de Ingles en el instituto de "Ingles Individual" en noviembre del año 1999, y en diciembre del año 2000 obtuvo su grado de "Green Belt" en la metodología "Six Sigma".

El Ing. Gutiérrez ha laborado en múltiples puestos en la industria local desempeñando actividades de Supervisión de Producción, Control de Producción, Negociaciones en Outsourcing, Jefatura de Calidad, Jefatura de Producción, Jefatura de Manufactura, Capacitación, Mantenimiento de equipos en programas de TPM , Seguridad Industrial y Ecología (EHS) y múltiples proyectos de Inversión.