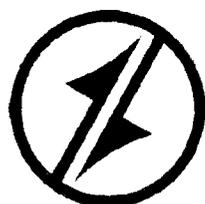
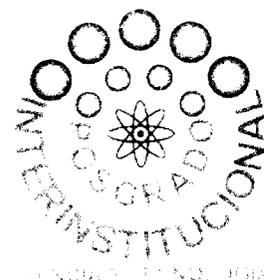


**CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



**COMIMSA**



***Modelo de Aseguramiento de Calidad para la  
Manufactura de Nuevos Productos***

**TESIS**

**Que para obtener el Grado Académico de**

**Maestro en Ciencia y Tecnología en la Especialidad de Ingeniería  
Industrial y de Manufactura**

**Presenta:  
Luis Gilberto Reséndiz Zamudio**

**Saltillo, Coahuila. Febrero 2010**

**Modelo de Aseguramiento de Calidad para la Manufactura de Nuevos  
Productos**

**Por**

**Luis Gilberto Résendiz Zamudio**

**Tesis**

**Presentada al Programa Interinstitucional en Ciencia y Tecnología**

**Sede**

**Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S. A. de C. V.**

Como requisito parcial para obtener el Grado Académico de

***Maestro en Ciencia y Tecnología en la Especialidad de Ingeniería  
Industrial y de Manufactura***

**Programa Interinstitucional en Ciencia y Tecnología COMIMSA / CONACyT**

Saltillo, Coahuila. Febrero 2010

CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES, S.A. DE C.V.

**GERENCIA DE DESARROLLO HUMANO  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

Los miembros del Comité Tutorial recomendamos que la Tesis "Modelo de Aseguramiento de Calidad para la Manufactura de Nuevos Productos", realizada por el alumno Luis Gilberto Reséndiz Zamudio, matrícula 026IM3040, sea aceptada para su defensa como Maestro en Ciencia y Tecnología con Opción Terminal en Ingeniería Industrial y de Manufactura.

**El Comité Tutorial**



---

**Tutor Académico**

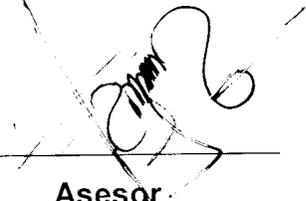
Dr. Manuel Román Piña Monarrez



---

**Tutor de Planta**

Ing. Manuel Martínez Pineda



---

**Asesor**

Dr. Pedro Pérez Villanueva



---

**Vo Bo**

MC. Claudia A. González Rodríguez  
Coordinador de Posgrado

**Corporación Mexicana de Investigación en Materiales**  
**Gerencia de Desarrollo Humano**  
**División de Estudios de Postgrado**

Los abajo firmantes, miembros del Jurado del Examen de Grado del alumno, **Luis Gilberto Resendiz Zamudio** una vez leída y revisada la tesis titulada **“Modelo de Aseguramiento de Calidad para la Manufactura de Nuevos Productos”** aceptamos que la referida tesis revisada y corregida sea presentada por el alumno para aspirar al grado de Maestro en Ciencia y Tecnología con Especialidad en Ingeniería Industrial y de Manufactura durante el Examen de Grado correspondiente.

Y para que así conste firmamos la presente a los (días) del mes de Enero del año 2010.



Dr. Héctor Escalona Buendía  
Presidente



Dr. Mario Cantú Sifuentes  
Secretario



Dr. Luis Martín Torres Treviño  
Vocal



Dr. Ismael López Juárez  
Vocal



Dr. Manuel Román Píña Monarrez  
Vocal

## DATOS GENERALES DEL PROYECTO

Título: Modelo de Aseguramiento de Calidad para la Manufactura de Nuevos Productos

Institución proponente: Mabe México S. de R. L. de C. V.

Tutor Académico: Dr. Manuel Piña Monarrez

Asesores Propuestos: Dr. Pedro Pérez Villanueva

Costo estimado del proyecto: \$150, 000.00

Fuente de financiamiento: Mabe México S. de R. L. de C. V.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer en primer lugar a Dios por permitirme la vida que ha sido de salud, prosperidad y felicidad. Agradecer a mi esposa Gloria y a mi hijo Fernando por el amor y paciencia que mostraron desde el inicio.

Quiero hacer un especial agradecimiento mi tutor académico, el Dr. Manuel Román Piña Monarrez y a mi asesor, el Dr. Pedro Pérez Villanueva, por su dedicada atención, tutoría y consejos que me proporcionaron durante mi estancia en la Institución, así como para la elaboración y corrección del presente trabajo, de igual manera agradecer a mi tutor de planta, el Ing. Jesús Manuel Martínez Pineda por su apoyo incondicional que brindó desde el inicio de proyecto y por gestionar los recursos para la experimentación e implementación de las mejoras propuestas en la presente investigación.

Agradezco también a la compañía Mabe Planta Saltillo y su personal por las facilidades otorgadas y por permitirme el tiempo que se dedicó para la investigación y desarrollo del presente trabajo.

Agradezco de igual manera a mis compañeros y amigos de COMIMSA que siempre nos apoyaron en las actividades académicas, profesionales y personales.

Finalmente agradezco COMIMSA y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado para lograr esta meta.

## RESUMEN

Mabe es una empresa mexicana dedicada a la manufactura de electrodomésticos que cuenta con diversas plantas de producción en México, Canadá, Centro y Sudamérica. En la planta Saltillo se producen hoy día lavadoras de ropa automáticas de uso doméstico y de reciente producción también secadoras de ropa para exportación a Norteamérica.

La presente investigación se realizó durante el desarrollo de un nuevo producto, en este caso de una secadora de ropa, incluyendo la transferencia del diseño a la producción en serie. La problemática fundamental analizada es el impacto negativo a los indicadores de calidad y productividad al arranque de la producción en serie medidos en porcentaje de retrabajos, índice de llamadas de servicio por garantía y la capacidad de los procesos de manufactura internos. Se planteó seguir una serie de pasos como metodología para la planeación, análisis, implementación y validación, basada en el análisis de procesos y productos similares, (ver sección 4.1), implementación de herramientas de aseguramiento de calidad y de análisis estadístico de procesos.

Las acciones implementadas garantizaron la calidad y funcionalidad de las secadoras ensambladas, por medio un sistema de pruebas para detectar productos fuera de especificación, la certificación de cada uno de los pasos y procesos de la línea de ensamble y con el control de los procesos internos de manufactura, en este caso del tambor (ver sección 4.4.5).

Para el ensamble del tambor se determinó que las variables involucradas del proceso están correlacionadas, por lo que un sistema de monitoreo y control convencional donde se considera sólo una variable no era adecuado, se determinaron primero las variables críticas de este proceso así como las variables que las afectaban, posteriormente se planteó obtener variables que representaran a éstas y la correlación entre ellas, basado en el cálculo de los eigenvalores (ver sección 4.5.5) se implementó un gráfico de control basado en estos últimos que sirve para monitorear, de manera constante, el comportamiento del ensamble tomando en cuenta las dos variables críticas (Altura y Diámetro) y la relación entre ellas así como determinar cuándo el proceso está fuera o dentro de control.

Los objetivos planteados al inicio del proyecto de manufactura de secadoras y plasmados en el presente trabajo fueron: Reducción del Índice de retrabajos y llamadas de servicio y el cumplimiento capacidad de los procesos internos de manufactura. Finalmente consideramos que estos objetivos fueron cumplidos y la metodología implementada servirá para los futuros proyectos de la compañía.

# CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>01</b>
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>03</b>
2.1 Descripción del Problema .....	03
2.2 Preguntas de Investigación.....	04
2.3 Hipótesis.....	04
2.3.1 Hipótesis General.....	05
2.3.2 Hipótesis Específicas.....	05
2.4 Objetivos.....	05
2.4.1 Objetivos Generales.....	06
2.5 Justificación .....	06
2.6 Delimitaciones .....	08
2.7 Supuestos .....	08
<b>3. MARCO TEORICO .....</b>	<b>09</b>
3.1 Antecedentes de la Calidad en el Mundo.....	09
3.2 Perspectiva Actual de Calidad.....	10
3.3 Herramientas Empleadas para el Control de la Calidad.....	12
3.4 Variación de los Procesos.....	16
3.5 Cartas de Control de una Variable.....	17
3.5.1 Proceso para Realizar las Cartas de Control.....	19
3.6 Diseño de Experimentos.....	21

3.6.1	Diseño de Experimentos Factorial.....	22
3.6.2	Adecuación del Modelo en un Diseño de Experimentos.....	25
3.7	Análisis de Regresión.....	26
3.7.1	Modelo de Regresión Lineal.....	26
3.7.2	Modelo de Regresión Lineal Múltiple.....	28
3.8	Métodos Multivariados para el Análisis de Datos.....	30
3.8.1	Distribución Normal Multivariada.....	30
3.8.2	Eigenvalores.....	32
3.8.3	Análisis de Componentes Principales.....	33
3.8.4	Cartas de Control Multivariadas.....	34
3.9	Teoría de Colas.....	35
3.9.1	Proceso de Colas Elemental.....	37
<b>4.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>39</b>
4.1	Detalle de las Etapas de la Ejecución del Proyecto.....	39
4.2	Inicio del Proyecto.....	42
4.2.1	Detalle de Productos a Manufacturar.....	43
4.3	Análisis de Productos y Procesos Similares.....	45
4.3.1	Detalle de Fallas de Producto Actual.....	45
4.3.2	Detalle de Capacidad de Proceso Similar.....	47
4.4	Planteamiento.....	48
4.4.1	Causa Raíz Defectos de Ensamble.....	49
4.4.2	Definición del Plan de Inspección y Pruebas.....	50

4.4.3	Numero de Estaciones de Pruebas de Producto Terminado	53
4.4.4	Flujo y Manejo de Información de Pruebas e Inspecciones	56
4.4.5	Descripción de los Procesos Críticos a Manufacturar	57
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>60</b>
5.1	Equipos de Pruebas de Producto Terminado	60
5.2	Definición de Procesos Críticos de Ensamble	64
5.2.1	Análisis Modo y Efecto de Falla Diseño Máquinaria Tambor	64
5.2.2	Requerimientos y Selección de Proveedor	66
5.2.3	Layout Estaciones de Máquina para Tambor	67
5.3	Certificación de Proceso para Ensamble Tambor	69
5.3.1	Análisis del Sistema de Medición	70
5.3.2	Planificación de la Recolección de Datos	72
5.3.3	Análisis de la Capacidad del Proceso	73
5.3.4	Contribuidores a la Variabilidad de la Respuesta	77
5.4	Determinación de las Variables de Proceso que Afectan la Característica de Calidad del Tambor	80
5.5	Definición del gráfico de Control para Variables del Tambor	82
5.6	Implementación y Monitoreo de los Procesos	83
5.7	Medición del Desempeño Interno de Ensamble y de Llamadas de Servicio de Garantía del Producto	87

<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>90</b>
<b>6.1 Validación de las Hipótesis.....</b>	<b>90</b>
<b>6.2 Alcance de los Objetivos Planteados.....</b>	<b>90</b>
<b>6.3 Conclusiones.....</b>	<b>91</b>
<b>6.4 Recomendaciones.....</b>	<b>92</b>
<b>7. REFERENCIAS.....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXO A.</b>	
<b>MANUAL DE OPERACIÓN.....</b>	<b>96</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1 Análisis de Varianza del Modelo de Tres Factores.....	24
Tabla 3.2 Análisis de Varianza para k Factores en dos Niveles.....	25
Tabla 4.1 Contribución a los Defectos en Pruebas de Producto Terminado....	46
Tabla 4.2 Fallas de Productos Rechazados en Pruebas Finales.....	47
Tabla 4.3 Desempeño de Procesos Similares.....	48
Tabla 4.4 Tiempos de Prueba para las Secadoras.....	53
Tabla 4.5 Número de Estaciones de Prueba Requeridas.....	55
Tabla 5.1 Listado de Fallas Detectadas para Secadora Eléctrica.....	62
Tabla 5.2 Listado de Fallas Detectadas para Secadora Gas.....	63
Tabla 5.3 AMEF Diseño Máquina para Manufacturar Tambor Secadora.....	66
Tabla 5.4 Resultados Gage R&R Estimados con Minitab.....	70
Tabla 5.5 Valores Altura Total Tambor en Corridas con Proveedor.....	74
Tabla 5.6 Matriz de Datos Contribuidores del Ensamble Tambor Centrados...77	
Tabla 5.7 Variabilidad de los Componentes Tambor y Contribución a Partir de la Matriz B.....	78
Tabla 5.8 Datos para Análisis de Regresión.....	81
Tabla 5.9 Resultados de la Regresión Empleando Minitab.....	81
Tabla 5.10 Eigenvalores de los Grupos de Datos por Semana.....	84

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Diagrama de relación.....	14
Figura 3.2 Sistema de Colas Elemental.....	37
Figura 4.1 Explosionado de Partes de la Secadora a Manufacturar.....	42
Figura 4.2 Secadora Manufacturada en Línea de Ensamble Mabe Saltillo.....	44
Figura 4.3 Diagrama Causa Efecto de Fallas Originadas en el Ensamble.....	49
Figura 4.4 Descripción Pruebas Primer Ensamble Crítico.....	52
Figura 4.5 Ubicación y Flujo de los Puntos de Inspección.....	56
Figura 4.6 Especificaciones Dimensionales Tambor y Crítico de Calidad.....	57
Figura 4.7 Explosionado de Partes que Componen el Tambor.....	58
Figura 4.8 Vista Lateral Componentes que Afectan Longitud del Tambor.....	59
Figura 5.1 Equipos de Prueba de Producto Terminado.....	61
Figura 5.2 Layout Máquina para Ensamble Tambor.....	67
Figura 5.3 Descripción Pasos de Manufactura del Tambor.....	68
Figura 5.4 Medición Altura Tambor.....	70
Figura 5.5 Gráficos del Análisis del Sistema de Medición con Minitab.....	72
Figura 5.6 Comparativo de Índices de Capacidad de Proceso.....	73
Figura 5.7 Análisis de Capacidad de Altura Tambor.....	74
Figura 5.8 Resumen de Resultados Obtenidos e Índices de Capacidad.....	75
Figura 5.9 Gráfica de Cajas para Altura Tambor.....	76
Figura 5.10 Distribución Obtenida por Simulación de Datos de Entrada.....	79
Figura 5.11 Variables del Proceso de Ensamble del Tambor.....	80
Figura 5.12 Gráfico de Eigenvalores para $\lambda_1$ .....	85

Figura 5.13 Gráfico de Eigenvalores para $\lambda_2$ .....	86
Figura 5.14 Porcentaje de Retrabajos de Secadoras.....	87
Figura 5.15 Capacidad de Proceso Altura Tambor Secadoras.....	88
Figura 5.16 Índice de Llamadas de Servicio por Garantía Secadoras.....	89

## 1. INTRODUCCIÓN

Mabe es una empresa de manufactura de electrodomésticos, la planta Saltillo produce actualmente lavadoras de ropa automáticas, y recién comenzó la etapa para desarrollar proyectos para producir también secadoras de ropa para exportación. Uno de los principales problemas que ocurren cuando se están desarrollando nuevos productos es el impacto en indicadores de calidad que se tiene al arranque del proyecto, que puede ser dimensionado con la medición de algunas variables críticas para la empresa, tales como desempeño del producto terminado al final de la línea de ensamble, capacidad de los procesos internos de manufactura, índice de llamadas de servicio de clientes finales, entre otras.

La calidad y confiabilidad de los productos de manufactura se ha convertido en uno de los principales retos de las empresas dentro de la economía global, acelerado por la competencia de mercados y la demanda de mejores productos por parte de los clientes.

Este problema se origina principalmente durante la etapa de planeación, se realizan revisiones de proyectos involucrando a la mayor parte de las áreas del negocio, cabe aclarar que aún así se deja de lado el detalle de los procesos que generan defectos y las causas raíz de los mismos. No existe un análisis detallado que explique y analice la variación de los procesos, sin embargo esto se detecta al arranque a producción de los nuevos productos pero reflejándose en altos índices de reparaciones, desperdicio y un alto índice de llamadas de servicio del cliente final por fallas del producto dentro de los periodos de garantía.

En la presente investigación se propuso una serie de pasos a seguir para asegurar el involucramiento de todas las áreas de la compañía, a partir de las etapas tempranas del diseño de los nuevos productos para analizar los potenciales riesgos, procesos similares y generar acciones que reduzcan y eliminen las causas de los defectos empleando para ello herramientas de análisis y de aseguramiento de calidad.

Se sabe que la mayoría de los procesos de manufactura de cualquier índole tales como: inyección de plásticos, troquelados y estampados, maquinados, fundición, ensamble, etc, se ven afectados por variables propias de cada uno de los procesos y, normalmente, en el análisis de datos que se realiza la afectación del proceso se supone depende de una sola variable a la vez. La mayor parte de técnicas de análisis de datos asumen esta proposición. Con el objetivo de analizar y entender la variación en la respuesta o producto del proceso se debe contemplar todas las posibles variables, analizarlas y definir entonces si se trata de un proceso dependiente de una variable, o bien de muchas variables. Para ello existen herramientas estadísticas tales como: Diseño de experimentos, Regresión, Análisis de capacidad de proceso, Análisis de varianza, Gráficos de control, entre otros. En el presente trabajo se propone una combinación de éstas herramientas para mejorar el proceso bajo análisis. Se propone también realizar una mejora del proceso de validación del producto terminado que garantice la seguridad y funcionalidad respecto a los requerimientos del cliente y de los mercados donde se comercializa.

La metodología propuesta en el presente trabajo fue implementada en uno de los proyectos que inició producción cumpliéndose los objetivos iniciales de desempeño planteados.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Durante el proceso de introducción de nuevos productos, existen factores en los procesos que afectan la manufactura, calidad, productividad y desempeño del producto ensamblado. Durante esta etapa es necesario identificar y analizar estos factores, para minimizar su efecto y generar controles que aseguren el nivel de calidad planteado para el producto.

### **2.1. Descripción del Problema.**

A pesar de existir en la compañía metodologías para revisión de proyectos, es común encontrar que durante las etapas de planeación y transición de los productos a producción, los procesos de manufactura no fueron implementados con los niveles de calidad requeridos debido a limitaciones de tiempo, presupuesto, recursos e instalaciones, entre otros por lo que el control de los mismos una vez iniciada la producción en serie, se convirtieron en tareas adicionales de identificación, análisis y mejora, que requieren de tiempo y que generalmente no pudieron ser atendidas debido a los requerimientos de volúmenes de producción.

Algunos proyectos implementados han tenido niveles de desempeño menores al 90% medidos como porcentaje de retrabajos de producto terminado lo que refleja un alto desperdicio en tiempos de operación y fabricación de productos defectuosos que a pesar de ser detectados mediante inspecciones y pruebas internas, generaban retrabajos y pérdidas.

El indicador de largo plazo para la calidad de los electrodomésticos manufacturados es el índice de llamadas de servicio del cliente final, que en proyectos anteriores de nuevos productos ha rebasado el 10% y algunos de los

procesos internos de manufactura no garantizaban un adecuado control, originado principalmente por dos razones: las variables controladas no resultaron ser las que adecuadamente garantizaban la respuesta del proceso o bien la medición y monitoreo establecidos no describían la variabilidad real de los mismos.

## **2.2. Preguntas de Investigación**

¿Cómo planear y ejecutar el proceso de calidad desde el inicio de un proyecto, hasta el arranque a producción en serie, garantizando el cumplimiento de los resultados planteados de desempeño y calidad?

¿Qué tipo de controles pueden aplicarse a los procesos de manufactura internos que generen productos o procesos estables y dentro de los parámetros establecidos cuando son afectados por más de una variable?

¿Las variables que afectan la variabilidad de los procesos de manufactura pueden ser analizadas de manera independiente? o ¿Deben considerarse todas en conjunto para tomar en cuenta las correlaciones que pudieran existir entre ellas y obtener un análisis más preciso?

## **2.3 Hipótesis**

La sección está estructurada para presentar las hipótesis generales y específicas de la presente investigación

### **2.3.1 Hipótesis General**

**H<sub>1</sub>:** Una metodología que integre conceptos de gestión de la calidad y herramientas estadísticas y de control de procesos, mejora significativamente el proceso de manufactura de nuevos productos, manteniendo el nivel de desempeño durante la producción en serie.

### **2.3.2 Hipótesis Específicas**

**H<sub>1</sub>:** La aplicación de controles, inspecciones y pruebas, derivados del análisis de los procesos y productos a manufacturar, asegura la funcionalidad y seguridad del producto con porcentajes de desempeño mayores a 94%.

**H<sub>2</sub>:** La identificación, análisis y control de las relaciones entre las variables significativas de los procesos, garantizan la producción de partes dentro de especificación.

## **2.4 Objetivos**

Los objetivos están dirigidos al control de procesos y puntos de inspección o validación que serán realizados durante la planeación e implementación de la producción de productos y procesos de nueva introducción.

### **2.4.1 Objetivos Generales**

1. Mejorar el nivel de calidad en los productos de nueva introducción a través de la mejora y control de los procesos, integrando conceptos de gestión de la calidad y herramientas estadísticas de análisis y control de procesos logrando un índice de llamadas de servicio menor o igual a 8.3%, y el porcentaje de reparación al final de la línea de ensamble menor o igual a 6% especificado como índice de retrabajos. Ambos indicadores son los establecidos por la empresa como objetivo del proyecto.

2. Determinar los factores que afectan a la variabilidad de los procesos internos de manufactura e implementar un método de análisis estadístico de datos y control con las variables identificadas, que sirva para monitorear el proceso e identificar cuando está fuera de control. Indicador: Procesos con ppm's menores a 3.4 que aseguran el proceso está dentro del objetivo planteado por la empresa bajo la metodología de seis sigma.

### **2.5 Justificación**

Se requiere mejorar el método de aseguramiento y control de calidad durante la introducción de nuevos procesos, es necesario planear y analizar los factores que afectan los procesos de manufactura que den como resultado un arranque de proyecto exitoso. Es de vital importancia que los nuevos procesos de manufactura sean ejecutados y liberados cumpliendo los estándares de calidad planteados, implementando control de proceso que garantice el cumplimiento de las especificaciones requeridas. A pesar de que Mabe sigue los lineamientos de revisiones durante el desarrollo de proyectos de nuevos productos, en la etapa de transición entre el diseño y la manufactura, existen riesgos y efectos que pueden no ser detectados en tiempo.

Históricamente durante la introducción de nuevos productos existe un incremento en el índice de llamadas de servicio, que ha alcanzado niveles de 10% una vez iniciada la producción en serie, lo que también puede reflejar fallas de producto o incremento en los niveles de rechazo al final de la línea de ensamble cuando el producto es verificado en pruebas e inspecciones, llegando a niveles de retrabajos de 9%. Es indispensable identificar los factores que provocan los defectos, para generar acciones adicionales que aseguren que la transición sea de forma transparente, sin afectar los niveles de productividad y calidad de las plantas productivas de Mabe.

Uno de los indicadores de calidad más críticos para la compañía, es el índice de llamadas de servicio realizadas por el cliente para reportar fallas que deben ser reparadas ya que se encuentran dentro del periodo de garantía; esto afecta la imagen y percepción del producto ante los clientes y es además un indicador financiero, ya que cada llamada para atender un servicio tiene un costo de \$400 pesos por los servicios y visita del técnico para la reparación; además de las refacciones que se empleen, el costo para servicio en productos vendidos en Estados Unidos y Canadá es de 110 Dólares Americanos. El costo anualizado pagado, por este concepto, varía dependiendo el volumen de producción y venta de los electrodomésticos, por cada punto porcentual de llamadas de servicio el costo anualizado oscila entre \$ 1,300,000 y \$1,500,000 pesos. Al reducir este indicador a un máximo de 8% (siendo el nivel actual 11%) el ahorro anualizado es de \$3,000,000 de pesos.

El control de los procesos de manufactura es fundamental, se cuenta actualmente con algunas herramientas de control para una variable o respuesta, sin embargo, es necesario el análisis e implementación de técnicas de control que atiendan a las múltiples respuestas y entradas de los procesos a fin de

obtener una mejor caracterización y control de los mismos, de otra manera los resultados con los cuales se determina el desempeño de los procesos no reflejarán la interacción de todas las variables y las decisiones pueden ser tomadas con datos incorrectos. Actualmente, se realizan análisis de contribución a la varianza por medio de una hoja de cálculo Berryman basada en la proporción de las sumas de cuadrados de cada variable contra la suma de cuadrados total, desafortunadamente esta herramienta no toma en cuenta la relación multivariante. Los métodos de control de procesos actuales, en todas las aplicaciones, asumen que sólo son afectados por una variable, por lo que se requiere de nuevas técnicas para realizar el análisis de los procesos, incluyendo aquellos que dependan de más de una variable.

## **2.6 Delimitaciones**

El alcance del proyecto de investigación aplica a los procesos de manufactura que se identifiquen críticos para los proyectos de implementación de nuevos productos, no incluye los controles o acciones con proveedores de materia prima para el resto de las operaciones de la línea de ensamble. El proyecto de investigación se centra en la identificación de los factores que afectan a los procesos, y la forma de monitoreo, validación y control.

## **2.7 Supuestos**

Se considera que el diseño del producto, así como el de las partes a manufacturar, es el adecuado ya que la aplicación y análisis con herramientas estadísticas parte de este supuesto. Se supone también, que la materia prima y componentes entregados por proveedores externos, están libres de defecto, a menos que éstos se encuentren relacionados directamente a los procesos bajo análisis de este proyecto.

### **3. MARCO TEÓRICO**

Dentro de este apartado, se describen brevemente algunos antecedentes de los fundamentos de la calidad, así como herramientas estadísticas para el análisis de procesos.

#### **3.1 Antecedentes de la Calidad en el Mundo**

Se habla de calidad en cualquier parte de nuestras vidas, analizando arte, evaluando las cosas que hacemos, juzgando un servicio que se nos brinda. El concepto de calidad existe desde que el hombre ha adquirido bienes o servicios, y los compara contra lo que espera de los mismos.

La definición de calidad dependerá de la perspectiva con lo que sea analizada, pudiendo ser ésta filosófica, económica, social, y desde el punto de vista de administración de procesos, esta última de mayor interés para el área de manufactura de procesos.

La administración de negocios y calidad, en forma metodológica comienza durante la primera revolución industrial (1760-1830), envolviendo de igual manera a ingenieros, administradores, ejecutivos, gobierno. Para la segunda revolución industrial (1871-1914) la aplicación del método científico seguía siendo la fuente de mejoras en la industria, éste fue aceptado, de manera general, ya que se podía probar, por comparación empírica o experimentación, que una máquina era mejor que otra.

A través de los últimos tres siglos, otro evento clave en la administración de calidad fue la estandarización, definiendo un estándar como un requerimiento

definido, observable y medible, al cual se quiere llegar comparando el resultado a medir contra el estándar. si se está alejado del mismo. se tendrá que corregir lo que se realizó a fin de acercarse lo más próximo posible al estándar [Kemp, 2006].

La primera industria que utilizó la estandarización para la mejora de sus procesos fue la industria militar, que hasta la fecha ha sido precursora del aseguramiento y administración de calidad.

### **3.2 Perspectiva Actual de Calidad**

Al inicio de los 80's, los clientes se transformaron en un factor trascendente, comenzando a demandar productos de alta calidad y servicios a costos razonables, la globalización de los mercados ha generado que este tipo de productos estén disponibles en cualquier parte del mundo [Ozden y Karpak, 2007].

La competitividad se basa en ofrecer características como calidad, bajo costo, desempeño, apariencia e innovación en los productos, manteniendo la rentabilidad del negocio. Decisiones estratégicas, administración de proyectos, sistemas de calidad y mejora continua, deben ser enfocadas a desarrollar nuevos productos tomando en cuenta los requerimientos del cliente.

Diseños robustos, manufacturables, de bajo costo y con estándares de calidad que aseguren el éxito durante su introducción en los diferentes mercados, son soporte fundamental para el éxito de las compañías.

La administración de la calidad comenzó simplemente como un método de selección y sorteo de productos defectuosos de la producción en la inspección al final de la línea de producción. Hechos históricos como la segunda guerra mundial, obligaron a las industrias a mejorar el control de los procesos de producción a fin de reducir la cantidad de piezas defectuosas. Este cambio de "Inspección" a "Prevención" tuvo enormes implicaciones en la industria de la manufactura, la idea era mejorar los sistemas de producción para prevenir defectos contrario a inspeccionar y separar los productos defectuosos, esta acción tuvo lugar usando muestreos para la calificación de procesos y como una forma de monitoreo para garantizarlos bajo control [Hick, 1998].

Otro aspecto de crucial importancia para ofrecer productos competitivos, es la introducción de nuevos productos enfocados a satisfacer y superar las expectativas del cliente final. La forma y tipo de proyectos que se implementen para el desarrollo y ejecución de nuevos productos varía de acuerdo al país o compañía que realiza el proyecto. Factores críticos como el tiempo de implementación, costo de desarrollo, innovación, desempeño, marcan la diferencia de una exitosa introducción de productos al mercado [Tennant, 2001].

Las compañías asociadas al desarrollo de productos, tienden a definir y documentar su proceso de introducción de nuevos productos como una serie de fases que varían en términos de su planeación y detalle. Las herramientas y técnicas de mejora de calidad y confiabilidad son numerosas y bien documentadas, pero para beneficiarse de la aplicación de estas técnicas, deben ser analizadas, adaptadas y sobre todo empleadas en las primeras fases del desarrollo de proyectos para tomar ventaja del relativo bajo costo en los cambios de producto, comparado con los altos niveles de influencia en el diseño el final de las etapas del proyecto.

Existen diversas definiciones de calidad. para aquello enfocado a la industria de manufactura se definirá el concepto como: planeación, diseño, manufactura y servicio de productos cumpliendo y excediendo las expectativas del consumidor.

La evolución en la Administración y Mejora de Calidad ha cambiado y algunos autores o empresas adecuan conceptos y herramientas de acuerdo al requerimiento específico, no se puede asegurar que una metodología es infalible para la gran diversidad de potenciales aplicaciones.

### **3.3 Herramientas Empleadas para el Control de la Calidad**

Algunas de las herramientas mejor conocidas para la solución de problemas y mejora de calidad son:

- El de procesos de calidad planteado por Deming, conocido como Ciclo PDCA por sus siglas en inglés [Kemp, 2006].

Plan: Obtener los datos, Analizar el Problema, Planear la Solución

Do: Hacerlo

Check: Medir el efecto del cambio

Act: Modificar el proceso

- Diagramas de flujo:

Describen los procesos a detalle por medio de pasos secuenciados. Un buen diagrama de flujo debe mostrar todos los pasos del proceso bajo análisis por el equipo de mejora, identificando puntos de control, áreas de mejora y ayudas, que expliquen como solucionar el problema.

- Hojas de Inspección.

Ayudan a organizar datos por categorías, mostrando cuántas veces un valor particular ocurre. Deberán tenerse más de 50 observaciones para que esta herramienta sea de utilidad. Al mostrar la frecuencia de un defecto en particular, y qué tan a menudo ocurre en una ubicación específica, estas hojas pueden ayudar a los operadores a visualizar problemas [Sahni, 2002].

- Diagramas de Pareto.

Organizan los datos en orden jerárquico, lo que permite visualizar los problemas de mayor incidencia, que serán los que se solucionen primero; es usado para identificar y evaluar inconformidades. Se seleccionan datos aleatorios, se agrupan por categorías en orden o frecuencia, y se crea una gráfica de barras basada en los resultados.

- Diagramas de Causa y Efecto.

Describen una relación entre variables. La salida es el efecto no deseado y las causas relacionadas son mostradas como potenciales. Si el problema es consecuencia de una combinación de factores, se dificulta el uso de esta herramienta como método de solución. Hay áreas predeterminadas que son utilizadas en estos diagramas: Materiales, Métodos, Gente, Mediciones, y Máquinas.

- Diagramas de relación.

Muestran cómo dos variables están relacionadas y se utiliza para pruebas de relación de causa y efecto [Sahni, 2002]. Este diagrama no prueba si una variable provoca un cambio en la otra, sólo la relación entre éstas. Uno de los ejes grafica los valores de una de las variables y el otro, el de la variable restante.

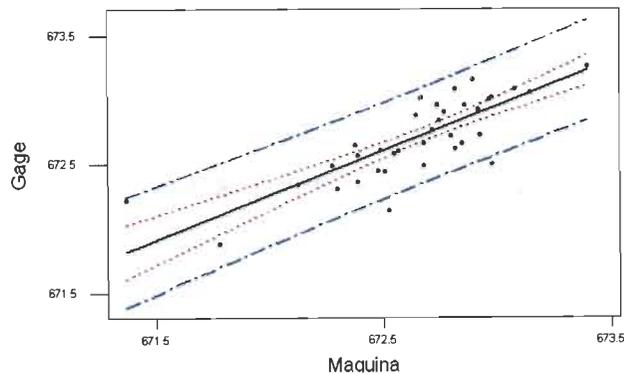


Figura 3.1. Diagrama de Relación.

- Control estadístico de procesos.  
Se basa en el uso de herramientas estadísticas de análisis para medir y predecir el desempeño de los procesos.

La estadística se relaciona con la variabilidad y es empleada para medir la capacidad de control de un proceso o sistema basándose en mediciones de la salida del sistema [Hick, 1998].

Cualquier grupo de mediciones exhibe la variabilidad que puede ser descrita en términos estadísticos. Generalmente usamos métodos estadísticos para monitorear y controlar procesos, tomando muestras de la salida del proceso, midiéndolas, graficándolas e interpretando el resultado, esto ayuda a observar si el proceso está bajo control.

- Sistemas de medición de calidad.  
No se puede administrar lo que no se puede medir, las mediciones de niveles de calidad de los productos y procesos provee de información

necesaria para analizar en qué zona se están generando los costos y efectos de la mala calidad.

Los costos cuando los niveles de calidad son bajos, pueden contribuir en gran medida al porcentaje de los gastos del negocio. Los costos inherentes son asociados con actividades de inspección y pruebas o con sortear los productos buenos de los defectuosos.

Los costos de prevención son los relacionados con los sistemas de administración de calidad, análisis de fallas y entrenamiento; aun así los costos de prevención siempre serán menores ya que ayudan a reducir la incidencia de los defectos cuando el producto aún no es manufacturado o bien no es enviado al cliente final.

- Solución de problemas.

La administración de calidad también tiene un soporte en la habilidad de las personas para resolver problemas. Esto se logra a través de identificar problemas potenciales e implementar acciones que disminuyan el efecto.

Cuatro pasos para la solución de problemas propuestos [Hick, 1998].

1. Definir el problema.
2. Buscar la causa raíz del problema, tener especial cuidado en no corregir el síntoma, es necesario corregir el origen del problema.
3. Identificar la variedad de posibles soluciones.
4. Evaluar el resultado. Una vez realizada la mejora para verificar si el problema se resolvió, de ser así, implementar las mejoras de manera permanente al proceso.

- Despliegue de la función de calidad.

Proporciona un proceso de flujo descendente para los críticos de calidad de los productos, desde el nivel más alto al más bajo.

El proceso de flujo descendente comienza con la voz del cliente como entrada. Desde ese punto descendemos a través de una serie de áreas de calidad para llegar a los factores controlables internos, una herramienta para priorizar, usada para mostrar la importancia relativa de los factores más que como una función de transferencia. La mejora de un proceso inicia cuando los requerimientos y expectativas del cliente final están claramente definidos, cuando los requerimientos son entendidos en las etapas avanzadas de los proyectos, esto influye en el costo y tiempo de implementación.

### **3.4 Variación de los Procesos**

Todos los procesos de producción resultan en variación, esto es no hay producto exactamente igual a otro. Existen básicamente dos fuentes de variación: variación de causa común provocada por eventos aleatorios que son parte del proceso de producción y que generalmente no pueden ser reducidos, a menos que exista un cambio en las variables del proceso, y variaciones de causas asignables o especiales, provocada por eventos o factores específicos que pueden ser temporales y eliminados si se identifican de manera adecuada. [Keller & Warrak, 2003].

Desde el punto de vista de requerimiento mínimo, el problema de variación es frecuentemente simplificado: partes que caigan dentro de los límites de especificación son aceptables, partes fuera de estos límites son rechazadas,

de cualquier forma el objetivo es mantener la localización de valor objetivo o característica de calidad medida con una mínima variabilidad.

Un sistema de control de procesos es una parte integral de cualquier proceso y uno de los objetivos es realizar predicciones del proceso presente y futuro. Un proceso se dice que está en control estadístico cuando las fuentes de variación son sólo las llamadas comunes. Una función del sistema de control de proceso, es proveer una señal estadística cuando causas especiales de variación están presentes, y evitar dar falsas alarmas cuando no están presentes; esto permite generar acciones apropiadas para remover las causas especiales, o bien mantenerlas si su efecto es benéfico al proceso [SPC Manual, 2005].

### **3.5 Cartas de Control de una Variable**

Una carta de control es un gráfico de un estadístico sobre el tiempo, pueden ser utilizadas para monitorear o evaluar un proceso. Existen básicamente dos tipos de cartas de control, cartas para graficar datos variables y cartas para datos atributos. El mismo proceso dictaminará qué tipo de carta de control utilizará. Si los datos se derivan de un proceso de naturalidad discreta (ejemplo pasa/no pasa o aceptable/no aceptable), entonces se empleará un tipo de carta de atributos. Si los datos provienen de un proceso continuo, se empleará una carta de tipo de variables. Dentro de cada tipo de carta de control existen varias combinaciones de gráficas que pueden usarse para un análisis más detallado [Manual Seis Sigma. Mabe, 2002].

Algunas de las cartas de control más comunes son: Gráfica de Medias y Rangos, de rangos móviles y algunas empleadas para contar porcentajes: y para datos atributos.

Si es apropiado, se prefiere utilizar datos variables ya que contienen mayor información y puede, en dado, caso tenerse un tamaño de muestra menor que para los datos atributos.

Las cartas de control para variables representan la aplicación típica de un proceso estadístico de control donde los procesos y sus salidas pueden ser caracterizados por mediciones de variables.

Las cartas de control variables son muy útiles por algunas de las siguientes razones:

- Un valor cuantitativo contiene más información que un simple si-no.
- A pesar de que la recolección de valores variables puede ser más costosa que de los datos atributos, una decisión puede ser tomada con un tamaño de muestra menor.
- Dado que pocas muestras necesitan ser inspeccionadas antes de tomar una decisión confiable, el retraso de tiempo, entre la señal fuera de control y la acción correctiva, es corto.
- Con datos variables, el desempeño del proceso puede ser analizado, y la mejora puede ser cuantificada.

Una carta de control de datos variables puede explicar el proceso en términos de la variación de proceso, variación de parte-parte, y el promedio del proceso, debido a esto, estas cartas son usualmente analizadas en pares, una para el promedio del proceso y otra para la variación. El gráfico más común de este tipo, son la gráfica de medias y de rangos, las medias son el promedio aritmético de valores en pequeños subgrupos, y los rangos son también evaluados de cada subgrupo. De esta manera el promedio y la variación del proceso son gráficamente analizados.

### **3.5.1 Proceso para Realizar las Cartas de Control**

Un punto muy importante durante la realización de cartas de control es verificar la correlación entre las variables, esta puede determinarse por medio de la matriz de correlación del conjunto de datos.

Pasos a seguir para la realización de una carta de control [SPC Manual, 2005]:

1. Recolección de los datos. Las cartas de control son desarrolladas de mediciones de una característica en particular del proceso. Estas mediciones son combinadas en estadísticos de control (promedio, mediana, rango, desviación estándar, etc.) que describen un atributo del proceso en forma distribucional. Las mediciones son tomadas de muestras individuales en subgrupos.
2. Crear el plan de muestreo. Para que las cartas de control sean efectivas, el plan de muestreo debe definirse en subgrupos llamados "racionales", estos consisten en grupos dentro de los cuales la variación, por causas especiales, sea minimizada, mientras que la

probabilidad de variación por estas causas sea maximizada entre los subgrupos. La variación entre un subgrupo representa la variación pieza a pieza sobre un periodo corto de tiempo.

3. Frecuencia entre los subgrupos. Son tomados de manera secuencial durante el tiempo
4. Número de subgrupos. Este número debe satisfacer el siguiente criterio: suficientes subgrupos deben ser tomados para asegurar que las fuentes de variación que puedan afectar el proceso, tengan la oportunidad de aparecer. Generalmente 25 o más subgrupos, conteniendo a 100 o mayor número de lecturas, generan una buena estabilidad.
5. Calcular el estadístico de control de la muestra para cada subgrupo. El estadístico de control es graficado de los datos de mediciones de cada subgrupo, estos estadísticos pueden ser la media de la muestra, mediana, rango, desviación estándar, entre otros.
6. Graficar los estadísticos de control en la carta de control. Asegurarse que los puntos de la gráfica son alineados verticalmente, unir los puntos con líneas para visualizar tendencias o patrones.
7. Establecer los límites de control. Los límites de control son definidos por la variación natural del estadístico de control, estos definen un rango de valores en los que el estadístico puede caer de manera aleatoria, atribuible sólo a la causa común de variación. En general, para realizar una carta de control se requiere calcular la línea central y los límites de control inferior y superior.

Las fórmulas para el cálculo de estos parámetros dependerán del tipo de gráfico de control que se empleará.

### **3.6 Diseño de Experimentos**

Gran parte de la investigación en la ingeniería, las ciencias y la industria, es empírica y hace uso extensivo de la experimentación. Los métodos estadísticos pueden incrementar, en gran medida, la eficiencia de estos experimentos y, con frecuencia, pueden fortalecer las conclusiones obtenidas. El uso correcto de las técnicas estadísticas en la experimentación requiere que el experimentador tenga presentes los puntos siguientes, [Montgomery, 2005]:

1. Uso de conocimientos no estadísticos del problema. Se refiere al conocimiento sobre el proceso bajo análisis, los factores que lo afectan, análisis e interpretación de resultados, entre otros.
2. Mantener el diseño y el análisis tan simple como sea posible: Es necesario no exagerar en el uso de técnicas estadísticas complejas, si un diseño se hace de manera cuidadosa y correcta, el análisis casi siempre será relativamente directo.
3. Los experimentos son generalmente iterativos, es decir los niveles de los factores de las variables bajo análisis tienden a cambiar entre una iteración y otra.

Existe una gran variedad de tipos de experimentos, la selección del método adecuado dependerá de la aplicación bajo análisis, pero de manera general, el experimento busca determinar los factores o tratamientos que afectan la variable de respuesta del proceso, los niveles de estos tratamientos se cambian para verificar la afectación y se realiza una combinación de tratamientos y niveles, para finalmente, observar la respuesta y realizar el análisis.

A cada observación de un experimento se le llama corrida, las corridas individuales difieren, a estas fluctuaciones se les llama comúnmente ruido en los resultados o error experimental. Las variables de respuesta de un experimento son variables aleatorias, pudiendo éstas ser continuas o discretas.

### **3.6.1 Diseños de Experimentos Factorial**

En muchos experimentos intervienen el estudio de los efectos de dos o más factores, el tipo de diseño factorial puede definirse como el más apropiado para esta aplicación y es el que se resumirá en los siguientes párrafos.

Por diseño factorial se entiende que en cada ensayo o réplica completa del experimento se investigan todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores. El efecto de un factor se define como el cambio en la respuesta producido por un cambio en el nivel del factor, con frecuencia se le llama el efecto principal y puede visualizarse como la diferencia entre la respuesta promedio con un nivel bajo del factor y la respuesta promedio con el nivel alto del factor. Los diseños factoriales ofrecen varias ventajas, son más eficientes que los de un factor a la vez, y es muy útil cuando existen interacciones entre los

factores del experimento, permiten también la estimación de los efectos de un factor con varios niveles de los factores restantes.

Considérese el caso de un experimento en el que existen  $a$  niveles del factor **A**,  $b$  niveles del factor **B**,  $c$  niveles del factor **C**, etc., dispuestos en un experimento factorial. En general habrá  $abc...n$  observaciones totales si se hacen  $n$  réplicas del experimento completo. Cuando todos los factores del experimento son fijos, es sencillo formular y probar hipótesis acerca de los efectos principales y las interacciones, los estadísticos de prueba para cada efecto principal e interacción pueden construirse dividiendo el cuadrado medio correspondiente del efecto o interacción por el cuadrado medio del error. Todas estas serán pruebas con el estadístico F. El número de grados de libertad de cualquier efecto principal es el número de niveles del factor menos uno, y el de las interacciones es el producto del número de grados de libertad asociados de los componentes individuales. El número de grados de libertad de una suma de cuadrados es igual al número de elementos independientes en dicha suma.

A manera de ejemplo, se muestra en la Tabla 3.1 el análisis de varianza para un experimento de tres factores, los resultados de esta tabla permiten determinar el efecto de los factores y sus interacciones en el proceso bajo análisis.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Cuadrado medio esperado	$F_0$
A	$SS_A$	$a - 1$	$MS_A$	$\sigma^2 + \frac{bcn \sum \tau_i^2}{a-1}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
B	$SS_B$	$b - 1$	$MS_B$	$\sigma^2 + \frac{acn \sum \beta_j^2}{b-1}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
C	$SS_C$	$c - 1$	$MS_C$	$\sigma^2 + \frac{abn \sum \gamma_k^2}{c-1}$	$F_0 = \frac{MS_C}{MS_E}$
AB	$SS_{AB}$	$(a-1)(b-1)$	$MS_{AB}$	$\sigma^2 + \frac{cn \sum \sum (\tau\beta)_i^2}{(a-1)(b-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
AC	$SS_{AC}$	$(a-1)(c-1)$	$MS_{AC}$	$\sigma^2 + \frac{bn \sum \sum (\tau\gamma)_k^2}{(a-1)(c-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AC}}{MS_E}$
BC	$SS_{BC}$	$(b-1)(c-1)$	$MS_{BC}$	$\sigma^2 + \frac{an \sum \sum (\beta\gamma)_k^2}{(b-1)(c-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{BC}}{MS_E}$
ABC	$SS_{ABC}$	$(a-1)(b-1)(c-1)$	$MS_{ABC}$	$\sigma^2 + \frac{n \sum \sum \sum (\tau\beta\gamma)_k^2}{(a-1)(b-1)(c-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{ABC}}{MS_E}$
Error	$SS_E$	$abc(n-1)$	$MS_E$	$\sigma^2$	
Total	$SS_T$	$abcn - 1$			

Tabla 3.1. Análisis de Varianza del Modelo de tres Factores.  
[Montgomery, 2005]:

Para el caso general de un diseño factorial de k factores con dos niveles cada uno, incluirá k efectos principales, k/2 interacciones de dos factores, k/3 interacciones de tres factores, ..., y una interacción de k factores, es decir, para un diseño de k factores en dos niveles el modelo completo contendría  $2^{k-1}$  efectos. El primer paso para el análisis es estimar los efectos de los factores y examinar sus signos y magnitudes, de este modo el experimentador obtiene información preliminar respecto de los factores y las interacciones que pueden ser importantes, y en qué direcciones deberán ajustarse esos factores para mejorar la respuesta [Montgomery, 2005].

Para formar el modelo inicial del experimento, por lo general se elige el modelo completo con todos los efectos principales y las interacciones, siempre que se haya realizado una réplica de al menos uno de los puntos del diseño,

después se realiza un análisis de varianza para probar la significancia de los efectos principales y las interacciones. Es recomendable una vez que se obtiene el análisis retirar del modelo aquellos factores que no tengan significancia dentro del modelo y volver a realizar el análisis para obtener un modelo adecuado.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad
<i>k</i> efectos principales		
<i>A</i>	$SS_A$	1
<i>B</i>	$SS_B$	1
⋮	⋮	⋮
<i>K</i>	$SS_K$	1
$\binom{k}{2}$ interacciones de dos factores		
<i>AB</i>	$SS_{AB}$	1
<i>AC</i>	$SS_{AC}$	1
⋮	⋮	⋮
<i>JK</i>	$SS_{JK}$	1
$\binom{k}{3}$ interacciones de tres factores		
<i>ABC</i>	$SS_{ABC}$	1
<i>ABD</i>	$SS_{ABD}$	1
⋮	⋮	⋮
<i>IJK</i>	$SS_{IJK}$	1
⋮	⋮	⋮
$\binom{k}{k} = 1$ interacción de <i>k</i> factores		
<i>ABC ... K</i>	$SS_{ABC \dots K}$	1
Error	$SS_f$	$2^k(n-1)$
Total	$SS_T$	$n2^k - 1$

Tabla 3.2. Análisis de Varianza para *k* Factores en dos Niveles. [Montgomery, 2005]:

### 3.6.2 Adecuación del Modelo en un Diseño de Experimentos

La descomposición de la variabilidad presente en las observaciones, mediante la identidad del análisis de varianza, genera una relación algebraica. Para probar formalmente que no hay diferencias en las medias de los tratamientos se requiere que se satisfagan algunos supuestos:

Debe existir un modelo que describa de manera adecuada las observaciones, los errores deben seguir una distribución normal e independiente con media cero y varianza  $\sigma^2$  constante pero desconocida. Si estos supuestos se satisfacen, el procedimiento del análisis de varianza es una prueba exacta de la hipótesis de que no hay diferencia en las medias de los tratamientos.

Otra manera de probar la adecuación del modelo es mediante el análisis de los residuales, la verificación del supuesto de normalidad en los residuales puede hacerse graficando un histograma de los residuales, o bien construir una gráfica de probabilidad normal de los residuales. La graficación de los residuales, en el orden temporal de la recolección de datos, es útil para detectar correlaciones entre los residuales.

### **3.7 Análisis de Regresión**

El análisis de regresión es una técnica estadística para investigar y modelar la relación entre variables, los modelos de regresión se usan con varios fines, entre ellos: Descripción de datos, estimación de parámetros, predicción y estimación, control. [Montgomery, Peck, Vining, 2005].

#### **3.7.1 Modelo de Regresión Lineal**

Es un modelo de un solo regresor  $x$  que tiene una relación con una respuesta  $y$ , donde ésta relación es una línea recta, el modelo es:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon$$

Se utiliza el término regresión lineal, ya que la ecuación que describe al modelo es una función lineal de los parámetros  $\beta_0, \beta_1$ . Donde la ordenada al origen  $\beta_0$  y la pendiente  $\beta_1$  son constantes desconocidas, y  $\varepsilon$  es un componente aleatorio del error. Se supone que los errores tienen un promedio cero o varianza  $\sigma^2$  desconocida, se supone también que los errores no están correlacionados. Conviene considerar que el regresor  $x$  está controlado por el experimentador y que se puede medir con error despreciable, mientras que la respuesta  $y$  es una variable aleatoria.

Los parámetros  $\beta_0$  y  $\beta_1$  son llamados coeficientes de regresión [Montgomery, Peck, Vining, 2005]. La estimación de los parámetros del modelo puede realizarse por mínimos cuadrados, los parámetros son desconocidos y se deben estimar con los datos de la muestra.

Existen  $n$  pares de datos que pueden proceder de un experimento controlado, se debe estimar  $\beta_0$  y  $\beta_1$  tales que la suma de los cuadrados de las diferencias entre las observaciones y la línea recta sean mínimas. Con mínimos cuadrados, se obtienen los mejores estimadores lineales insesgados de los parámetros del modelo.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Esta ecuación es un modelo poblacional de regresión escrito en términos de los pares de datos. Así, el criterio de mínimos cuadrados es:

$$S(\beta_0, \beta_1) = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2$$

Derivando parcialmente la ecuación para cada uno de los parámetros y simplificando se obtienen las ecuaciones normales de mínimos cuadrados, su solución es:

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i x_i - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)(\sum_{i=1}^n x_i)}{n}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}}$$

### 3.7.2 Modelo de Regresión Lineal Múltiple

Los modelos donde interviene más de una variable regresora son lineales múltiples, a manera de ejemplo, considerar un modelo de regresión múltiple con dos regresores la relación puede escribirse:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \varepsilon$$

Se usa el término lineal porque la ecuación es función lineal de los parámetros desconocidos  $\beta$

En general, se puede relacionar la respuesta  $y$  con  $k$  regresores o variables predictoras.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

Para la estimación de los parámetros del modelo, cuando se tiene más de una variable regresora y, en general, para todos los casos de regresión lineal múltiple, es más recomendable el uso de notación matricial; en esta notación el modelo muestral de regresión se puede representar:

$$y = X\beta + \varepsilon$$

En donde:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix} \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \dots \\ \beta_k \end{bmatrix} \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \dots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

En general  $y$  es un vector de  $n \times 1$  de las observaciones,  $X$  es una matriz de  $n \times p$ , con  $n > p$  de los niveles de las variables regresoras,  $\beta$  es un vector de  $p \times 1$  de los coeficientes de regresión, y  $\varepsilon$  es un vector de  $n \times 1$  de los errores aleatorios.

El estimador de  $\beta$ ,  $\hat{\beta}$ , por mínimos cuadrados es [Montgomery, Peck, Vining, 2005] es

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1} X'y$$

Siempre y cuando exista la matriz inversa de  $(X'X)$ , y ésta existe si los regresores son linealmente independientes. Esto es si  $r(X) = p$ .

### 3.8 Métodos Multivariados Para el Análisis de Datos

Los métodos multivariados se utilizan en esta área del conocimiento, fundamentalmente, en el análisis de procesos en los que intervienen dos o más variables correlacionadas entre sí. El objetivo primario de los análisis multivariados es resumir grandes cantidades de datos por medio de relativamente pocos parámetros, el interés se centra en encontrar relaciones entre las variables de respuesta y las unidades experimentales [Johnson, 2000].

Existen muchos procesos industriales en los cuales el desempeño de los mismos está basado en el comportamiento de un grupo de variables correlacionadas, las características o variables de un proceso multivariado están comúnmente correlacionadas, y dado que estas variables no se comportan de manera independiente, una de la otra, deben ser examinadas juntas como un grupo y no de manera separada [Mason & Young, 2002].

#### 3.8.1 Distribución Normal Multivariada

En situaciones de análisis de datos univariados, la distribución de probabilidad de una variable aleatoria  $x$  a menudo se resume por sus dos primeros momentos: su media y su varianza. La media de una variable aleatoria  $x$  suele denotarse por  $\mu$  y se define por  $\mu = E(x)$ ; en donde  $E(\cdot)$  denota al valor esperado. La esperanza es un proceso de promediar y el valor esperado de  $x$  se puede conceptualizar como tomar el valor promedio de  $x$  en la población de la que se está tomando la muestra. La varianza de una variable aleatoria se define por  $\sigma^2 = E[(x - \mu)^2]$ . Para el caso multivariado, el objetivo es generalizar la distribución normal univariada a vectores de variables aleatorias [Johnson, 2000]

Se dice que un vector de variables aleatorias:

$$x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ x_p \end{pmatrix}$$

Tiene una distribución normal multivariada si

$$a'x = [a_1, a_2, \dots, a_p] \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ x_p \end{pmatrix} = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_px_p = \sum_{i=1}^p a_ix_i$$

tiene una distribución normal univariada para todos los conjuntos posibles de valores seleccionados para los elementos en el vector  $a$ . Una consecuencia de esta definición es que los elementos del vector  $x$  deben tener una distribución normal univariada, es decir, una distribución de frecuencias de los valores de cada una y de todas las variables respuesta  $x_i$  debe seguir una curva acampanada.

Si  $y$  tiene una distribución normal multivariada con un vector de medias  $\mu$  y matriz de covarianzas  $\Sigma$ , la densidad de la función viene dada por:

$$g(y) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^p |\Sigma|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(y-\mu)'\Sigma^{-1}(y-\mu)}$$

Donde  $p$  es el número de variables, cuando  $y$  tiene la densidad  $g(y)$ , se dice que  $y$  se distribuye como  $N_p(\mu, \Sigma)$ .

El término  $(y - \mu)^2 / \sigma^2 = (y - \mu)(\sigma^2)^{-1}(y - \mu)$  en el exponente de la función de densidad normal univariada mide la distancia al cuadrado de  $y$  a  $\mu$  en unidades de desviación estándar. De manera similar, el término  $(y - \mu)' \Sigma^{-1} (y - \mu)$  en la función de densidad normal multivariada, es la distancia al cuadrado generalizada de  $y$  a  $\mu$ , o la distancia de Mahalanobis,

$$\Delta^2 = (y - \mu)' \Sigma^{-1} (y - \mu)$$

La distancia  $\Delta$ , no se define en unidades de desviación estándar como en el caso univariado, esta distancia incrementa con  $p$ , el número de variables. [Rencher, 2002].

### 3.8.2 Eigenvalores

Algunos de los métodos multivariados dependen de funciones de los elementos de la matriz de varianzas y covarianzas de la muestra, comúnmente denotada por  $S$ , las funciones más importantes de los elementos de una matriz en el análisis de datos son su traza, determinante, eigenvalores y eigenvectores [Johnson, 2000].

Los eigenvalores (o raíces características de la matriz) de la matriz de varianzas y covarianzas son las raíces de la ecuación polinomial definida por:  $|S - \lambda I| = 0$ . Los eigenvalores de  $S$  se definen como las raíces de esta ecuación polinomial, si  $p=2$ , la ecuación será cuadrática y se tendrán dos raíces o

eigenvalores, en general una ecuación de  $p$ -ésimo grado tendrá  $p$  raíces. Los eigenvalores siempre serán números reales cuando la matriz sea la de varianzas-covarianzas.

### 3.8.3 Análisis de Componentes Principales.

El análisis de componentes principales es un procedimiento matemático que transforma un conjunto de variables correlacionadas de respuesta en un conjunto menor de variables no correlacionadas. El análisis de componentes principales también ayuda a determinar si ocurre multicolinealidad, es decir dependencia lineal entre las variables experimentales.

Los objetivos principales del análisis de componentes principales son: reducir la dimensionalidad del conjunto de datos e identificar nuevas variables significativas. En el proceso de análisis se pueden formar nuevas variables llamadas componentes principales, en orden decreciente de importancia de modo que no están correlacionadas, la primera componente explica tanto de la variabilidad en los datos como sea posible, y que cada componente subsiguiente toma en cuenta tanto de la variabilidad restante como sea posible.

En el análisis, por medio de la matriz de varianzas, la primera variable componente principal se define por  $y_1 = a_1'(x-\mu)$ , en donde  $a_1$  se elige de modo que la varianza de  $y_1$  se maximice sobre todos los vectores  $a_1$  que satisfagan  $a_1'a_1=1$ . El valor máximo de la varianza, entre todas las combinaciones lineales de  $x$ , es igual a  $\lambda_1$  el primer eigenvalor obtenido de la ecuación característica de la matriz de varianzas y covarianzas ( $S$ ), de este modo, los valores  $\lambda_i$  denotan los eigenvalores ordenados de  $S$  y  $a_i$  denotan los vectores normalizados correspondientes de la matriz. La varianza de la  $j$ -ésima componente  $y_j$  es  $\lambda_j$ , y

la traza de la matriz de varianzas y covarianzas se define como la variación total en las variables originales, la relación  $\lambda_j/\text{tr}(S)$  mide, entonces, la proporción de la variabilidad total en las variables originales que es explicada por la  $j$ -ésima componente principal [Johnson, 2000].

Para utilizar las variables componentes principales en el análisis, es necesario estimar las calificaciones de esos componentes para cada unidad experimental en el conjunto de datos; sea  $x_r$  el vector de variables medidas para la  $r$ -ésima unidad experimental, entonces la calificación de la  $j$ -ésima variable componente principal, para la  $r$ -ésima unidad experimental es  $y_{rj} = a_j'(x_r - \mu)$ .

#### **3.8.4 Cartas de Control Multivariadas**

Las cartas de control multivariadas son apropiadas cuando se desea controlar simultáneamente 2 o más características relacionadas que influyen en el desempeño de un proceso o producto [SPC AIAG 2005]. La ventaja es que el efecto combinado de todas las variables puede ser monitoreado usando sólo un estadístico. Una carta de control multivariada proporciona un medio para detectar cambios o desplazamientos, en la media de un proceso, así como cambios en la relación entre los parámetros. Una matriz de correlación de las variables puede ser utilizada para probar si una carta de control mutivariado será de utilidad, para este caso la matriz debe indicar que las variables están suficientemente correlacionadas.

La técnica más común para control de procesos son las gráficas de control. En estas, hay dos fases distintas: fase I y fase II. En la fase I, las gráficas son usadas para probar si el proceso estaba en control cuando los primeros subgrupos de datos fueron graficados, esto sirve de ayuda para

visualizar el proceso en control. La fase II es empleada para probar si el sistema sigue bajo control cuando subgrupos posteriores son graficados.

Durante la fase I el interés se centra en estimar los parámetros (el vector de medias y la matriz de varianzas y covarianzas) para verificar la existencia de dependencia de las variables y para validar la consideración de normalidad multivariada. Si las variables son fuertemente relacionadas (esto puede verificarse con los coeficientes de correlación, o bien con los valores de las covarianzas) se debe emplear un procedimiento multivariado para controlar el nivel de la media del proceso.

### **3.9 Teoría de Colas**

Dentro del estudio de procesos en la investigación de operaciones, está definida la "Teoría de Colas" dirigida al análisis y estudio de líneas de espera. Un gran número de procesos pueden ser analizados por medio de esta teoría bajo ciertas consideraciones particulares de cada operación. La teoría de colas analiza matemáticamente todos los procesos relacionados a las líneas de espera incluyendo: Llegada de las unidades a "servir" tiempo de espera en la línea, tiempo de espera para ser servido o atendido y el tiempo durante el que serán servidos por las estaciones.

El proceso básico de los modelos de colas es el siguiente: los clientes que requieren el servicio se generan en el tiempo en una fuente de entrada, estos clientes entran al sistema y se unen a una cola. En determinado momento, se selecciona un miembro de la cola para proporcionarle el servicio mediante alguna regla conocida como disciplina de servicio, luego, se lleva a cabo el

servicio requerido por el cliente en un mecanismo de servicio y después el cliente sale del sistema de colas.

*Fuente de entrada.* Llamada también población potencial en la que su principal característica es su tamaño. El tamaño es el número total de clientes que pueden requerir el servicio en determinado momento, es decir, el número total de clientes potenciales distintos.

*Cola.* Es donde los clientes esperan antes de ser servidos. Una cola se caracteriza por el número máximo permisible de clientes que puede admitir, estas colas pueden ser finitas o infinitas.

*Disciplina de la cola.* Se refiere al orden en que sus miembros se seleccionan para recibir el servicio. Por ejemplo, puede ser: primero en entrar, primero en salir, aleatoria, de acuerdo con algún procedimiento de prioridad o con algún otro orden.

*Mecanismo de servicio.* Consiste en una o más instalaciones de servicio, cada una de ellas con uno o más canales de servicio paralelos, llamados servidores.

*Tiempo de servicio.* Es el tiempo que transcurre desde el inicio del servicio para un cliente hasta su terminación, el sistema debe especificar la distribución de probabilidad de los tiempos de servicio para cada servidor.

### 3.9.1 Proceso de Colas Elemental

El tipo de sistema de colas que más prevalece es el de: una sola línea de espera (que en ocasiones puede estar vacía) formada frente a una instalación de servicio, dentro de la cual se encuentran uno o más servidores. Cada cliente generado por una fuente de entrada recibe el servicio de uno de los servidores, quizá después de esperar un poco en la cola.

En la Figura 3.2 se muestra un sistema de colas elemental con una línea de espera con clientes representados con la letra "C", y varios servidores representados con la letra "S". La teoría de colas proporciona un número promedio de clientes en espera, el tiempo promedio de espera, suponiendo que todos los tiempos entre llegadas y los tiempos de servicio son independientes e idénticamente distribuidos [Lieberman & Hillier, 2002].

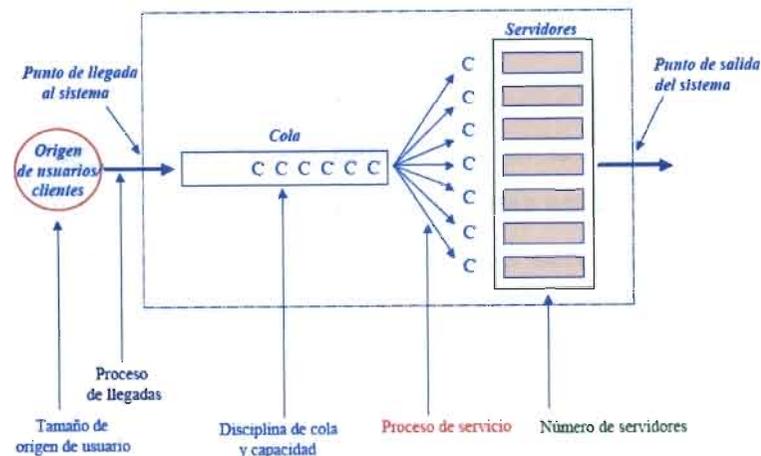


Figura 3.2. Sistema de Colas Elemental

Se emplea generalmente la siguiente nomenclatura:

Estado del sistema = Número de clientes en el sistema

Longitud de la cola = Número de clientes que esperan servicio

$N(t)$  = Número de clientes en el sistema de colas en el tiempo  $t$  ( $t > 0$ )

$P_n(t)$  = Probabilidad de que  $n$  clientes estén en el sistema en el tiempo  $t$ , dado el número en el tiempo cero.

$s$  = Número de servidores en el sistema de colas

$\lambda_n$  = Tasa media de llegada (número esperado de llegadas por tiempo de nuevos clientes cuando hay  $n$  clientes en el sistema)

$\mu_n$  = Tasa media de servicio para el sistema (número esperado de clientes que completan su servicio por unidad de tiempo) cuando hay  $n$  clientes en el sistema, representa la tasa combinada a la que todos los servidores ocupados logran terminar sus servicios.

Cuando

-  $\lambda_n$  es constante para toda  $n$ , esta constante se denota por  $\lambda$ .

- La tasa media de servicio por servidor ocupado es constante para toda  $n > 1$ , se denota  $\mu$ .  $\mu_n = s\mu$  cuando  $n > s$ , es decir los servidores están ocupados

-  $1/\lambda$  = Tiempos entre llegada esperados

-  $1/\mu$  = Tiempos de servicio esperados

-  $\rho = \lambda/(s\mu)$  Factor de utilización para la instalación de servicio o fracción esperada de tiempo que los servidores individuales están ocupados, puesto que  $\lambda/(s\mu)$  representa la fracción de la capacidad de servicio del sistema ( $s\mu$ ) que utilizan los clientes que llegan ( $\lambda$ ).

## **4. METODOLOGÍA**

El capítulo está estructurado para presentar en forma detallada y secuencial, el conjunto de pasos propuestos para la inserción de nuevos productos en la empresa Mabe desde el diseño hasta producción regular y la implementación de dicha metodología para el arranque de producción en Mabe Saltillo de secadoras de ropa domésticas para exportación a Norteamérica.

### **4.1 Detalle de las Etapas de la Ejecución del Proyecto**

En general la inserción de nuevos productos en la empresa Mabe Saltillo, se realizará a través de cinco etapas, las cuales se detallan a continuación:

#### **Etapas 1. Inicio del proyecto**

En esta etapa, se identifica el proyecto a implementar, se analiza el plan general y se establecen las etapas de introducción del nuevo producto o proceso, se identifican los puntos clave para su ejecución, las fechas y actividades de riesgo, así como los tiempos de entrega para cada evento.

En esta etapa, también se determina que parte del proyecto deberá ser analizada teóricamente y estructurado en un informe y qué parte deberá de tener experimentación.

#### **Etapas 2. Análisis de productos y procesos similares**

En esta etapa se realiza el análisis de los procesos y productos similares dentro de la organización, principalmente en relación a: niveles de calidad,

rechazos, principales defectos presentados, capacidad del proceso, métodos de control, identificación de causas raíz de los modos de falla, históricos de desempeño de parámetros y resultados.

Los resultados del análisis de línea base, se utilizan para determinar el planteamiento de las acciones que se ejecutarán, para asegurar la eficiencia y efectividad de dichas acciones, para mejorar la calidad del nuevo proceso.

### **Etapa 3. Planteamiento**

En esta etapa, se realiza el planteamiento técnico para la mejora de los nuevos procesos de manufactura. Este planteamiento debe cubrir las expectativas de los programas de introducción de nuevos productos en este caso el de secadoras domésticas para el mercado norteamericano, con sistema de calentamiento a gas o eléctrico, así como evitar problemas potenciales que hayan sido identificados durante los análisis de procesos de línea base en la *etapa 2*. El planteamiento deberá cubrir todas las etapas del proyecto definidas en la *etapa 1*, y las áreas de aplicación de las propuestas desarrolladas durante este periodo. Durante la etapa de planteamiento, los puntos de inspección, pruebas, validación y control deben ser claramente identificados, así como los recursos humanos y financieros que serán requeridos.

### **Etapa 4. Desarrollo y ejecución**

Esta etapa consiste en el desarrollo y ejecución de los procesos, actividades y acciones que hayan sido determinadas en los pasos previos. Incluye también, realizar el análisis de la capacidad de los procesos a implementar, determinar las variables críticas, los métodos de control para los

procesos de manufactura, los tiempos afectados por desarrollo de especificaciones, planes de inspecciones y prueba; así como los tiempos de entrega de herramientas y equipos. De igual forma, la ejecución de las actividades, se realiza de acuerdo a la secuencia determinada durante el planteamiento en la *etapa 3* y al programa general de implementación del proyecto de planta.

### **Etapa 5. Implementación y monitoreo de los controles de los procesos**

En esta etapa, el mayor porcentaje de los procesos están siendo implementados y validados de manera preliminar en manufactura. Aquí las actividades principales se enfocan en verificar y evaluar todos los aspectos de manufactura, materiales, ingeniería y calidad, en producción a baja escala del producto o proceso que será implementado para la producción regular.

Durante esta etapa, se identifican actividades y acciones para su atención, con la finalidad de reducir la probabilidad de problemas potenciales durante producción regular. Cabe mencionar que para esta etapa, los procesos ya han sido analizados previamente, pero como en este punto se debe realizar la experimentación, ésta debe de ser utilizada para analizar la respuesta y las variables que afectan los procesos. Durante esta etapa, deberán emplearse las herramientas de aseguramiento de calidad que se hayan determinado oportunamente, a fin de liberar los nuevos procesos ya corregidos con acciones derivadas de la identificación de problemas potenciales durante los ensambles piloto.

A este punto, todos los procesos nuevos o modificados que servirán de soporte para la producción del nuevo producto deberán haber sido correctamente validados, a fin de evitar contratiempos en las etapas tempranas

de la producción. La liberación debe ser calificada de acuerdo al índice de desempeño o calidad de los procesos que haya sido planteado al inicio del proyecto, cualquier desviación deberá ser atendida con acciones concretas con el propósito de cerrar cualquier actividad que surja de este proceso.

#### 4.2 Inicio del Proyecto

Dentro de la compañía se desarrollan proyectos de introducción de nuevos producto a manufacturar, algunos de ellos son derivados de productos que actualmente se producen, y otros de un producto totalmente nuevo. En particular, la presente investigación, se enfocó en la inserción y producción de secadoras de ropa domésticas para el mercado norteamericano, en la Planta Mabe Saltillo; ver Figuras 4.1 y 4.2.

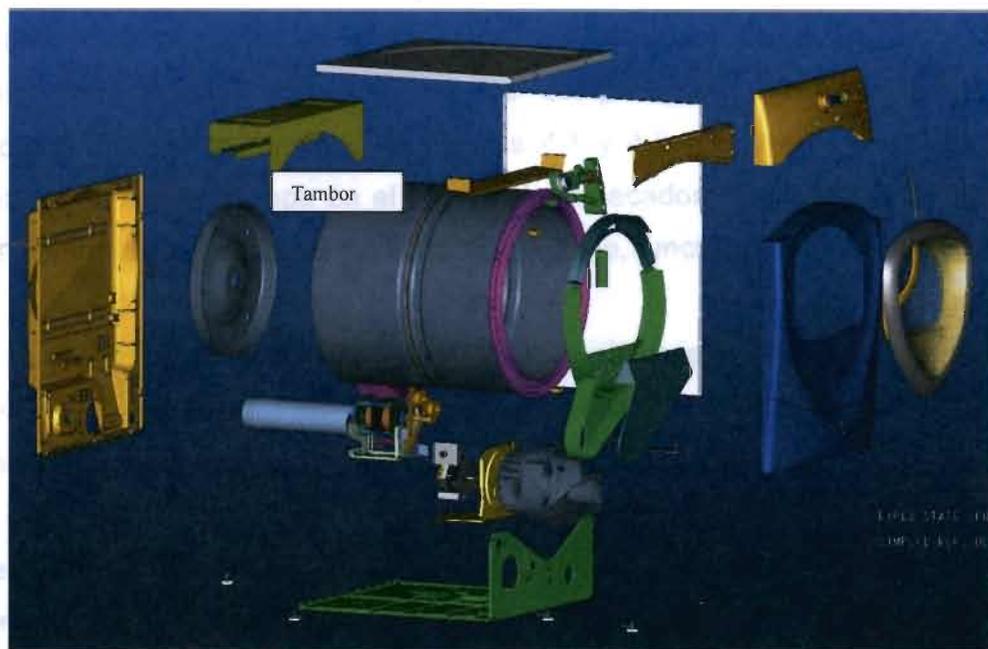


Figura 4.1 Explosionado de Partes de la Secadora a Manufacturar.

La secadora está compuesta de componentes funcionales como motor, tarjeta electrónica, válvula de gas, entre otros, además de partes estructurales inyectadas en diferentes tipos de resina y partes metálicas troqueladas y pintadas.

#### **4.2.1 Detalle de Productos a Manufacturar**

El producto a manufacturar, como se ha detallado anteriormente, son secadoras de ropa de uso doméstico, este producto tiene la más alta capacidad volumétrica en el mercado (7.5 pies cúbicos) y se comercializará con la marca de General Electric, en Estados Unidos y Canadá. Se tiene un volumen de producción de 80, 000 unidades anuales. El proceso de ensamble se realiza en la planta de Mabe en Saltillo. En planta se reciben todos los componentes para ensamble de proveedores externos y sólo se cuenta con un proceso de manufactura interno para uno de los componentes más importantes del producto, que es el tambor, ver Figuras 4.1 y 4.8. La función del tambor es contener la carga de ropa en el interior de la secadora y girar para distribuir el aire caliente succionado por un ventilador interno, función que genera el secado.

Siendo el presente trabajo enfocado a asegurar la calidad del ensamble total de la secadora, así como de garantizar una capacidad de proceso expresada en nivel de Z mayor a 4.5 para el proceso de manufactura del tambor, en este caso el requerimiento de la planta es que la capacidad de procesos internos de manufactura de componentes tengan una capacidad de 6 sigma (o bien el equivalente a la probabilidad de 3.4 partes por millón defectuosas).

El producto final a manufacturar puede funcionar con calentamiento a base de resistencias eléctricas características eléctricas 240 V 60 Hz 24 A o

combustión de gas con características eléctricas 120V 60 Hz 8A, controlados por una tarjeta electrónica programada con diferentes secuencias de operación en el software, ver Figura 4.2.



Figura 4.2. Secadora Manufacturada en Línea de Ensamble Mabe Saltillo.

El ensamble en la planta Mabe Saltillo, como se describió, se realiza con partes provenientes de diferentes proveedores nacionales y extranjeros, sólo habrá un proceso de manufactura interno de componentes en sitio: el tambor de la secadora.

Ambos procesos: Ensamble de la secadora y Manufactura del tambor, fueron incluidos en el desarrollo de este proyecto, planteando, analizando y

evaluando si las propuestas de calidad satisfacen las metas planteadas, así como el análisis estadístico del proceso de manufactura del tambor.

Las características críticas del producto asociadas a requerimientos del cliente y de agencias regulatorias para la seguridad del producto son: capacidad de carga 7.5 pies cúbicos, tiempo total máximo de ciclo de secado 40 y 60 minutos para secadoras eléctricas y de gas, respectivamente y humedad final al término del ciclo de secado de máximo 6%. Los críticos de proceso son la altura total del tambor 672.8 +/- 2.0 mm y el diámetro del tambor 663 +/- 1.0 mm.

#### **4.3 Análisis de Productos y Procesos Similares**

Se realizó el análisis del desempeño de los productos y procesos similares de la planta de Mabe en Montreal, Canadá, en este caso de una secadora de 7 pies cúbicos de capacidad con similares características a las que se realizarán en la planta Mabe Saltillo y el proceso de manufactura del tambor de esta secadora, con la diferencia que es de menor capacidad pero las características críticas son las mismas, aunque diferente dimensionalmente en el caso del tambor. El análisis sirvió para la identificación de áreas de mejora y de las causas de los principales defectos, problemas y fallas.

##### **4.3.1 Detalle de Fallas de Producto Actual**

Los detalles de las fallas por área y dónde se generaron dentro de la planta, del proceso actual de otro sitio de manufactura de la compañía (Planta Mabe en Canadá) para el ensamble de secadoras, tomado como referencia de línea base para el planteamiento de la línea de ensamble y los puntos de

inspección, prueba y validación de producto para la nueva línea de producción en Saltillo, se presentan en la Tabla 4.1.

**Análisis Proceso-  
Producto Similar**

Indicadores del desempeño de producto similar  
Índice de rechazos en pruebas de producto terminado  
Incluye todas las fallas, observaciones, apariencia  
El indicador es filtro más significativo del desempeño del producto

Final de Línea: Total de defectos. Contribución por áreas	
Atribuible a: Área	% Contribución
Línea de ensamble	58.57
Partes fabricadas (internas)	20.28
No asignado/Código incorrecto	10.35
Partes de proveedor	9.87
Empaque	0.72
Manejo de material	0.15
Liberación producto	0.08
Total	100.00

El 58.57% del total de defectos encontrados en la inspección Final del producto, son Atribuibles a defectos o fallas Generadas durante el proceso De ensamble

Tabla 4.1. Contribución a los Defectos en Pruebas de Producto Terminado.

Se observa de la Tabla 4.1, que la mayor proporción de defectos encontrados al final de la línea de ensamble, durante las inspecciones y pruebas de producto terminado son atribuibles a la línea de ensamble y a las partes fabricadas en la operación, que en este caso es el tambor de la secadora.

La descripción de los modos de falla de los productos rechazados en pruebas finales de producto terminado, se presenta en la Tabla 4.2, en la gráfica de pareto se observa que 11 de ellos contribuyen un 80% del total de los defectos, priorizando con esto los que caigan dentro de este rango para que el efecto de la mejora sea de mayor impacto.

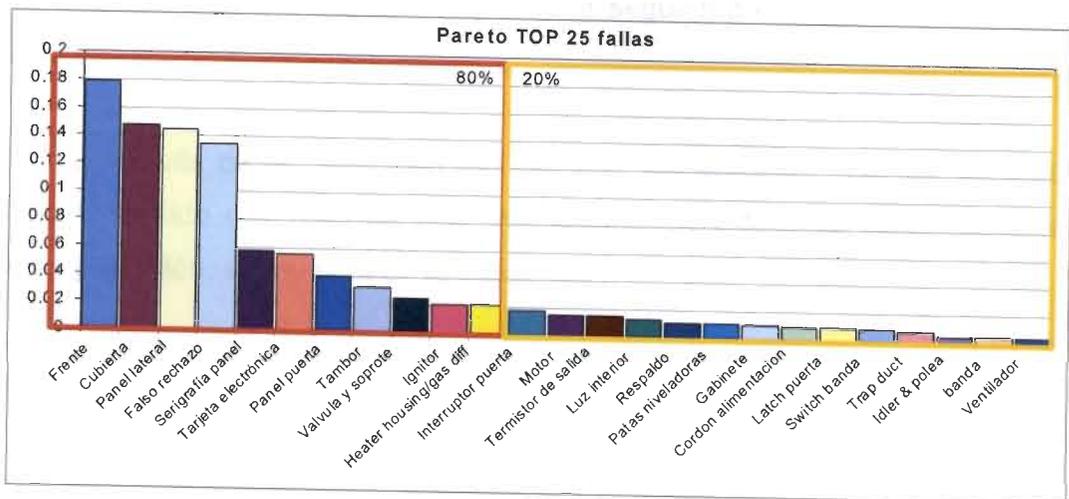


Tabla 4.2 Fallas de Productos Rechazados en Pruebas Finales.

La mayor parte de los defectos encontrados, durante las inspecciones de producto terminado, al final de la línea de ensamble, pueden dividirse en tres grandes contribuidores:

- Apariencia (golpes y rayones en las diferentes partes del producto).
- Cableado y conexiones de componentes eléctricos y electrónicos.
- Defectos de las partes manufacturadas internamente, en este caso el tambor de la secadora.

#### 4.3.2 Detalle de Capacidad del Proceso Similar

Dentro de los procesos a manufacturar para el ensamble de las secadoras, se realizó el análisis de la capacidad del proceso del tambor ensamblado también en la planta de Mabe Canadá, el componente es crítico

para la funcionalidad del producto y para la seguridad de la persona o cliente que lo utilice.

El detalle de la capacidad del proceso del ensamble tambor en Mabe Canadá, medido con nivel de Z o probabilidad de productos defectuosos, en partes por millón, se muestra en la Tabla 4.3.

Índice de capacidad del proceso de ensamble tambor fabricado en planta Canadá. CTQ del ensamble

Mesures	Ligne 2		
	Mean	S_Déviation	Z LT
DIM "B" (CTQ)	813.25	0.465	1.61

Zlt. Índice de capacidad del proceso  
Prob. parte fuera de espec 53100 PPM

Tabla 4.3. Desempeño de Proceso Similares.

Con la capacidad de proceso actual, la probabilidad de producir partes fuera de especificación es de 53100 partes por millón, posteriormente en el avance de este documento se detalla la característica evaluada para esta capacidad de proceso.

#### 4.4 Planteamiento

El planteamiento general de las actividades clave a realizar para la determinación de los métodos y acciones de mejora de calidad a desarrollar al arranque del proyecto fueron:

1. Contar con suficiente información del producto actual o similar.
2. Identificar las causas raíz que originan los principales defectos.
3. Análisis de infraestructura, equipos, inspecciones y pruebas requeridos.

4. Análisis de la variación de los procesos internos de manufactura.
5. Reducción de la variación en los procesos internos.
6. Validación del producto final.

#### 4.4.1 Causas Raíz Defectos de Ensamble

Para visualizar de manera general las potenciales causas que originan defectos, durante el ensamble del producto, se realizó un diagrama de causa y efecto de las variables que se determinaron, este se muestra en la Figura 4.3.

Diagrama Causa Efecto para Defectos por Ensamble

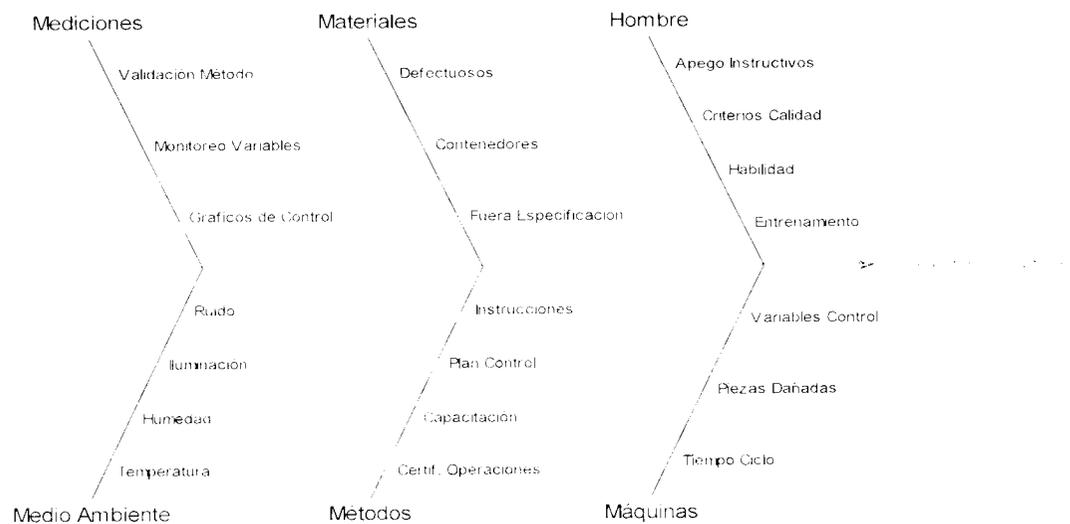


Figura 4.3. Diagrama Causa-Efecto de Fallas Originadas en el Ensamble.

Existen factores relacionados directamente con la generación de defectos, se requirió definir cuales son los que afectan el desempeño de la línea de ensamble medido durante las pruebas de producto terminado (Aceptado/Rechazado).

Factores relacionados directamente al ensamble del producto, pudiendo ser:

- Ensamble de partes mecánicas.
- Conexiones de cables y terminales de los diferentes componentes.
- Daños de apariencia provocados durante el ensamble del producto.
- Conocimiento de partes de ensamble, pudiendo identificar si existe algún defecto en ellas aún antes de ensamblarlas.

Partes o componentes nuevos manufacturados en planta:

- Para los proyectos bajo análisis como partes nuevas, sólo se manufactura el tambor, componente que aloja la ropa durante la operación de la secadora. Existen varios críticos para este componente, dimensionalmente: la altura total y el diámetro.

#### **4.4.2 Definición del Plan de Inspección y Pruebas**

Con base en la referencia de línea base sobre los principales defectos encontrados, se definió el plan de inspecciones y pruebas sobre la línea de ensamble para reducir el impacto del desempeño del producto. Una vez ensamblado, se definen los componentes y ensambles críticos, así como el listado de pruebas a realizar que garanticen la seguridad y funcionalidad del producto terminado, dividido en dos etapas:

## Etapa 1: Pruebas de ensambles Críticos

El quemador de gas es considerado crítico ya que los componentes involucrados afectan directamente la seguridad del producto. El Ignitor es el componente con mayor número de llamadas de servicio por parte del cliente en las secadoras de gas.

Función: Proveer de calor al interior de la secadora por medio de la combustión de gas.

Modos de falla asociados: Fuga de gas, válvulas no abren/cierran, ignitor quebrado, consumo de energía alto por flujo de válvulas de gas.

VARIABLES: Presión y tipo de gas.

Controles: Torques de ensamble y componentes certificados por proveedor

Las pruebas e inspecciones implementadas para este ensamble se muestran en la Figura 4.4.

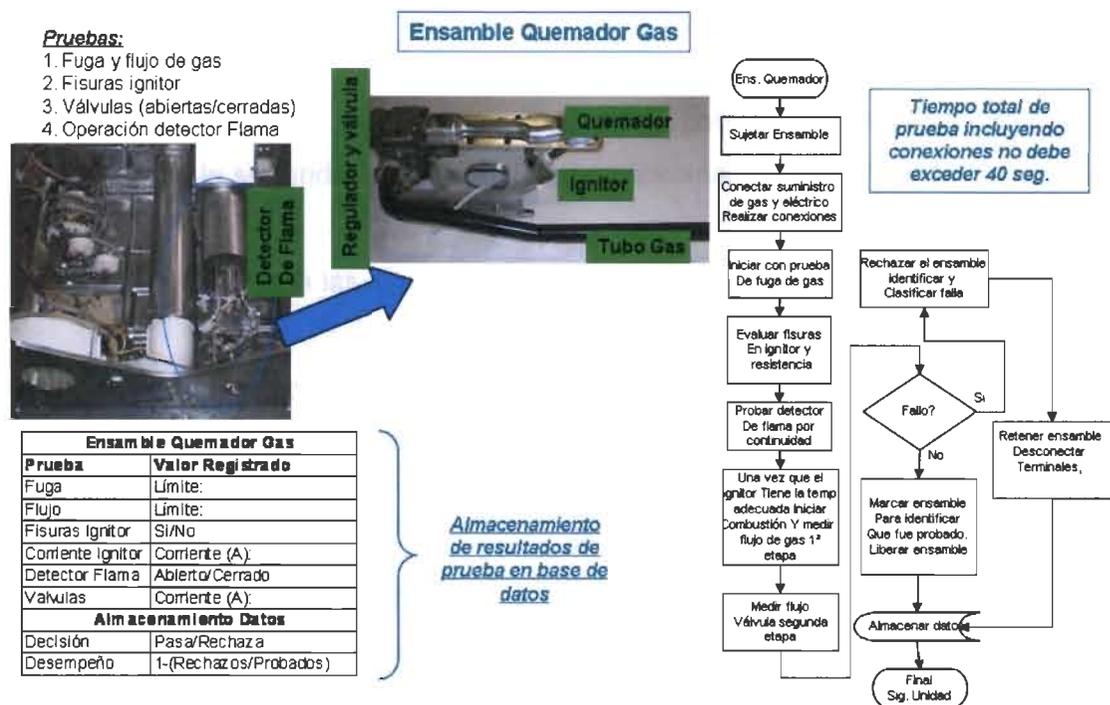


Figura 4.4. Descripción Pruebas Primer Ensamble Crítico.

Estas pruebas realizadas a ensambles parciales del producto, ayudan a identificar modos de falla, que pueden no ser detectadas como producto terminado, que en este caso fueron las fracturas del Ignitor, ver Figura 4.4. El resto fueron también detectadas en las pruebas de producto final, pero al realizarlas como sub ensamble evitan que la reparación, en caso de falla, se realice antes de terminar el producto reduciendo tiempos de operación.

## Etapa 2. Pruebas de producto terminado

Para determinar las pruebas a realizar como producto terminado, se tomó como referencia las pruebas realizadas en productos similares en Mabe Canadá, modificando secuencias de prueba así como agregando lecturas de

parámetros adicionales que cubran en mayor proporción los potenciales modos de falla del producto.

El objetivo fue diseñar un área de pruebas de producto terminado garantizando la seguridad y funcionalidad de los aparatos evaluados.

Se planteó contar con las siguientes características en el área de pruebas:

1. La capacidad de los equipos para detectar fallas o modos de falla que pudieran presentarse con el usuario final y representar un costo por garantía.
2. Que el manejo y flujo de la información obtenida pueda ser analizada oportunamente, y sirva para realizar análisis de tendencias, probabilidades de falla y áreas o componentes con oportunidad de ser mejorados.

#### 4.4.3 Número de Estaciones de Pruebas de Producto Terminado.

El número de estaciones de prueba quedó definido de acuerdo al volumen anual estimado y el tiempo ciclo de manufactura del producto. La línea de ensamble de secadoras debe cumplir con un volumen de 100 000 unidades por año y un tiempo ciclo de 64 segundos por unidad ensamblada. Los tiempos de prueba para cada uno de los dos diferentes productos: secadoras a gas y secadoras eléctricas, determinados de acuerdo a la cantidad y tipo de inspecciones y mediciones se presentan en la Tabla 4.4:

Tiempos de pruebas	
Producto a probar	Tiempo requerido
Secadora eléctrica	121 seg
Secadora gas	161 seg

Tabla 4.4. Tiempos de Prueba para las Secadoras

La mezcla de productos a producir durante un año es de 80% del volumen de producción de secadoras eléctricas y 20% del volumen con secadoras a gas.

El cálculo de los parámetros para caracterizar el sistema de colas para el área de pruebas es con las siguientes características: se tiene que la tasa de llegada y la tasa de servicio no se ven afectadas, en sus parámetros, por el número de clientes  $n$  en la cola o en el sistema, ya que la tasa de llegada es constante y depende directamente del tiempo ciclo para producir cada secadora, así como el tiempo de servicio que tampoco se verá afectado, ya que los tiempos de prueba sólo dependen del modelo del producto, y de la habilidad del operador que realiza la inspección. bajo estas consideraciones. se tiene que  $\lambda_n = \lambda$  y  $\mu_n = \mu$ .

- Tasa media de llegada  $\lambda = 48$ , que es el número esperado de llegadas por hora de acuerdo al tiempo ciclo definido previamente. Esta variable no cambia.
- Tasa media de servicio  $\mu$  es de acuerdo a la mezcla de productos, hay tres escenarios:
  - 1. Sólo se evalúan secadoras eléctricas,  $\mu = 121 \text{ seg} = 29.7$  servicios por hora.
  - 2. Sólo se evalúan secadoras de gas,  $\mu = 161 \text{ seg} = 22.4$  servicios por hora.
  - 3. Con una mezcla 80-20 eléctrica-gas,  $\mu = 28.3$  servicios por hora.
  -

Para fines de análisis se considera el caso más crítico, cuando sólo se evalúan secadoras a gas ya que el tiempo de prueba es mucho mayor y la tasa de servicio menor, por lo que  $\mu = 22.4$

En la Tabla 4.5 se observa que el factor de utilización del sistema varía de 2.1 a 0.7, con una y dos estaciones o servidores, respectivamente; por lo que uno o dos servidores no serían suficientes para el sistema, cuando este factor es mayor a 1, la cola crecerá sin límites. A partir de lo anterior se concluyó que se requieren tres estaciones de prueba a fin de no generar colas o cuellos de botella.

Característica	Parámetro	Fórmula	Servidores (propuestos)			Comentario
			1	2	3	
Tasa media de llegada	$\lambda$		48	48	48	Número esperado de llegadas por unidad de tiempo (hora) según tiempo ciclo
Tasa media de servicio	$\mu$		22.4	22.4	22.4	Número esperado de clientes que completan el servicio por unidad de tiempo (hora)
Tasa media de servicio por servidor ocupado		$s\mu$	22.4	44.7	67.1	Los servidores están ocupados
Tiempos entre llegada esperados		$1/\lambda$	0.021	0.021	0.021	Fracción de hora
Tiempos de servicio esperados		$1/\mu$	0.045	0.045	0.045	Fracción de hora
Factor de utilización para el sistema	$\rho$	$\rho = \lambda / (s \mu)$		1.1	0.7	Fracción de tiempo que los servidores están ocupados

Tabla 4.5. Número de Estaciones de Prueba Requeridas.

Se determinó colocar 3 estaciones de prueba, cada una de ellas capaz de realizar las siguientes pruebas:

Pruebas:

- Apariencia
- Pruebas de seguridad eléctricas
- Verificación del software de la tarjeta electrónica
- Comunicación por medio del puerto Serial
- Fuga y flujo de gas
- Consumo de corriente: Motores y Resistencias
- Sensor de humedad y luz interior

El plan es probar 100% de los productos ensamblados

La descripción y requerimientos general de pruebas es con base en los requerimientos de prueba regulatorios para seguridad del producto, consumo de energía y funcionalidad.

#### 4.4.4 Flujo y Manejo de Información de Pruebas e Inspecciones

Con el propósito de realizar un manejo de información obtenida durante las inspecciones y pruebas a realizar a lo largo de la línea de ensamble, se propone el diagrama mostrado en la Figura 4.5. .

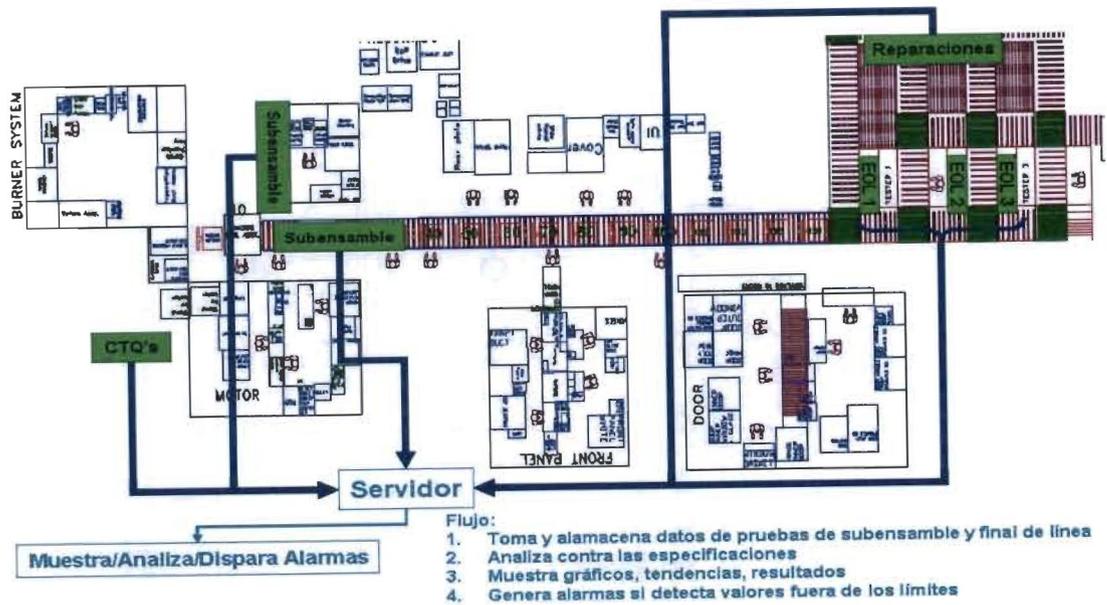


Figura 4.5. Ubicación y Flujo de los Puntos de Inspección

El sistema de flujo de información se plantea atendiendo a los requerimientos actuales y agregando reportes y alarmas para la fácil detección de fallas repetitivas o porcentajes de rechazos.

#### 4.4.5 Descripción de los Procesos Críticos de Manufactura

El proceso crítico definido para la implementación del nuevo producto a manufacturar, que en este caso son secadoras de ropa, es el tambor, este componente consta de varias partes metálicas troqueladas, provenientes de diferentes proveedores, que serán procesados en un tren de maquinaria para obtener el ensamble final. La descripción de partes y especificaciones del ensamble tambor (ensamble crítico manufacturado en planta) se presentan en la Figura 4.6.

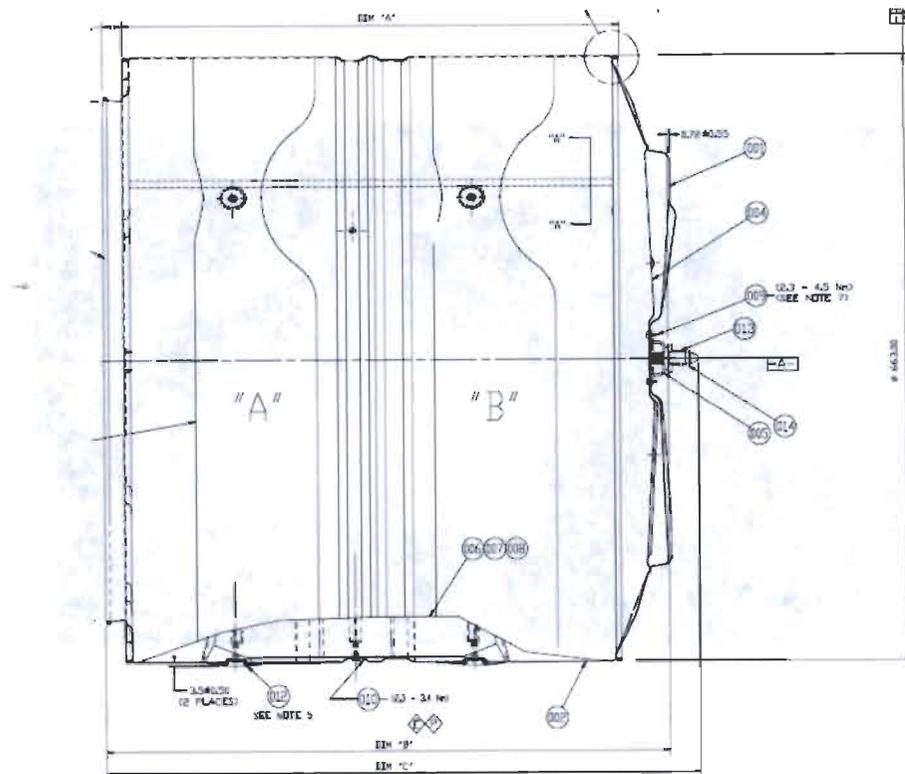


Figura 4.6. Especificaciones Dimensionales Tambor y Crítico de Calidad.

En este proceso, el CTQ (Crítico de Calidad, por sus siglas en inglés) es definido como la altura total del tambor, el requerimiento interno para asegurar la capacidad del proceso de esta característica es cumplir con un nivel  $Z = 6$ . Para asegurar un máximo de defectos de 3.4 partes por millón. El ensamble del tambor involucra partes metálicas provenientes de diferentes proveedores, las que afectan directamente el crítico dimensional son el respaldo y el frente, partes metálicas troqueladas para un producto de producción actual en una planta de Canadá, por lo que se dificultará cualquier cambio ya que sería diferente a lo que se tiene especificado para los productos ahí manufacturados. A pesar de que sólo existe un crítico de calidad, hay variables de respuesta adicionales que también son de importancia para el desempeño del componente, que son la profundidad del frente, aro y fondo, una vez rolados y engargolados. Las partes que componen el ensamble se presentan en la Figura 4.7.

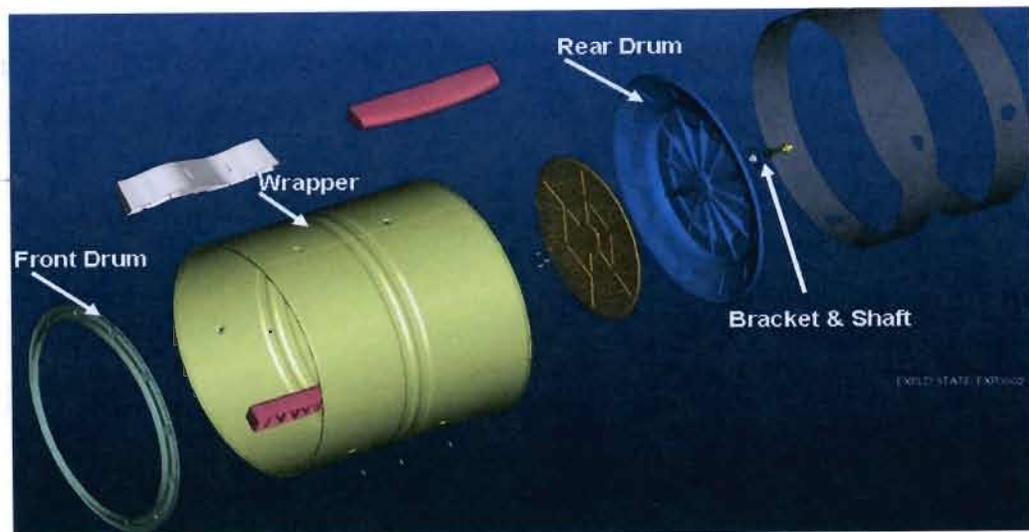


Figura 4.7. Explosionado de Partes que Componen el Tambor.

Las partes que afectan directamente el CTQ identificado, se presentan en la Figura 4.8.

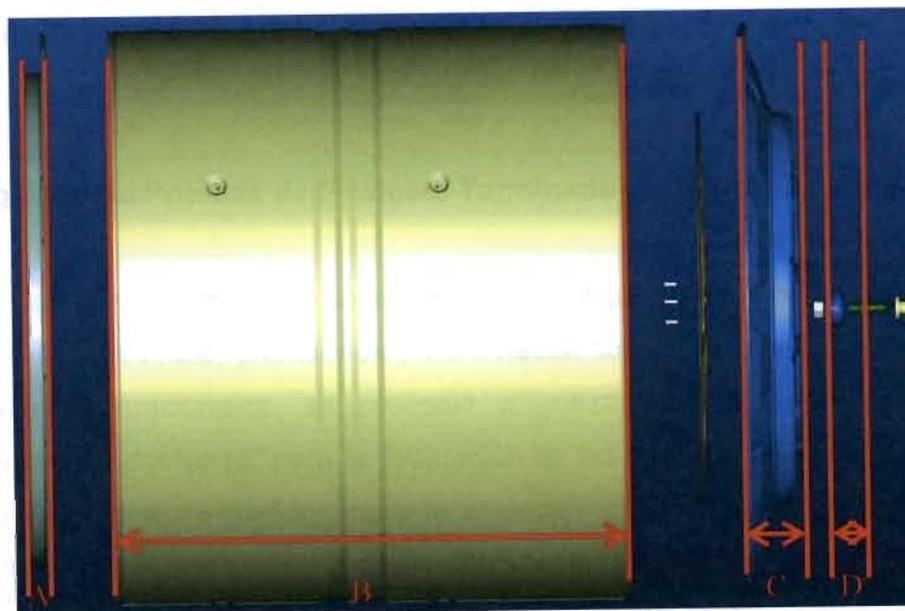


Figura 4.8. Vista Lateral Componentes que Afectaran Longitud del Tambor.

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se describen en esta sección las acciones que se desarrollaron para esta etapa del proyecto, así como el análisis de los resultados obtenidos.

### 5.1 Equipos de Pruebas de Producto Terminado

Una vez desarrolladas las especificaciones de los equipos de prueba para la línea de ensamble, planteados para detectar todas las potenciales fallas de seguridad y funcionales, se procedió a cotizar con proveedores locales, nacionales y extranjeros, para la evaluación de las diferentes opciones. Algunos de los factores considerados para la selección del proveedor de equipos de prueba de ensambles críticos y de producto terminado son:

Proveedor reconocido, cumplimiento de las especificaciones entregadas, tecnología a utilizar, versatilidad para cambios o modificaciones en planta, costo y tiempo de entrega.

Se seleccionó un proveedor que desarrolla los equipos de prueba para las plantas exportadoras de mabe, así como para toda la industria de electrodomésticos en EUA. Una de las ventajas que presenta contra el resto de los proveedores es la versatilidad de los equipos en cuanto a hardware y software, las modificaciones o adecuaciones que puedan ser requeridas en un futuro, pueden ser realizadas por personal de planta y evitar costos de viáticos y honorarios por asesorías.

La Figura 5.1 muestra el área de pruebas de producto terminado con los tres equipos instalados 6 meses antes de iniciar la producción de las secadoras,

esto con el propósito de realizar pruebas y validación de los equipos durante las corridas de ensambles prototipos y piloto.

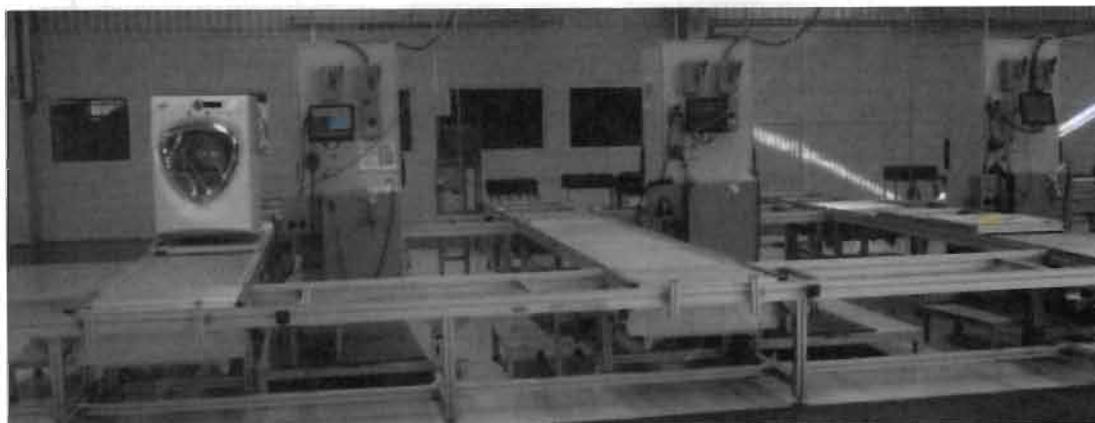


Figura 5.1. Equipos de Prueba de Producto Terminado

Los equipos siguen a la secuencia de prueba activada al leer el código de barras del producto y los resultados son almacenados en una base de datos, para monitoreo y registro.

“ Para la liberación de los equipos de prueba, se realizaron mediciones con equipos de laboratorio calibrados para determinar si la diferencia en los resultados obtenidos de un equipo contra el otro difieren, encontrándose que las pruebas realizadas con cualquier equipo, arrojan resultados estadísticamente similares, también se simularon todos los posibles modos de falla en los productos a probar, secadoras eléctricas y a gas, obteniéndose como resultado las Tablas 5.1 y 5.2 siguiente tabla, hay algunas fallas que no es posible detectar (marcadas como “No detectada”), para las cuales se adicionaron controles e inspecciones específicos a las áreas afectadas, la información referente a la secadora eléctrica se presenta en la Tabla 5.1, de igual modo, lo referente a la secadora a gas, se presenta en la Tabla 5.2.

Modelo electrico		
Falla simulada/Componente desconectado	Rechazo	Resultado prueba
1 Desconexión de cable tierra tomacorriente	step 2	rechazado (time out)
2 Desconectar L1 cable rojo	step 7	rechazado (time out)
3 Desconectar Neutro cable rbco	step 7	rechazado (time out)
4 Desconectar L2 cable negro	step 8	rechazado (time out)
5 L1 L2 y neutro invertidos	step 10	rechazado
6 L1 L2 y neutro corto circuito con tierra	step 6	rechazado (time out)
7 Cable de comunicación desconectado	step 9	rechazado (time out)
8 Puerta abierta inicio (door switch open)	step 7	rechazado
9 Lámpara fundida	step 15	rechazado
10 Arnes UI desconectado	step 7	rechazado (time out)
11 Inlet thermistor terminal desconectada	step 8 (self test)	rechazado (time out)
12 Inlet thermistor terminal corto	step 8 (self test)	rechazado (time out)
13 termostato seguridad terminal desconectada	step 19	rechazado (time out)
14 termostato seguridad terminales unidas	No Detectada	Pasa
15 coil común terminal desconectada	step 19	rechazado (time out)
16 coil común terminal en corto con chasis	step 12	rechazado
17 coil terminal bco desconectada	step 19	rechazado (time out)
18 Inner y outer coil terminales invertidas	Step 12	rechazado
19 cable tierra block del drum motor desconectado	No Detectada	Pasa
20 Block de conexiones de drum motor desconectado	step 11	rechazado
21 conector bco drum motor desconectado	step 11	rechazado
22 idler switch terminal rosa desconectada	step 11	rechazado (time out)
23 idler switch terminal café-amarillo desconectada+	step 11	rechazado (time out)
24 cable tierra blower motor desconectado	No Detectada	Pasa
25 Conector bco (gde) blower motor desconectado	step 10	rechazado (time out)
26 Conector bco blower motor desconectado	step 15	rechazado
27 Capacitor terminal desconectada	step 11	rechazado (time out)
28 termostato de salida terminal desconectada	step 19	rechazado (time out)
29 termostato de salida terminal corto chasis	step 12	rechazado
30 shoe rack thermostat terminal negra (awg 16) desconectada	No Detectada	Pasa
31 shoe rack thermostat terminal negra (awg 16) corto chasis	step 6	rechazado (time out)
32 shoe rack thermostat terminales pegadas	No Detectada	Pasa
33 shoe rack thermostat terminal negra (awg 14) corto chasis	No Detectada	Pasa
34 shoe rack thermostat terminal negra (awg 14) desconectada	No Detectada	Pasa
35 termistor de salida terminal con housing desconectada	step 8	rechazado
36 termistor de salida terminal con housing corto chasis	step 8	rechazado
37 termistor de salida terminales pegadas	step 8	rechazado
38 Housing J1 desconectado	step 7	rechazado (time out)
41 Housing J2 desconectado	step 10	rechazado (time out)
43 Housing J8-J9 desconectado	step 12	rechazado
44 Housing J10 desconectado	step 19	rechazado
46 Housing J11 desconectado	current leakage test	rechazado
47 Housing J3 desconectado	step 7	rechazado (time out)
48 Housing J5 desconectado	step 13 (self test)	rechazado (time out)
49 Housing J4 desconectado	step 8 (self test)	rechazado (time out)
50 Housing J7 desconectado	step 20	rechazado (time out)
51 Terminal rosa varillas desconectada	Self test paso 9	rechazado (time out)
52 Arnes del cable de comunicación desconectado	step 9	rechazado (time out)
53 door switch terminal bco individual desconectada	step 8 self test	vfd prueba visual
54 door switch terminal bco individual corto front	step 6	rechazado (time out)
55 door switch terminal bco doble desconectada	step 15	rechazo (time out)
56 door switch terminal bco doble corto front	step 6	rechazo (time out)
57 door switch terminal café- amarillo desconectada	step 8	rechazado
58 door switch terminal café- amarillo corto front	step 6	rechazado (time out)
59 Door switch terminal café- amarillo & bco individual invertidas	step 15	rechazado
60 Triac terminal gris desconectada	step 19	rechazado
61 Triac terminal azul desconectada	step 19	rechazado
62 Triac terminal naranja desconectada	step 19	rechazado
63 Triac terminales naranja y azul invertidas	step 19	rechazado
64 Botón UI atorado	Self test	rechazado(time out)
65 Blower motor bloqueado	self test	rechazado

Tabla 5.1. Listado de Fallas Detectadas para Secadora Eléctrica.

Modelo gas			
	Falla simulada/Componente desconectado	Rechazo	Resultado prueba
1	Desconexión de cable tierra tomacorriente	step 2	rechazado (time out)
2	L1 y Neutro invertidos	step 7	rechazado (time out)
3	L1 neutro corto circuito con tierra	step 6	rechazado (time out)
4	Cable de comunicación desconectado	step10	rechazado (time out)
5	Puerta abierta inicio (door switch open)	step 7	rechazado
6	Lampara fundida	step 15	rechazado
7	Arness J1 desconectado	step 7	rechazado (time out)
8	Inlet thermistor terminal desconectada	step8	rechazado (time out)
9	Inlet thermistor terminal corto	step 8 (self test)	rechazado (time out)
10	termostato seguridad terminal desconectada	step11	rechazado (time out)
11	termostato seguridad terminales unidas	No Detectada	Pasa
12	termostato seguridad terminal en corto chasis	No Detectada	Pasa
13	cable tierra block del drum motor desconectado	step2	rechazado
14	Block de conexiones de drum motor desconectado	step 11	rechazado
15	Block drum motor flojo	step11	rechazado
16	conector bco drum motor desconectado	step 11	rechazado
17	conector bco drum motor flojo	step11	rechazado
18	iddler switch terminal rosa desconectada	step11	rechazado (time out)
19	iddler switch terminal café-amarillo desconectada+	step11	rechazado (time out)
20	cable tierra blower motor desconectado	No Detectada	Pasa
21	Conector bco (gde) blower motor desconectado	step11	rechazado (time out)
22	Conector bco blower motor desconectado	step17	rechazado
23	Capacitor terminal anaranjada desconectada	step 11	rechazado (time out)
24	capacitor terminal negro desconectada	step 11	rechazado (time out)
25	termostato de salida terminal anaranjada desconectada	step 19	rechazado (time out)
26	termostato de salida terminal anaranjada corto chasis	step19	rechazado
27	termostato de salida terminal negra desconectada	step32	rechazado
28	termostato de salida terminal negra corto chasis	step32	rechazado (time out)
29	shoe rack thermostat terminal negra (awg 16) desconectada	No Detectada	Pasa
30	shoe rack thermostat terminal negra (awg 16) corto chasis	step 6	rechazado (time out)
31	shoe rack thermostat terminales pegadas	No Detectada	Pasa
32	shoe rack thermostat terminal amarilla (awg 14) corto chasis	No Detectada	Pasa
33	shoe rack thermostat terminal negra (awg 14) desconectada	step 32	rechazado
34	termistor de salida terminal sin housing desconectada	step 8	rechazado
35	termistor de salida terminal sin housing corto chasis	step 8	rechazado
36	termistor de salida terminal con housing desconectada	step 8	rechazado
37	termistor de salida terminal con housing corto chasis	step 8	rechazado
38	termistor de salida terminales pegadas	step 8	rechazado
39	Housing J1 desconectado	step 7	rechazado (time out)
42	Housing J2 desconectado	step11	rechazado (time out)
44	Housing J8-J9 desconectado	step32	rechazado
45	Housing J10 desconectado	step 19	rechazado
47	Housing J11 desconectado	current leakage test	rechazado
48	Housing J3 desconectado	step 7	rechazado (time out)
49	Housing J5 desconectado	step 13 (self test)	rechazado (time out)
50	Housing J4 desconectado	step 8 (self test)	rechazado (time out)
51	Housing J7 desconectado	step29	rechazado (time out)
52	Terminal rosa varillas desconectada	step29	rechazado (time out)
53	Arnes del cable de comunicación desconectado	step10	rechazado (time out)
54	door switch terminal bco individual desconectada	step 8 self test	vfd prueba visual
55	door switch terminal bco individual corto front	step 6	rechazado (time out)
56	door switch terminal bco doble desconectada	step 15	rechazo (time out)
57	door switch terminal bco doble corto front	step 6	rechazo (time out)
58	door switch terminal café- amarillo desconectada	step 8	rechazado
59	door switch terminal café- amarillo corto front	step 6	rechazado (time out)
60	Door switch terminal café- amarillo & bco individual invertidas	step 15	rechazado
61	Triac terminal gris desconectada	step 19	rechazado
62	Triac terminal azul desconectada	step 19	rechazado
63	Triac terminal naranja desconectada	step 19	rechazado
64	Triac terminales naranja y azul invertidas	step 19	rechazado
65	Boton UI atorado	Self test	rechazado(time out)
66	Blower motor bloqueado	self test	rechazado
67	Terminal de negra de capacitor desconectada	step 24	rechazado

Tabla 5.2. Listado de fallas provocadas en secadora gas.

En este análisis, se encontró que existen algunas fallas o defectos de ensamble que pueden no ser detectados durante las pruebas finales de producto terminado, básicamente se reducen a desconexiones de terminales de cableado a componentes. Se determina que los defectos son directamente de una parte comprada, y no del ensamble de la misma, por lo que las acciones son dirigidas al área de calidad proveedores, enfatizando que esta lista de defectos son provocados para propósitos de evaluación del equipo instalado. Para las pruebas de ensambles críticos definidos en la sección de planteamiento, se sigue la misma lógica para análisis, cubriendo cada una de ellas las pruebas especificadas, para detección de defectos de riesgo potencial definidos durante el análisis de los productos de referencia.

## **5.2 Definición de Procesos Críticos de Ensamble**

Dentro de la planta Mabe Saltillo, sólo se manufacturará un ensamble considerado crítico, en ensamble tambor descrito previamente.

### **5.2.1 Análisis Modo y Efecto de Falla Diseño Maquinaria Tambor**

Con el propósito de determinar las potenciales áreas de riesgo del ensamble tambor se hace uso de la herramienta de análisis del modo y efecto de falla (AMEF), para la línea de ensamble del tambor, ver Tabla 5.3.

El proceso de manufactura de componentes crítico identificado para el desarrollo del proyecto, es la máquina que producirá los tambores de la secadora, por el impacto en inversión y cantidad de fallas atribuidas a este

componente por defectos dimensionales y de apariencia, esta máquina es de un diseño y proveedor nuevos para la planta Mabe Saltillo. Por lo que se realiza un análisis del modo y efecto de la falla para determinar potenciales causas de defectos y atenderlos durante el desarrollo de la maquinaria. Las acciones planteadas en el documento fueron verificadas durante el proceso de validación. Este análisis sirvió para determinar las potenciales causas de fallas y generar acciones con anticipación para que durante el diseño de la maquinaria se atendieran con oportunidad.

Item/Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Potential Cause(s)/Mechanism(s) of Failure	Occ	Current Design Controls	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsibility & Target Completion Date
Manual feeding from warehouse to the stacker (fork lift)	Material pallet in a wrong place	Drum with wrong size	5	Operator mistake	5	VA, size sensors on drum machine	2	2	Validate automatic system on tool releasing (already included on the specs)	M. Bautista/M. Martinez Date: Tool release
		Drum with wrong size	5	Material (Blank pallets) wrong identified	3	Supplier quality plan	8	120		
Transfer material from stacker to feeder (through vacuum cups)	Stucked material or take more than one blank	Production process interrupted	6	Static/blank finishing	3	Vacuum cups firing system (3 phases)	4	4	Enclosure system to avoid dust/contaminants done by mabe	M. Bautista/TBD
Align material before feed (by pneumatic fixtures)	Blank not aligned	Drum out of dimensions	7	Blank squareness less	3	None	8	8	Review options with drum machine supplier	M. Bautista/FW45
Hold blank on the drum transfer system (servo)	Blank wrong location	Drum notch in wrong position	7	Servo's synchronization	2	None	2	2	Include alarm on equipment, stop immediately	M. Bautista/FW45
Notch and piercing	Wrong cut	Drum defective	6	Pin broken/misaligned/du ll (Maintenance plan not applied)	4	Maintenance Plan	3	3	Drum machine displays an alarm once it reaches the programmed counts	M. Bautista/FW45
Flanges operation	Flange wrong size (angle)	Drum wrong locked seam	7	Pneumatic cylinder doesn't reach proper position	2	None	5	5	Include proximity sensor on machine (specs)	M. Bautista/FW45
Prepare for lockseam (fold blank)	Wrong position	Wrong summer	7	Blank misaligned	3		4	4	Include end stops & alignment cylinders. Alarm on the station	M. Bautista FW45
Lockseam operation	Wrong lockseam	Noise, bad assembly, performance failures	8	Pressure variations, misaligned, end stroke	3	None	5	120	Alarm for pressure, proximity sensors	M. Bautista/FW45
Wrapper pick and place (robots operation)	Pick material	Material not taken, operation interruption	6	Presence sensors or limit switch failure	2	Sensors & alarms	2	3	Maintenance plan include sensor & switches inspection	M. Bautista/TBD

Item/Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	AS	Potential Cause(s)/Mechanism(s) of Failure	CP	Current Design Controls	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsibility & Target Completion Date
Wrapper pick and place (robots operation)	Pick material	Material not taken, operation interruption	6	Presence sensors or limit switch failure	2	Sensors & alarms	2	24	Maintenance plan include sensor & switches inspection	M. Bautista/TBD
Wrapper material movement (robots operation)	Wrapper transportation interference, material slip	Wrapper damaged (D or S)	6	Pick fixture not defined	2	None	3	36	End of arm tooling recommended by supplier	M. Bautista/FW45
Wrapper material place (robots operation)	Wrong placement	Damage on wrapper or equipment	6	Programming error	2	Tooling release plan	3	36	Test all possible movements with different sizes	MB, MM/TBD
Wrapper flange (top or bottom spin form)	Flange incomplete/wrong formed	Front drum vs wrapper wrong seamed	7	Head tools degraded, cylinder misaligned/end stroke	3	Sensors end stroke, maintenance	5	105	Include sensors to detect wrapper position, Complete MTP	M. Bautista/TBD
Wrapper belt groove form	Grooves wrong formed/misaligned	Vibration/noise /belt slip	8	Cylinder stroke, tool heads degradation	3	Sensors & maintenance plan	5	120	Include sensor to detect wrapper position before grooves started, complete MTP	M. Bautista/TBD
Rear drum/front drum assembly	Wrong assembly	Drum depth out of spec/Concentricity	9	Cylinder pressure out of spec/cylinder stuck	2	Sensors	5	90	Include as CTP cylinder pressure	M. Martinez/TBD
Rear drum assembly/brushed	Brushed not done/completed	Risk of fire for paint remaining (on diffuser)	10	Wrong brushed	3	Sensors	9	270	Assure the sensors detect the brush function is done	M. Martinez-M. Bautista/TBD
Drum total depth inspection	Total depth out of spec (test pass)	Drum grazing/loose	9	Not calibrated, GAGE not compliant	4	Calibration, GAGE R&R	4	144	Maintenance plan	M. Martinez/TBD
Drum continuity inspection	Continuity not measured (pass/fail)	Ground failure	10	Equipment not working properly, contact probes degraded	3	Calibration, GAGE R&R, Control plan	5	150	Define Control Plan & calibration	M. Martinez/TBD
Drum flow trough the machine (all stations)	Dents & scratches	Appearance	7	Material handling (whole process)	5	Process controlled by robots	5	175	Add a complete enclosure for the process, release process simulate material flow	M. Martinez-M. Bautista/TBD
								270		

Tabla 5.3. AMEF Diseño Máquina para Manufacturar Tambor Secadora.

## 5.2.2 Requerimientos y Selección de Proveedor

Proveedor seleccionado: Fisher & Paykel Nueva Zelanda.

Los requerimientos básicos para la calificación de equipo para asegurar la calidad del ensamble son:

1. Obtener un valor mínimo de 4.5 Zlt de capacidad de proceso en CTQ.
2. Cumplir dimensionalmente con todas las especificaciones del plano.
3. Tiempo ciclo máx. 25 seg.

4. Porcentaje Desperdicio máximo de 4%.
5. Ninguna marca o raya que pueda afectar la apariencia del componente.

Además, se especifica, en el contrato con el proveedor, las condiciones para la liberación de la maquinaria, por parte del equipo de calidad, en el que se consideran los siguientes aspectos: reporte dimensional de las cotas descritas en el plano del ensamble, capacidad del proceso para el CTQ (altura total del ensamble) medido en sigmas o probabilidad de defecto que para este caso debe ser 4.5 Zlt.

### 5.2.3 Layout Estaciones de Máquina para Tambor

En la Figura 5.2 se muestra el layout y descripción de los procesos de la máquina que realizará el ensamble tambor.

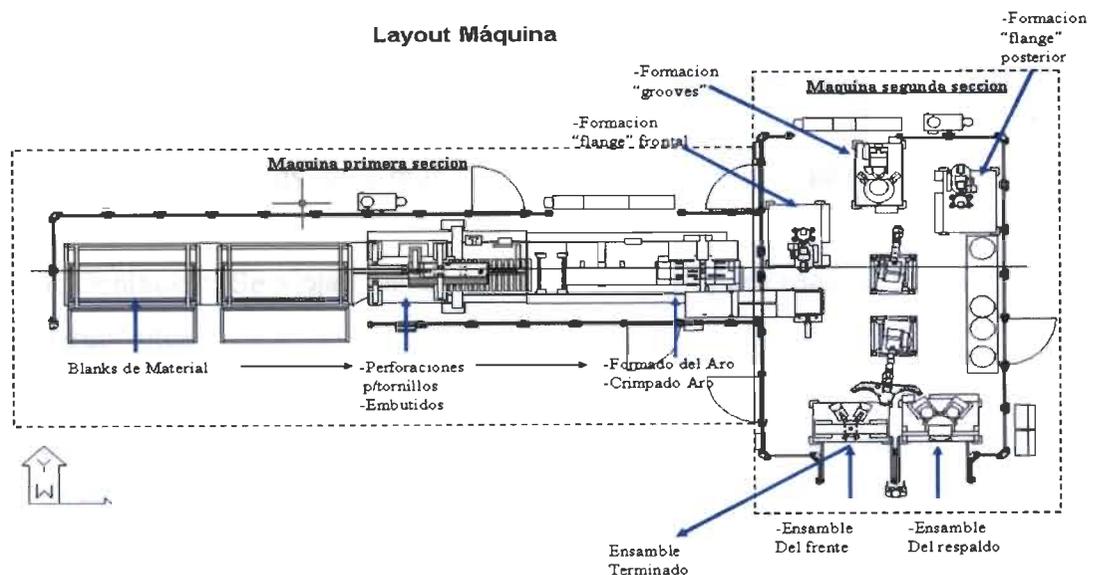


Figura 5.2. Layout Máquina para Ensamble Tambor.

El layout muestra la configuración y las secciones del tren de maquinaria, es la referencia para ubicarlo dentro de la planta considerando el flujo de materia prima y el ensamble que entrega.

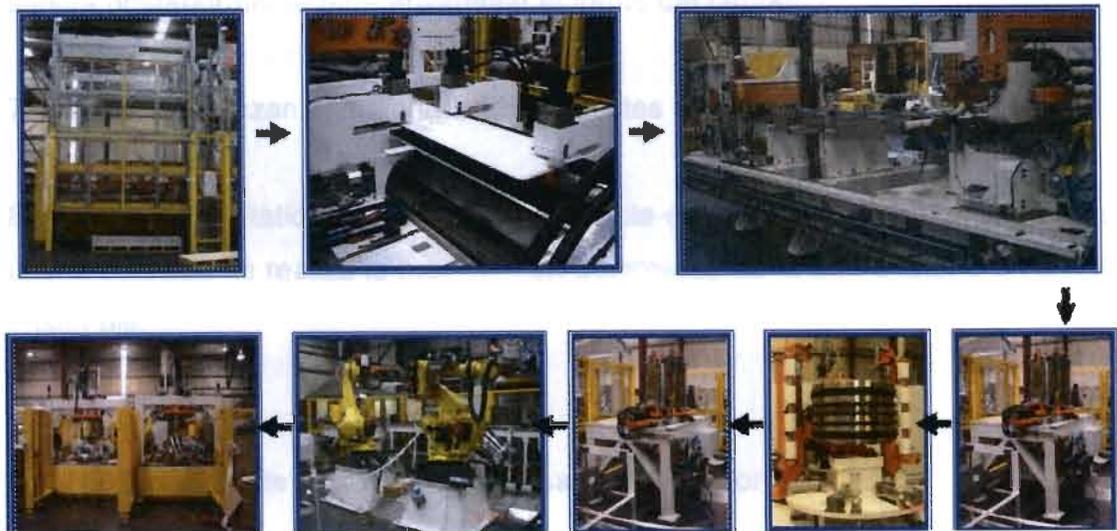


Figura 5.3. Descripción Pasos de Manufactura del Tambor.

Las ocho secciones de la maquinaria mostradas en la Figura 5.3 son:

1. Destacker: Se alojan las láminas que servirán para realizar el aro, cuenta con 8 depósitos.
2. Notcher: Realiza cortes y embutidos que posteriormente servirán para ensamblar las aletas en el interior del tambor
3. Roll up and Crimp: Realiza el formado del aro y el engargolado para sujetarlo.
4. Flange 1: Realiza un formado en la parte inferior del aro del tambor, que servirá posteriormente para ensamblar el fondo del tambor.

5. Belt Groove: Realiza un par de embutidos al centro del tambor, que alojarán a la banda del sistema impulsor de la secadora, para generar el giro.

6. Flange 2: Realiza un formado en la parte frontal del aro del tambor, que servirá posteriormente para ensamblar el frente del tambor.

7. Robots: Desplazan el material a las diferentes estaciones de la máquina.

8. Rear y Front Stations: Realizan el ensamble del frente y fondo tambor. En la última estación se realiza la medición en automático de la altura total o CTQ del ensamble.

### **5.3 Certificación de Proceso para Ensamble Tambor**

Para la liberación del equipo el primer paso es dimensionar todas las cotas especificadas en el plano para verificar su cumplimiento, esto se realiza en 5 productos ensamblados con la maquinaria, aún en las instalaciones del proveedor.

Para determinar la capacidad del proceso en la altura total del ensamble, se hace uso de herramientas de la metodología 6 sigma:

- Análisis de los sistemas de medición
- Planificación de la recolección de datos
- Análisis de la capacidad del proceso
- Análisis de tolerancias y sensibilidad

### 5.3.1 Análisis del Sistema de Medición

La dimensión crítica es la altura total, a fin de realizar las mediciones a pie de máquina, se emplea un calibrador de alturas para la medición mostrado en la Figura 5.4. El análisis de Repetibilidad y Reproducibilidad del sistema de medición se presenta en la Tabla 5.4.



Figura 5.4. Medición Altura Tambor

#### Gage R&R

Source	VarComp	StdDev	5.15*Sigma
Total Gage R&R	0.0033	0.05777	0.29751
Repeatability	0.0010	0.03140	0.16169
Reproducibility	0.0024	0.04849	0.24973
Operator	0.0024	0.04849	0.24973
Part-To-Part	1.2334	1.11058	5.71948
Total Variation	1.2367	1.11208	5.72721

Source	%Contribution	%Study Var	%Tolerance
Total Gage R&R	0.27	5.19	7.44
Repeatability	0.08	2.82	4.04
Reproducibility	0.19	4.36	6.24
Operator	0.19	4.36	6.24
Part-To-Part	99.73	99.86	142.99
Total Variation	100.00	100.00	143.18

Number of Distinct Categories = 27

Tabla 5.4. Resultados Gage R&R Estimados con Minitab.

De la Tabla 5.4, (“VarComp”) se observa que el mayor contribuidor es la variación parte a parte, que es lo que se busca, ya que el operador o el equipo no debieran contribuir significativamente a la variación. Mabe acepta Gages con un porcentaje de variación menor a 10%, por lo que se determina que el sistema es aceptable, ya que arroja como resultado un 5.19%. La resolución del equipo de medición empleado es de 0.01 mm [Manual Seis Sigma. Mabe, 1999].

Los gráficos del análisis gage, que se presenta en la Figura 5.5, descritos de izquierda a derecha y de arriba abajo, es como sigue:

**1.-Primera gráfica.** Gráfica de control, todos los puntos caen fuera de los límites, lo cual es correcto ya que indican que los operadores distinguen piezas diferentes.

**2.-Segunda Gráfica.** Gráfica de rangos, todos los valores están dentro de los límites de control, indicando que no hay valores fuera de lo común.

**3.-Tercer Gráfica.** Contribución de los componentes a la variación, el mayor porcentaje debe estar en la variación parte a parte, se esperan valores superiores a 80% en estas columnas, y el resto distribuido en las contribuciones del Gage, Repetibilidad y Reproducibilidad.

**4.-Cuarta Gráfica.** Gráfico de la interacción partes y operadores, muestra como los operadores concuerdan con su medición en cada parte.

**5.-Quinta Gráfica.** Gráfica de puntos por operador, todas deben estar en un nivel aproximado, ya que representa la variabilidad de las mediciones de cada operador.

**6.-Sexta Gráfica.** Gráfico de puntos por parte, los diferentes operadores deben estar próximos en las mediciones de cada parte, tomando en cuenta que, entre una y otra, hay variación, por lo que los puntos se encuentran agrupados en varios niveles.

Gage R&R (ANOVA) for B Measuremen

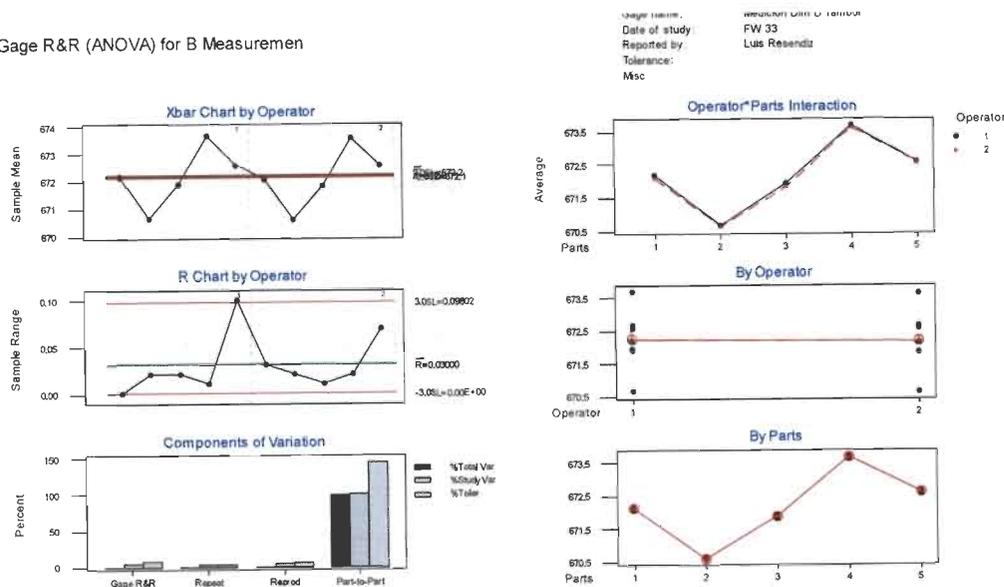


Figura 5.5. Gráficos del Análisis del Sistema de Medición con Minitab.

Con este sistema de medición validado, se realizaron las mediciones a utilizar para el análisis de la capacidad del proceso.

### 5.3.2 Planificación de la Recolección de Datos

Para la obtención de los datos del tambor, se plantearon las siguientes variables con el propósito de captar la mayor variación posible: mezclar ensamble de productos de diferentes dimensiones y materiales, así como arranques y paros de máquina.

### 5.3.3 Análisis de la Capacidad del Proceso

Existen varios índices de capacidad de proceso, para este trabajo se empleará el nivel de Z con su equivalente de probabilidad de defectos o partes por millón.

La Figura 5.6 muestra la relación de los diferentes índices de capacidad de proceso.

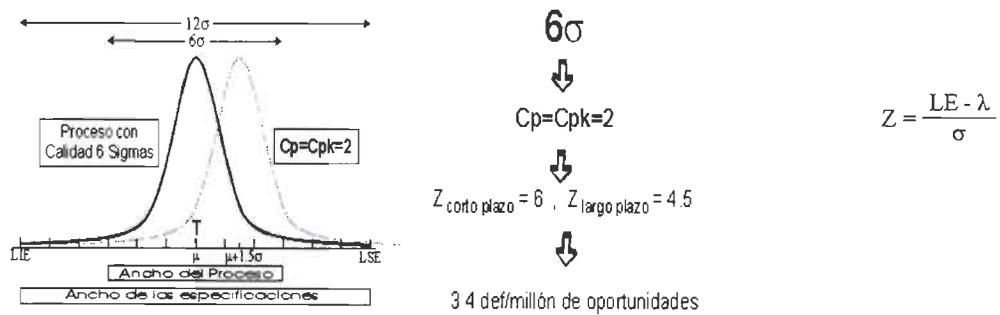


Figura 5.6. Comparativo de Índices de Capacidad de Proceso.

Los valores obtenidos para la altura total del tambor durante las corridas de certificación, con el proveedor, se presentan en la Tabla 5.5.

	Corrida								
	3	4	5	7	9	10	12	13	15
Altura total Espec: 673.8+/-2 mm	674.07	674.52	674.08	673.46	673.76	673.55	673.86	673.63	674.09
	674.48	674.46	674.26	674.36	673.29	673.6	674.09	673.97	673.88
	674.23	674.01	672.93	673.06	673.78	673.31	673.98	673.87	674.03
	673.09		673.37	673.31		672.54	673.9	673.75	673.85
	673.2		674.14	674.17			674.06	674.08	673.85

Tabla 5.5. Valores Altura Total del Tambor en Corridas con Proveedor.

Los resultados del análisis de capacidad, a través de Minitab, se presentan en las Figuras 5.7 y 5.8.

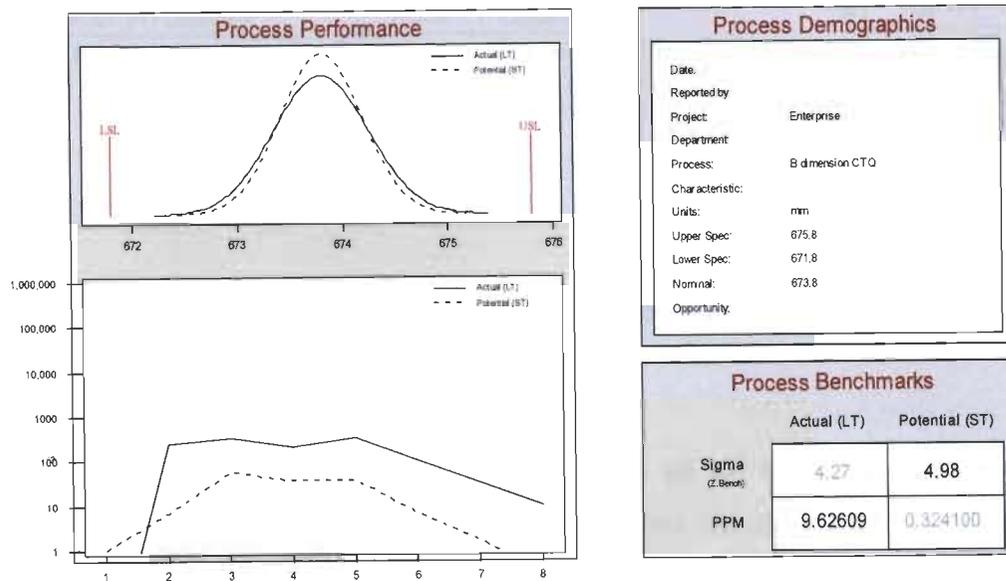


Figura 5.7. Análisis de Capacidad de Altura Tambor.

De la Figura 5.7, la esquina superior izquierda muestra la distribución de los datos medidos contra los límites de especificación, todos los datos caen dentro de los límites y se tiene un valor de sigma o Z de 4.27 LT (Largo Plazo), con un valor ST (Corto Plazo) de 4.98, esto indica que el proceso puede llegar a ser de 4.98 mejorando los controles actuales.

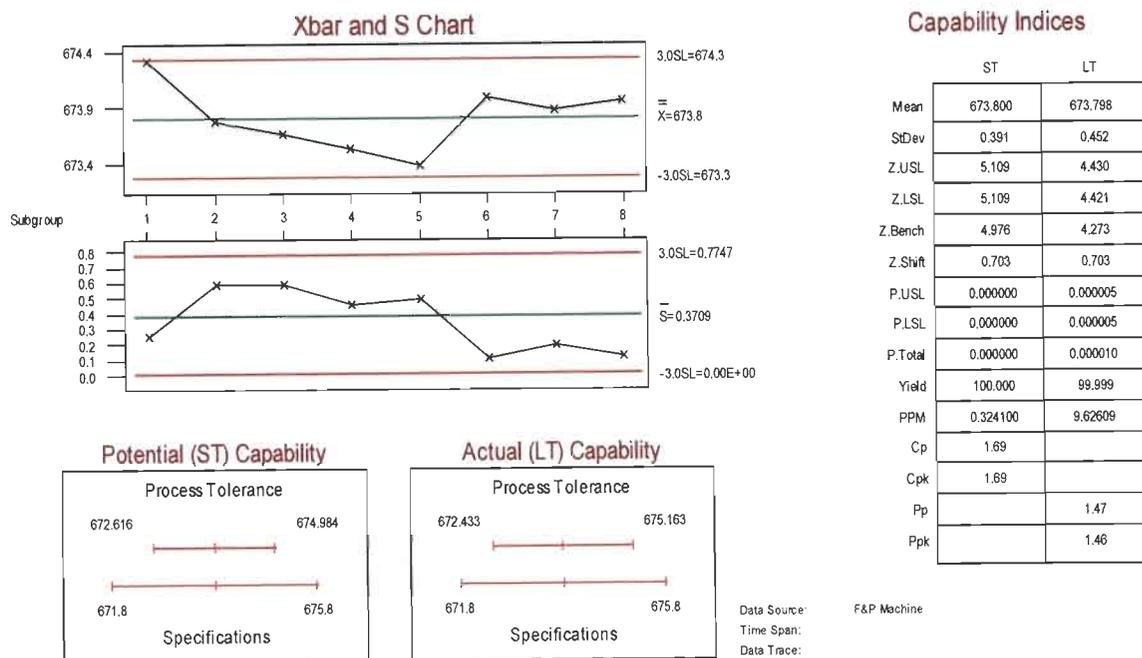


Figura 5.8 Resumen de Resultados Obtenidos e Índices de Capacidad.

El valor por contrato para la maquinaria es de 4.5 Zlt del análisis de capacidad de proceso, por lo que se analizaron los resultados de las diferentes corridas, por medio de gráfica de cajas, a fin de observar si existía alguna tendencia o resultado inusual, ver Figura 5.9. Del análisis, se concluyó que las últimas 3 corridas mostraron un comportamiento totalmente diferente al resto, con una variación mucho menor.

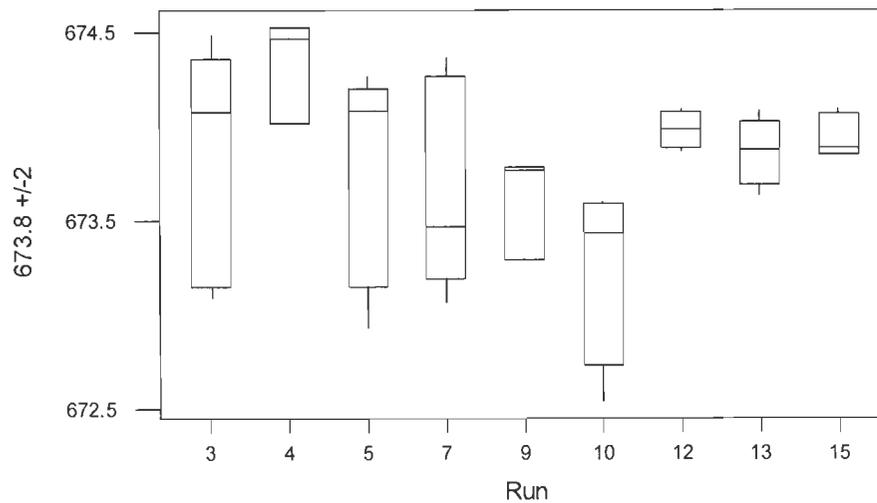


Figura 5.9. Gráfica de Cajas para Altura Tambor.

Se identificó que existieron dos cambios en las mencionadas 3 corridas:

1. Se ajustó el paso final del proceso para aplicar presión y obtener una altura constante.
3. Se encontró que los componentes empleados para los últimos ensambles presentan menor variabilidad en altura.

Debido a limitaciones de tiempo y materia prima, no fue posible correr más grupos para determinar si el comportamiento de la poca variabilidad se mantenía constante, durante las corridas de certificación en la planta Mabe Saltillo se corroboró este supuesto.

### 5.3.4 Análisis de los Contribuidores a la Variabilidad de la Respuesta

El análisis que se realizaba para determinar la contribución a la varianza de los componentes involucrados en el ensamble a la respuesta (o altura total del ensamble), consideraba las variables independientes, es decir, se asumía que no hay correlación entre ellas.

El análisis de contribución individual de los cinco componentes que integran el ensamble (Frente tambor, Aro, Fondo tambor, bracket y flecha) de 30 mediciones, se presenta en la Tabla 5.6 Este análisis se realiza para enfocar la variabilidad de los componentes involucrados en el ensamble y reducir la variación individual de los que resulten con mayor variabilidad.

A=0.10	0.01	0.50	0.05	0.01
0.17	0.02	-0.04	0.09	0.01
-0.09	0.03	-0.04	-0.06	-0.01
0.12	0.00	-0.01	0.09	0.01
0.13	-0.05	0.46	0.08	0.01
-0.11	-0.01	-0.01	0.15	0.03
-0.11	0.00	-0.11	-0.04	0.00
0.17	-0.01	-0.06	-0.08	0.00
-0.07	0.00	-0.05	-0.07	-0.01
0.12	-0.06	0.45	-0.06	0.00
-0.11	-0.01	-0.13	0.10	0.02
-0.02	-0.01	-0.09	-0.06	0.00
-0.04	-0.01	-0.06	0.02	0.01
-0.09	0.04	-0.15	0.09	-0.02
0.15	0.05	-0.08	-0.07	0.00
0.00	0.00	0.06	0.11	0.00
-0.12	-0.02	-0.01	-0.08	-0.01
0.19	0.01	-0.04	-0.05	0.00
-0.11	-0.01	-0.05	-0.09	-0.01
-0.10	0.00	-0.08	0.08	-0.02
-0.05	0.02	-0.03	-0.06	-0.01
-0.11	-0.01	-0.26	-0.08	0.00
-0.09	0.00	-0.10	-0.06	-0.02
-0.09	0.02	-0.12	-0.08	-0.01
-0.08	-0.02	-0.03	-0.03	0.00
0.10	0.02	-0.09	-0.06	0.00
-0.12	-0.01	-0.07	0.10	0.02
0.13	0.02	-0.13	-0.08	0.00
-0.03	-0.05	0.43	0.09	0.00
0.17	0.01	-0.08	0.03	0.00

Tabla 5.6. Matriz de Datos Contribuidores del Ensamble Tambor Centrados

La variabilidad estimada a través de la matriz  $B = A^T * A$ , se presenta en la diagonal de dicha matriz B.

B =

0.3763	0.0073	0.2013	-0.0075	0.0078
0.0073	0.0175	-0.0790	-0.0085	-0.0022
0.2013	-0.0790	1.0724	0.1189	0.0138
-0.0075	-0.0085	0.1189	0.1801	0.0140
0.0078	-0.0022	0.0138	0.0140	0.0040

Tomando como variabilidad total a la suma de estos elementos diagonales, en la Tabla 5.7, se presenta la variabilidad y su porcentaje de contribución para cada variable definida en el análisis:

Componente	Variabilidad	% Contribución
Frente Tambor	0.3763	22.98%
Aro	0.0175	1.07%
Fondo tambor	1.0724	64.74%
Bracket	0.1801	10.97%
Flecha	0.004	0.23%

Tabla 5.7. Variabilidad de los Componentes Tambor y Contribución a Partir de la Matriz B.

Dado que el 64.74% del total de variación de la respuesta corresponde al Fondo tambor, se ajustó y dio mantenimiento a la herramienta que troquela esta parte y se aseguro que quede dentro de los límites de especificación.

Este tipo de análisis es útil para enfocar la atención a un componente individual y reducir su contribución a la variación total.

Tomando la misma caracterización de los componentes del tambor, se ingresan en el módulo de "Cristal Ball" de Excel, para realizar combinaciones de la respuesta con diferentes valores de los componentes. Para cada contribuidor se ingresa la forma de la distribución (en este caso todos son normales), caracterizándola con la media y desviación [Manual Seis Sigma. Mabe, 2002]. Al final la respuesta se simula con combinaciones de valores de entrada, como resultado se obtiene la distribución de datos de salida mostrada en la Figura 5.10.

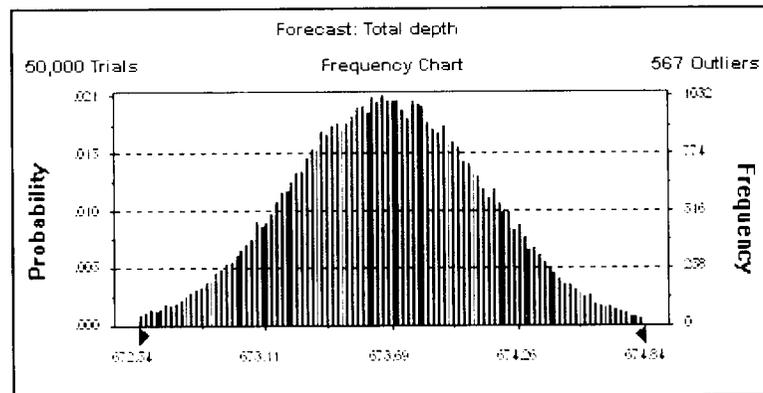


Figura 5.10. Distribución Obtenida por Simulación de Datos de Entrada.

Se observa que el valor de la altura total puede variar de 672.54 a 674.84 mm.

#### 5.4 Determinación de las Variables de Proceso que Afectan la Característica Principal de Calidad del Ensamble del Tambor

Para realizar el ensamble del tambor existen componentes individuales ,pero también variables del proceso de formado que pueden afectar la variable de respuesta, o altura total, que es la característica principal de calidad a controlar. Los niveles o rangos de estas variables no pueden ser ajustadas fácilmente ya que son características dimensionales de procesos previos de troquelado o bien parámetros del proceso predeterminados. El método de regresión lineal múltiple fue usado, en este caso, para analizar los datos para explorar la relación entre la variable de respuesta y las variables independientes.

En el análisis, se consideraron 7 variables (ver Figura 5.11): X1 Profundidad de doblez en el aro tambor parte frontal; X2 profundidad de doblez en el aro tambor parte posterior; X3 Ancho del aro tambor; X4 Altura del componente frente tambor; X5 Ancho de lámina con que se forma el aro tambor,;X6 Cuadratura de la lámina usada para el aro tambor; X7 Altura del componente respaldo tambor. Los datos de campo se presentan en la Tabla 5.8 y el análisis de varianza correspondiente se presenta en la Figura 5.12.

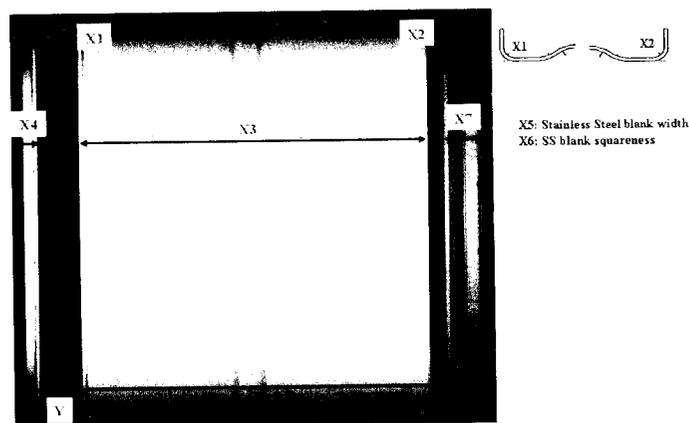


Figura 5.11. Variables del Proceso de Ensamble del Tambor.

Y	A	C	D	E	F	G	H
672 32	3 93	6 81	598 21	22 09	608 33	0 508	33 86
672 1	3 9	6 7	598 18	22 05	608 41	0 203	33 95
672 37	4 01	6 76	598 35	22 11	608 33	0 305	34 03
672 43	4 14	7 88	598 58	22 31	608 33	0 406	34 3
673 13	4 14	6 66	599 12	22 41	608 33	0	34 32
672 67	4 18	6 9	598 79	22 24	608 33	0 051	34 21
672 74	4 11	6 86	598 84	22 26	608 33	0 366	34 05
672 81	4 21	6 86	598 54	22 22	608 33	0 254	34 05
672 07	4 21	7 07	598 16	22	608 33	0	33 9
672 75	4 27	7 01	598 79	22 22	608 33	0 102	34 02
672 56	4 27	7 13	598 61	22 27	608 33	0 406	34 18
672 7	4 37	7 07	598 51	22 25	608 33	0 127	34
672 67	4 25	7 12	598 25	22 22	608 46	0 406	33 99
673 3	4 62	7 02	599 01	22 43	608 33	0 051	34 41
672 72	4 12	6 92	598 52	22 1	608 33	0 203	34 12
672 81	3 93	6 59	598 7	21 83	608 41	0 152	34 11
672 7	3 9	6 81	598 61	22 08	608 41	0 076	34 04
672 47	3 9	6 7	598 61	22 3	608 33	0	34 21
672 64	4 24	6 88	598 74	22 01	608 33	0 152	34 01
672 84	3 93	6 72	598 82	22 29	608 33	0 203	34 2
673 1	4	6 73	598 98	22 37	608 33	0 102	34 36

Tabla 5.8. Datos para Análisis de Regresión

Se realiza el análisis de regresión lineal múltiple empleando Minitab.

```

The regression equation is
Y = -1027 +0.601A -0.349B +0.788C +0.147D +1.99E +0.344F +0.347G

Predictor    Coef    SE Coef    T    P    VIF
Constant    -1027.2    596.5    -1.72    0.109
A            0.6014    0.2130    2.82    0.014    1.7
B           -0.3489    0.1602    -2.18    0.048    2.1
C            0.7882    0.2100    3.75    0.002    3.7
D            0.1466    0.3143    0.47    0.649    2.5
E            1.9937    0.9171    2.17    0.049    1.3
F            0.3440    0.2446    1.41    0.183    1.5
G            0.3475    0.4045    0.86    0.406    4.2
S = 0.134495    R-Sq = 87.5%    R-Sq(adj) = 80.8%

Analysis of Variance
Source      DF      SS      MS      F      P
Regression    7    1.64857    0.23551    13.02    0.000
Residual Error 13    0.23515    0.01809
Total        20    1.88372

Source  DF    Seq SS
A       1    0.26763
B       1    0.30252
C       1    0.92248
D       1    0.01038
E       1    0.10468
F       1    0.02753
G       1    0.01335

```

Tabla 5.9 Resultados de la regresión empleando Minitab

El modelo ajustado no presenta problemas de colinealidad ya que los valores de inflación de la varianza (VIF) son menores a 10 [Mongomery, 2002], el problema de colinealidad radica en un problema de regresión donde existe una dependencia lineal entre las variables independientes. La significancia del modelo (valor p menor a 0.05) tiene además un ajuste adecuado R-Adj y una baja desviación estándar S. Con esto se concluyó que las variables de proceso consideradas ajustan al modelo propuesto, y que deben ser controladas para asegurar la consistencia en las variables de respuesta, en este caso se relacionaron contra el crítico de calidad del ensamble.

### **5.5. Definición del Gráfico de Control para Monitoreo de las Variables Respuesta del Ensamble Tambor**

El ensamble tambor, además de contar con un crítico de calidad como variable de respuesta del proceso, cuenta con variables adicionales que es necesario monitorear con el propósito de garantizar que el comportamiento dimensional sea el adecuado, variables definidas en conjunto por las áreas de ingeniería, producción y calidad. Se decide emplear una gráfica de eigenvalores, para representar la variabilidad de las variables del proceso en conjunto; cuando los eigenvalores son calculados, a partir de la matriz de varianzas y covarianzas, estos son empleados para representar un sistema alterno de las variables originales, pero explicando la variabilidad del sistema completo, a fin de tener todas las variables relacionadas.

Para realizar el gráfico de control, el primer paso es contar con una base histórica de datos que ha sido medida, de las variables en cuestión, por un periodo de tiempo de 4 meses, las mediciones surgen de productos dentro de especificaciones, ya que el proceso de manufactura cuenta con un filtro para detectar partes fuera de especificación, tal filtro sólo funciona para identificar unidades, dentro o fuera de especificación, no importando la variabilidad entre piezas o si se encuentran en los límites de especificación.

### **5.6 Implementación y Monitoreo de los Procesos**

La variables de respuesta crítica o CTQ del ensamble manufacturado internamente para la secadora, es la altura total del tambor, además de esta característica, el diámetro es también de interés, por lo que se establece que esta variable aún sin ser un CTQ, debe ser monitoreada en los ensambles de producción, por lo que tenemos dos variables a monitorear: Altura total y diámetro.

El procedimiento para el monitoreo y control de estas variables, se realizó determinando los límites de control del gráfico de eigenvalores, a través del uso de subgrupos de tamaño cinco, como sigue. Se tienen grupos de 5 datos, medidos cada semana por un periodo de 5 meses, lo que arroja un total 100 datos provenientes en 20 subgrupos de cada una de las variables de respuesta a monitorear. De cada uno de esos 20 subgrupos, (con productos dentro de especificación), se sacan los eigenvalores de ambas variables. Los eigenvalores estimados para el análisis se presentan en la Tabla 5.10.

Calculo grupo	$\lambda_1$	$\lambda_2$
Semana 1	0.6662	0.0038
Semana 2	1.0766	0.0014
Semana 3	0.1522	0.0038
Semana 4	0.6734	0.0076
Semana 5	0.706	0.003
Semana 6	0.0907	0.0043
Semana 7	0.1546	0.0054
Semana 8	0.0902	0.0048
Semana 9	0.1994	0.0126
Semana 10	0.081	0.005
Semana 11	0.1482	0.0088
Semana 12	0.1285	0.0045
Semana 13	0.153	0.005
Semana 14	0.2907	0.0043
Semana 15	0.09	0.004
Semana 16	0.342	0.003
Semana 17	0.2996	0.0214
Semana 18	0.305	0.009
Semana 19	0.0766	0.0114
Semana 20	0.0498	0.0042

Tabla 5.10 Eigenvalores de los Grupos de Datos por Semana

Se realiza un gráfico de medias para los eigenvalores correspondientes de las de variables del sistema, que servirá como la base histórica de datos para establecer los límites de control de los gráficos de las Figuras 5.12 y 5.13.

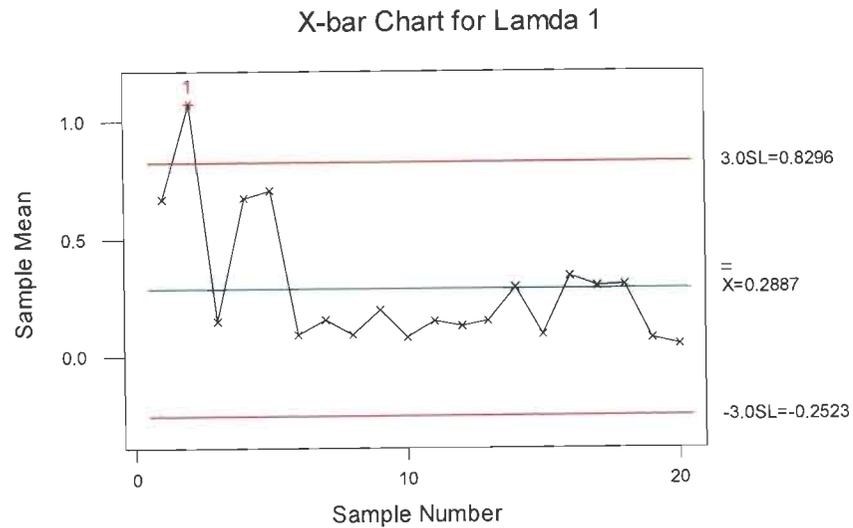


Figura 5.12 Gráfico de Eigenvalores para  $\lambda_1$

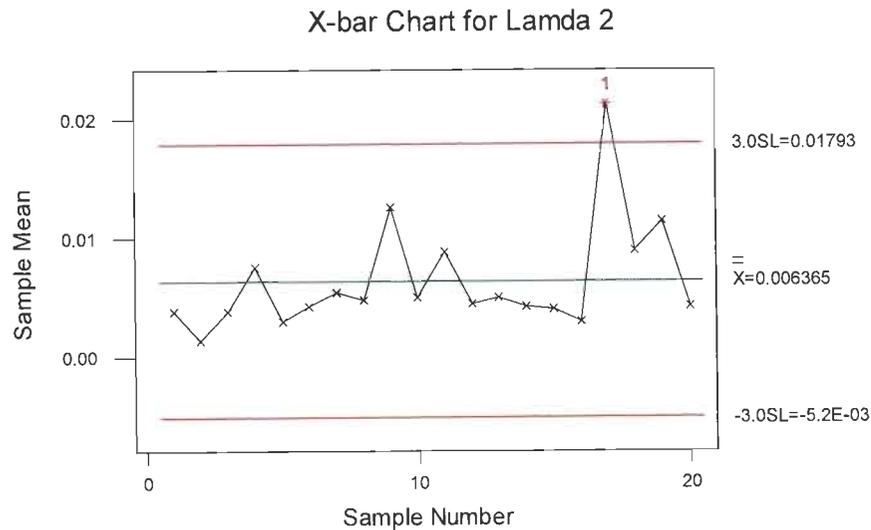


Figura 5.13 Gráfico de Eigenvalores para  $\lambda_2$

A pesar de que las variables críticas del ensamble tambor: Altura y Diámetro no se detectaron fuera de especificaciones durante el periodo comprendido en las 20 semanas, el gráfico de eigenvalores es más sensible a la variabilidad del sistema y las relaciones entre estas dos variables (Varianzas-Covarianzas) para las dos ocasiones, donde se detectaron puntos fuera de los límites de control en ambos eigenvalores, se procedió a monitorear todos los componentes del ensamble incluyendo la lámina utilizada y cada paso del proceso de formado y se validó que ninguno de los proceso de ensamble estuviera fuera de especificación.

Es importante mencionar que la escala de los valores del gráfico, como en todos los casos de análisis multivariado, no está relacionado a la escala de ninguna de las variables monitoreadas [Firat, Oktay, 2001].

## 5.7 Medición del Desempeño Interno de Ensamble y de Llamadas de Servicio de Garantía del Producto

Al inicio del proyecto se plantearon tres indicadores para medir el desempeño del proceso de ensamble de secadoras, en Mabe Saltillo, los cuales sirvieron de base para la experimentación e implementación de los análisis detallados en este documento.

El primero es el desempeño de la línea de ensamble, este es medido por la cantidad de retrabajos o reparaciones de secadoras que pasan por el área de pruebas funcionales de producto, el cual fue de máximo 7%, al arranque de producción y de máximo 3% después del primer semestre de producción. Ver Figura 5.14.

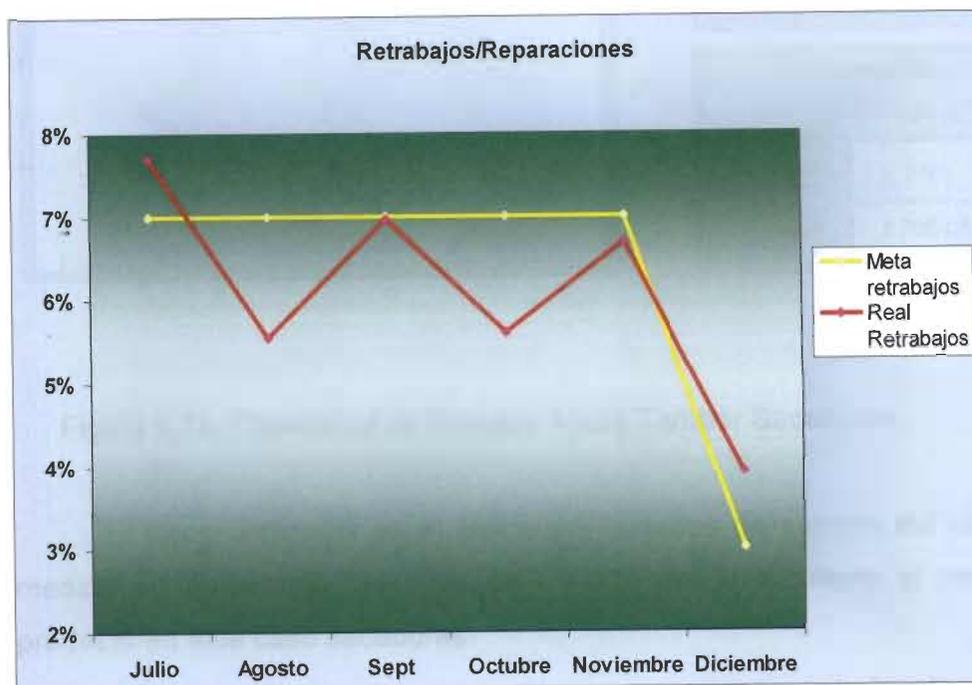


Figura 5.14 Porcentaje de Retrabajos de Secadoras.

El segundo indicador es la capacidad de proceso o probabilidad de partes defectuosas en la altura del ensamble del tambor una vez que el proceso fue liberado y certificado. El objetivo fue un nivel de Z de 6 ó 3.4 ppm. Los resultados de la Figura 5.15 muestran la capacidad de proceso de mediciones tomadas durante un periodo de 6 meses. Cabe mencionar que el análisis es sólo sobre la altura total, crítico de calidad especificado en el plano del ensamble.

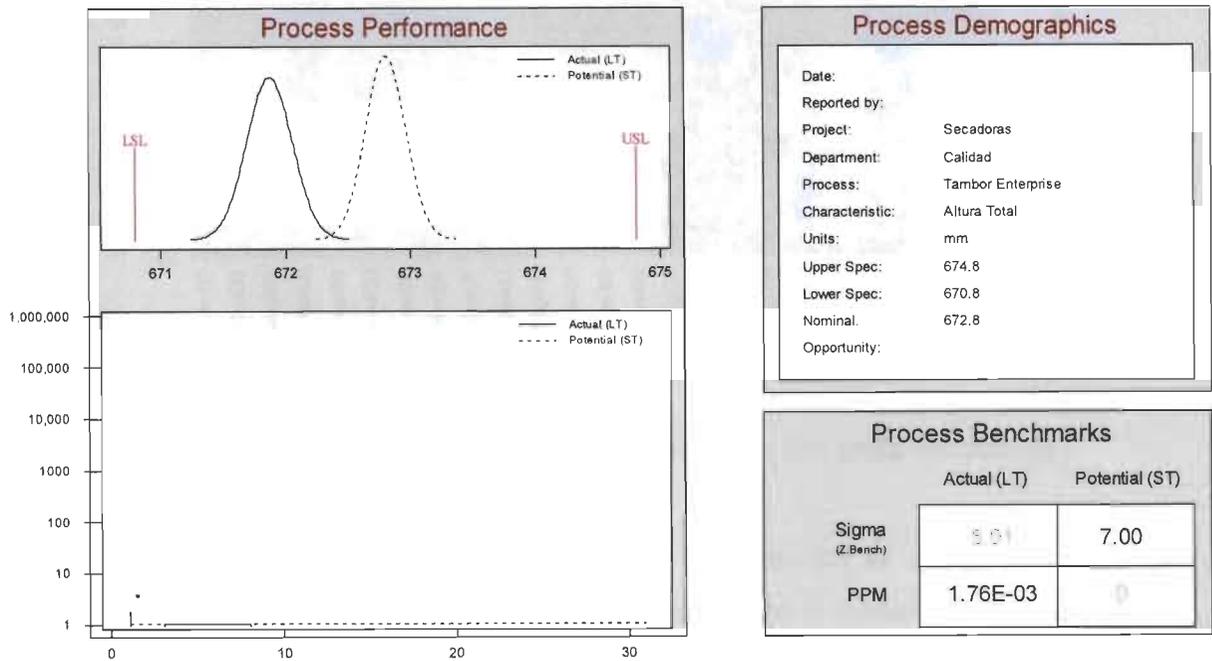


Figura 5.15 Capacidad de Proceso Altura Tambor Secadoras.

El tercer indicador es el índice de llamadas de servicio del cliente final, medido en porcentaje, después de un año del lanzamiento al mercado del producto en este caso secadoras.

Se muestra el gráfico con información a mayo 2009 el objetivo fue de 8.3% teniendo un porcentaje a la fecha de 4.65% El comportamiento es la línea roja en la Figura 5.16.

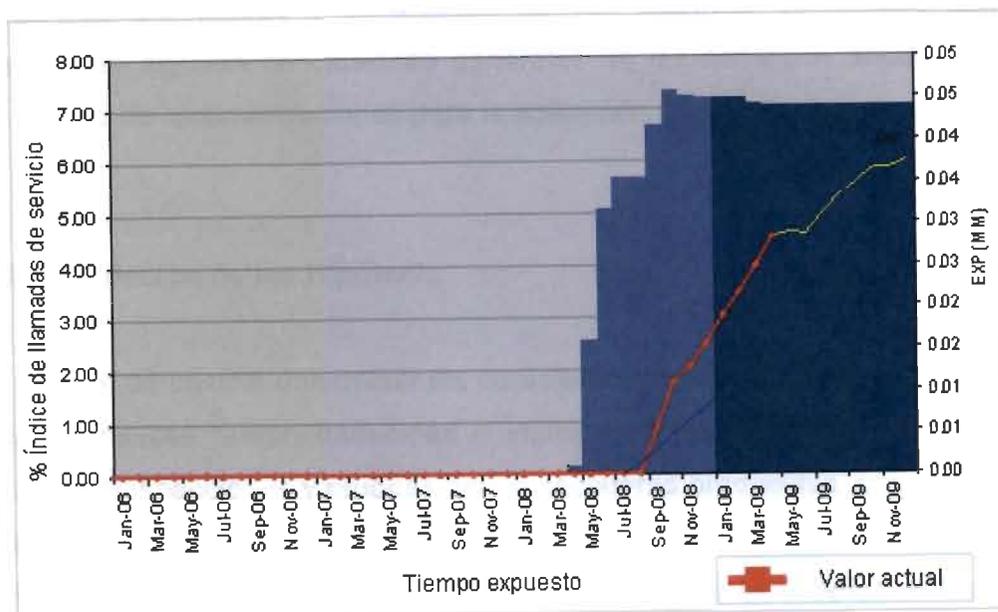


Figura 5.16 Índice de Llamadas de Servicio por Garantía Secadoras.

La línea roja en la Figura 5.16, describe el comportamiento del índice de las llamadas de servicio, después de 6 meses de exposición del producto con los clientes y usuarios finales, la traza amarilla es la proyección que el departamento de calidad realiza para predecir el comportamiento futuro.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Este capítulo está estructurado para presentar la validación de las hipótesis planteadas y el alcance de los objetivos planteados, así como presentar algunas conclusiones generales de los hallazgos encontrados y un conjunto de recomendaciones para la aplicación de la metodología propuesta.

### **6.1 Validación de las Hipótesis**

Si es posible determinar las características críticas de los procesos, estas características fueron traducidas e implementadas en forma de controles de calidad, inspecciones y pruebas de las secadoras producidas, garantizándose la seguridad, funcionalidad y desempeño del producto, comenzando desde las etapas de planeación de los proyectos para asegurar el cumplimiento en tiempo y calidad antes de la producción en serie del producto.

Las variables críticas de los procesos pueden ser analizadas considerando su interacción con otras variables y se implementó un método de monitoreo y control bajo la premisa de dependientes o correlación.

### **6.2 Alcance de los Objetivos Planteados**

Los objetivos planteados al inicio de la investigación, enfocados a resultados de indicadores de calidad de la planta Mabe Saltillo, como fueron la implementación de un sistema de inspección y pruebas para garantizar el funcionamiento, seguridad y funcionalidad de las secadoras de ropa manufacturadas, así como el cumplimiento del porcentaje de retrabajo planteado

y eficientar la capacidad de proceso de la manufactura del tambor de secadora para disminuir la probabilidad de defectos a menos de 3.4 ppm, y de igual forma reducir el índice de llamadas de servicio por garantía por debajo del 8.3%. Al concluir este proyecto podemos afirmar que todos estos objetivos fueron cumplidos y validados por las áreas de calidad y producción de la planta.

### **6.3 Conclusiones**

El presente trabajo demostró que al realizar un análisis detallado en las etapas tempranas de proyectos de introducción de nuevos productos siguiendo los pasos de la metodología propuesta, basado en análisis de productos y procesos similares, en conjunto con el replanteamiento del análisis de los procesos de manufactura a implementar sirviéndose de herramientas de análisis estadístico, pueden dar como resultado un arranque de producción que cumpla con los objetivos definidos al inicio del mismo.

La respuesta de muchos de los procesos de manufactura no se describe mediante una sola variable ya que el efecto multivariante afecta directamente su respuesta y es necesario implementar análisis de este último tipo para poder describir y controlar los procesos bajo análisis.

Los procesos de inspección y pruebas dentro de una línea de ensamble de electrodomésticos, debe garantizar que cualquier falla, por mínima que sea, pueda ser filtrada por los puntos de inspección a lo largo del ensamble o bien en las pruebas que se realizan para la validación de cada producto.

Al realizar el análisis estadístico para entender la variación de los procesos es necesario identificar, claramente, todas las variables involucradas y

asociarlas con las respuestas y críticos de calidad establecidos para asegurar que el fenómeno sea correctamente descrito, así como garantizar que los controles que se implementen, realmente están monitoreando las variables y sus interrelaciones, que dan como resultado un ensamble consistente de más de una parte, o bien de varios pasos de un proceso de manufactura.

#### **6.4 Recomendaciones**

Uno de los factores más importantes para cumplir los objetivos planteados en un nuevo proyecto, es la adecuada planeación, durante las primeras etapas, del mismo y el análisis de todos los procesos y variables que puedan afectar las respuestas de los procesos. Un nuevo proceso de manufactura implica variables que deben ser tomadas en cuenta, parte fundamental para la exitosa planeación es el analizar los procesos ya existentes, sus fuentes de defectos y la determinación de las causas que los ocasionan, para de esta manera diseñar y desarrollar con las mejoras potenciales detectadas durante tal análisis.

Dentro de la mayoría de los procesos de manufactura industriales, existen múltiples variables a controlar y se recomienda discernir si se trata de un proceso donde la respuesta atiende a sólo una variable, a varias de manera independiente, o bien a un grupo de variables correlacionadas.

Existen, hoy día, una significativa variedad de métodos de control estadístico para múltiples variables, algunos muestran ventajas y desventajas dependiendo del número de variables y algunos supuestos sobre el comportamiento distribucional de las mismas. Se sugiere emplear varios métodos y adecuar el de mayor afinidad al proceso bajo análisis.

Cuando se plantee el desarrollo de una línea de ensamble nueva es muy importante analizar qué factores y operaciones se deben agregar para inspeccionar y validar los productos manufacturados, ya que los filtros de calidad internos deben garantizar la integridad, seguridad y funcionalidad del producto para evitar fallas y costos de garantía.

Es muy importante que las empresas de manufactura y, en general, todas las empresas apoyen a los estudiantes de postgrado permitiendo y apoyando la capacitación y aprendizaje continuo, y a la vez la apertura para la experimentación, análisis y el permitir la implementación de proyectos y acciones derivadas de las investigaciones realizadas, ya que el objetivo conjunto es el desarrollo de los profesionistas, pero también la validación de las hipótesis planteadas que acarrearán mejoras significativas a los procesos productivos.

## 7. REFERENCIAS

Ashweni Sahni (2002). Quality Improvement. Diagnostics Industry, pp 1-20.  
Disponible en: [www.devicelink.com/mddi/archive](http://www.devicelink.com/mddi/archive) (consultado el 07.12.06)

Bayazit, Ozden, Birsen, Karpak (2007). An analytical Network process-based framework for successful total quality management (TQM). International Journal of Production Economics, pp 79-96.

Hick, Mike (1998). Quality Management. EAGLE, pp 1-14. Disponible en:  
[www.eagle.ca/mikehick](http://www.eagle.ca/mikehick) (consultado el 04.12.06)

Johnson, D. (2000). *Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos*, Thomson. México ISBN: 968-7529-90-3.

Johnson, Mason & Young, John (2002). Multivariate Statistical Process Control with Industrial Applications. Asa Siam. USA

Keller, Gerald & Warrack, Brian (2003) Statistics for Management & Economics. 6<sup>th</sup> edition. Thompson. USA

Kemp, Sid (2006) Quality Management. Mc Graw Hill. USA

Keller, Paul (2005) Six Sigma. Mc Graw Hill. USA

Lieberman, Hillier (2002). Investigación de Operaciones. Mc Graw Hill

Manual Diseño para Seis Sigma. Mabe-GE. Version 2.0 Diciembre 2002

Manual Seis Sigma. Rev 8-1. Mabe 1999

Montgomery, Douglas (2005) Diseño y análisis de experimentos. Segunda edición. Limusa Wiley. México

Montgomery, Peck, Vining (2002) Introducción al Análisis de Regresión Lineal. Tercera edición. Cecsá México

NPI Manual. General Electric 2002

Oktaý, U., Cilan, C., (2001). Multivariate Statistical Process Control Methods and New Approaches. 6th TQM World Congress.

Rencher, Alvin (2002) Methods of Multivariate Analysis. Wiley Interscience

Smith, Lindsay (2002). A Tutorial on Principal Components Análisis

Statistical Process Control AIAG Statistical process control (SPC) (2005). Manual reference. Second edition Daimler Chrysler corporation, Ford Motor company and General Motors corporation.

Tennant, C. Roberts, P. (2001). A faster way to create better quality products. International Journal of project Management, pp 353-262.

## **ANEXO A.**

### **MANUAL DE OPERACIÓN.**

Documentación de calidad donde se incluye la forma de muestreo, medición y control para el proceso de ensamble del tambor de la secadora.

	FORMATO: F1110061 (REV 03 JUN 00)
	PÁGINAS: 1 DE 1
	REVISIÓN: 1

## MONITOREO Y CONTROL DEL PROCESO DE ENSAMBLE DE TAMBOR PARA SECADORAS INTRODUCCIÓN

El presente instructivo se desarrolló como guía para los ingenieros de calidad de la línea de ensamble de secadoras, a fin de garantizar que el proceso de ensamble de tambor para secadoras se mantenga monitoreado de manera constante, las instrucciones incluyen la manera de medición, cálculo, monitoreo (Gráfico) y plan de reacción cuando alguna variable se encuentre fuera de control.

Mediante el monitoreo de las variables descritas en el presente documento se asegura que el proceso está bajo control, (siempre y cuando los gráficos de control establecidos para las dos variables de respuesta críticas se encuentren dentro de los límites de control). Las variables y sus correlaciones se consideran a través del cálculo de los eigenvalores de la matriz de varianzas y covarianzas estimada.

El presente instructivo aplica para el ensamble del tambor de las secadoras de ropa plataforma Enterprise, el análisis e instructivo puede ser ampliado al resto de los números de parte de ensamble del tambor manufacturados en la planta Saltillo.

ELABORÓ  
INGENIERO DE CALIDAD

REVISÓ  
INGENIERO DE CALIDAD

REVISÓ  
INGENIERO DE CALIDAD SEC.

REVISÓ  
INGENIERO DE PRODUCTO



## MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN, MEDICIÓN, ANÁLISIS Y MONITOREO DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA.

1. Las variables críticas de respuesta para el ensamble del tambor a controlar por diseño son, la altura total ( $X_1$ ) y el diámetro ( $X_2$ ), las cuales están asociadas a parámetros de desempeño del producto así como para evitar claros o interferencias del ensamble dentro de la secadora.

Ambas variables están descritas en el plano del ensamble en la Figura 1. La altura total corresponde a "Dim B" con un valor nominal de 672.80 mm. Diámetro tiene un valor nominal de 663.00 mm

ELABORADO: [Signature]  
REVISADO: [Signature]  
APROBADO: [Signature]  
INGENIERIA DE CALIDAD MANUFACTURA DE PRODUCTOS DE ALTA CALIDAD

# PLAN DE CONTROL DE PRODUCTO Y PROCESO

INGENIERIA DE  
CALIDAD

1	ELABORADO
2	REVISADO
3	APROBADO
4	VALIDADO



**Figura 1.** Plano del Ensamble Tambor Enterprise 212D1461P001

2. Validar el método de medición para las variables y obtener mediciones.

Los métodos de medición para estas dos variables se validan por medio de un "Gage R&R" documentado en el proyecto de la planta Saltillo ILASS028.

ELABORADO  
INGENIERIA DE CALIDAD

REVISADO  
MANUFACTURA

APROBADO  
GERENTE GENERAL

VALIDADO  
INGENIERIA DE PRODUCTO

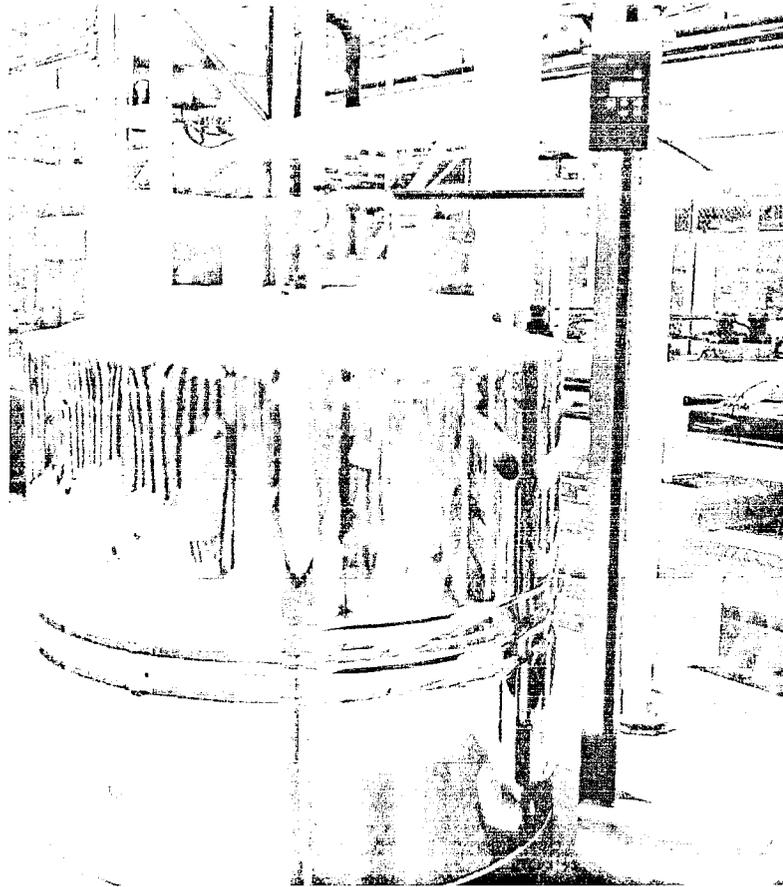
FORMATO: ITH0904 (REV. 00) 2006  
PAGINA: 1 DE 1  
ELABORADO

# PLAN DE CONTROL DE PRODUCTO Y PROCESO

INGENIERIA DE  
CALIDAD

5	INGENIERIA DE CALIDAD
7	INGENIERIA DE CALIDAD
8	INGENIERIA DE CALIDAD
9	INGENIERIA DE CALIDAD
10	INGENIERIA DE CALIDAD

Para la medición de la variable X<sub>1</sub> Altura total del Tambor, se realiza mediante el calibrador de alturas MTT0915 sobre la mesa de mármol del área



de ensamble del tambor, y se mide hasta la base de la flecha en el fondo del tambor.

**Figura 2.** Medición de altura total tambor con calibrador MTT0915 de alturas sobre mesa de mármol.

ELABORADO

REVISADO

APROBADO

ELABORADO

INGENIERIA DE CALIDAD

INGENIERIA DE CALIDAD

INGENIERIA DE CALIDAD

INGENIERIA DE CALIDAD

FORMATO CONTROL PLAN V.3 JUNIO 09  
PS-004-01-01  
PÁGINA 1





## PROCESO DE MEDICIÓN, ANÁLISIS Y MONITOREO DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA

Los registros de las dimensiones de la altura y diámetro del tambor se registran diario, colocando los valores en las celdas indicadas en el formato eigen.xls, una vez registrados los valores del subgrupo correspondiente, de manera automática se realiza el cálculo de las dos variables a graficar en una carta de control mostrándolos en las celdas sombreadas en color verde, posteriormente registrar los valores de variable 1 y variable 2 en el sistema de control estadístico electrónico de proceso de la planta "FISCEP" de esta manera se genera un gráfico de control de medias y rangos a fin de monitorear el subsistema del tambor.

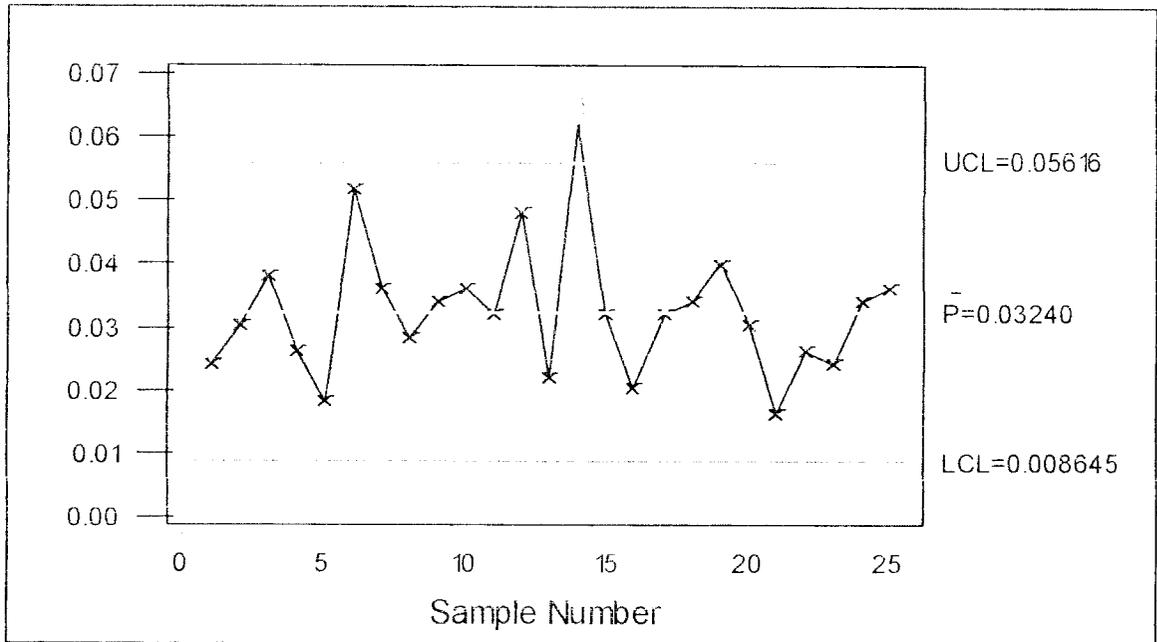
Cuando un punto de las cartas de control caiga fuera de los límites de especificación (Ver figura 4) seguir el procedimiento de acciones correctivas del sistema de calidad de la planta, las variables que influyen para las dos respuestas Altura y Diámetro son: Ancho de la hoja de lámina, cuadratura de la hoja de lámina, dimensión de los dobleces superior e inferior para el engargolado de frente y aro, altura del componente del frente del tambor, altura del componente del fondo del tambor, altura del bracket y flecha.

Durante la operación, se deberá verificar que las variables mencionadas se encuentren dentro de especificación, así como liberar nuevamente paso a paso del proceso de formado del tambor, en la maquinaria de ensamble.

# PLAN DE CONTROL DE PRODUCTO Y PROCESO

INGENIERIA DE  
CALIDAD

NO.	PROYECTO
NO.	FECHA
NO.	DEPARTAMENTO
NO.	PROCESO



**Figura 4.** Ejemplo de punto en el gráfico fuera de los límites de control.

ELABORADO: *[Signature]* REVISADO: *[Signature]*  
 INGENIERO DE CALIDAD MANUFACTURA INGENIERO DE CALIDAD SUC INGENIERO DE PRODUCTO