

50521  
12

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO



---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
"ZARAGOZA"

**CONTROL ESTADISTICO PARA UN  
PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA  
DENTAL**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO QUIMICO**

**P R E S E N T A :**

**ERIKA FABIOLA / CORTES RUBIO**

DIRECTOR: M. en C. TERESA GUERRA DAVILA

**EJEMPLAR UNICO**

MEXICO, D. F.

2003

A



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA  
DE INGENIERIA QUIMICA**

**OFICIO: FESZ/JCIQ/048/03**

**ASUNTO:** Asignación de Jurado

**ALUMNA: CORTES RUBIO ERIKA FABIOLA**  
**P r e s e n t e .**

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

<b>Presidente:</b>	<b>Fis. Mat. Javier Ramos Salamanca</b>
<b>Vocal:</b>	<b>M. en C. Teresa Guerra Dávila</b>
<b>Secretario:</b>	<b>I.Q. Magín Enrique Juárez Villar</b>
<b>Suplente:</b>	<b>I.Q. Narciso Campero Garnica</b>
<b>Suplente:</b>	<b>I.Q.I. Alejandro Rubio Martínez</b>

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**  
**“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”**  
México, D. F., 22 de Abril de 2003

**EL JEFE DE LA CARRERA**

INCLUIR  
SECRETARÍA

**M. en C. ANDRÉS AQUINO CANCHOLA**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

B

## **DEDICATORIAS**

**A Dios, por haberme dado todo lo bueno de esta vida**

**A mis padres, por haberme dado la oportunidad de ser su hija**

**A mis hermanos, por brindarme su apoyo en todo momento**

**A mis amigos, por estar conmigo cuando los necesito**

**A mis profesores, por compartir sus conocimientos conmigo**

**A mi escuela, por la preparación recibida**

**A todos esos seres que me quieren y me apoyan**

**Con todo mi amor...**

**Erika Fabiola Cortés Rubio**

## CONTENIDO

TEMA	PÁGINA
Resumen	1
Introducción	3
<b>1. CALIDAD</b>	
1.1 Introducción	4
1.2 Breve historia de la calidad	4
1.3 Conceptos	7
1.3.1 Costos de la calidad	8
1.3.2 Métodos de aseguramiento de la calidad	11
1.3.3 Responsabilidad de la calidad	15
<b>2. PROCESO</b>	
2.1 Historia de la empresa objeto de estudio	17
2.2 Descripción del proceso de manufactura de crema dental	18
2.2.1 Definiciones	18
2.2.2 Especificaciones	19
2.2.3 Normas mexicanas para la determinación de las características físicas y químicas de las cremas dentales	19
2.2.4 Componentes principales de una crema dental	19
2.2.5 Etapas del proceso de producción de crema dental	22
2.3 Determinación de las variables críticas de proceso en la manufactura de crema dental	25
<b>3. CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS</b>	
3.1 Introducción	26

D

<b>3.2 Historia</b>	<b>26</b>
<b>3.3 Precursores del Control Estadístico de Procesos</b>	<b>28</b>
<b>3.4 Conceptos Básicos del Control Estadístico de Procesos</b>	<b>36</b>
<b>3.5 Las herramientas básicas del Control Estadístico de Procesos</b>	<b>38</b>
3.5.1 Hoja de registro	39
3.5.2 Histograma	41
3.5.3 Gráfica de control	50
3.5.4 Estratificación	67
3.5.5 Diagrama de Pareto	69
3.5.6 Diagrama de Ishikawa	74
3.5.7 Diagrama de dispersión	76
3.5.7.1 Relaciones entre variables	79
<b>3.6 La distribución normal</b>	<b>86</b>
3.6.1 Pruebas de bondad de ajuste	87
<b>4. HABILIDAD Y DESEMPEÑO DEL PROCESO</b>	
4.1 Habilidad del Proceso	92
4.2 Desempeño del Proceso	95
4.3 Cálculo de los valores de Cp y Cpk para el proceso de manufactura de crema dental.	98
<b>5. EJEMPLOS DE APLICACIÓN</b>	<b>101</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>115</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>116</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>154</b>

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

### **RESUMEN**

El objetivo de este trabajo es resaltar la importancia del uso de la estadística para el control de procesos y demostrar como ésta nos ayuda a asegurar la calidad, tanto de las materias primas utilizadas en la manufactura, como de los productos manufacturados.

Hoy en día la calidad se está convirtiendo en el factor base que influye en la decisión de los consumidores para adquirir productos o servicios, por consiguiente, la calidad es un factor clave que lleva al éxito en los negocios, al crecimiento y a una mejor posición competitiva.

Un aspecto importante que tienen que tomar en cuenta las empresas manufactureras son los costos de la calidad, los cuales se dividen en cuatro categorías: costos de fallas internas, los cuales están asociados con defectos que se encuentran antes de transferir el producto al cliente; costos de fallas externas, los cuales son costos asociados con defectos que se encuentran después de mandar el producto al cliente; costos de evaluación, que son aquéllos en los que se incurre al determinar el grado de conformidad del producto con los requerimientos de calidad y, los costos preventivos, que son aquéllos en los que se incurre al mantener los costos de falla y de apreciación al mínimo. Con este trabajo es posible darse cuenta de que, con un adecuado *control estadístico de procesos*, estos costos pueden ser disminuidos significativamente y de esta manera obtener un aumento en las utilidades de la empresa.

Para asegurar la calidad de sus productos, las empresas deben contar con un adecuado *control de calidad*, que es la actividad técnica y administrativa mediante la cual se miden las características de calidad de un producto, se comparan con especificaciones o requisitos y se toman acciones correctivas apropiadas cuando existe una discrepancia entre el funcionamiento real y el estándar.

Los métodos estadísticos desempeñan un cometido vital en el aseguramiento de calidad, constituyen los medios principales para muestrear, probar y evaluar un producto, usando la información contenida en esos datos a fin de controlar y mejorar el proceso de fabricación.

Los métodos de *control estadístico de procesos* tienen mucha importancia en el mejoramiento de la calidad porque representa la manera más segura y menos costosa de alcanzar los objetivos deseados en una compañía (aumento de la producción, aumento de las utilidades y disminución de lotes rechazados).

Las siete herramientas del *control estadístico* que se describen en este trabajo se dividen en: herramientas para medir y conocer procesos (hoja de registro, histograma y gráfica de control) y, herramientas para análisis y solución de problemas (estratificación, diagrama de Pareto, diagrama de Ishikawa y diagrama de dispersión).

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

Finalmente se estudiarán otros dos conceptos estadísticos importantes que nos ayudan a tener un adecuado *control estadístico de procesos*, estos son: el *habilidad del proceso* y el *desempeño del proceso*, con los cuales es posible conocer el comportamiento de un proceso a corto y a largo plazo respectivamente y determinar así, si un proceso es capaz de cumplir con las especificaciones requeridas.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

### **INTRODUCCIÓN**

Hoy en día, el control estadístico de procesos no es una práctica que se realice en la mayoría de las empresas mexicanas para garantizar la calidad en los productos. Tal vez alguien pudiera preguntarse ¿por qué es necesario que un proceso se controle por medio de la estadística?; esto se responde claramente por medio de una frase del estadístico Edward Deming: "Cuando un proceso tiene elementos dinámicos y por lo tanto variaciones en sus variables, el medio de análisis forzoso a usar es la estadística".

En la empresa que sirve como ejemplo para este trabajo, ésta es una práctica relativamente nueva, sin embargo, los beneficios obtenidos han sido significativos para la misma. Para la implementación de este control estadístico, hubo que enfrentarse a diferentes retos, ya que antes que nada había que saber ¿cómo se tenía que implementar dicho control?, ¿cuánto dinero iba a costar? y ¿quiénes serían las personas responsables de dicha implementación?.

Conforme se fue implementando dicho control estadístico, se hizo evidente que es necesaria la participación de todos los integrantes de la empresa si es que se pretende implementar un adecuado control estadístico de procesos. Además de esto, es necesario que todos los miembros tengan una actitud positiva y que estén convencidos de que una mejora en la calidad traerá beneficios para todos.

Otro aspecto de suma importancia es la capacitación del personal. No sirve de nada que el personal tenga una actitud positiva si no entiende nada de lo que se está haciendo ni tiene claro que se va a lograr con la implementación de un *Control Estadístico de Procesos*.

Por todo lo anterior, se puede observar que hay diversos factores que pueden hacer que los empresarios mexicanos se sientan temerosos e indecisos ante la necesidad de implementar un control estadístico de procesos en sus industrias. El propósito del presente trabajo es demostrar con ejemplos claros, los beneficios que se pueden obtener cuando se implementa un eficiente control estadístico tomando como ejemplo el proceso de manufactura de un dentífrico.

Para cumplir dicho propósito se realizarán las siguientes actividades:

- Descripción de las herramientas estadísticas útiles para la identificación y resolución de problemas de calidad de producto.
- Aplicación de las herramientas en situaciones reales.
- Cálculo de la habilidad del proceso para determinar su capacidad para cumplir con las especificaciones.

CALIDAD

3-A

# **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

## **1. CALIDAD**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

Muchos aspectos de nuestra vida diaria dependen de productos industriales como vivienda, alimentación, comunicaciones, asistencia sanitaria, trabajo, recreaciones y seguridad nacional. Un aspecto básico de los productos de este tipo, es que deben ser aptos para el uso al que están destinados. Un fallo en este sentido puede provocar muertes, heridas, incomodidades o pérdidas económicas.

Un producto puede ser más o menos apto para su uso, esto para el usuario es una cuestión de calidad. Así, la calidad de un producto se puede definir como la *aptitud para su uso*.

La calidad se está convirtiendo en el factor básico de la decisión del consumidor para muchos productos y servicios. Los consumidores sienten que los productos de ciertas compañías tienen calidad sustancialmente mayor que los de sus competidores, y toman sus decisiones de compra teniendo esto presente. Este es un fenómeno general, no importa si el consumidor es una persona, una empresa o industria, un programa de defensa militar, o bien una tienda de comercio al menudeo. Por consiguiente, la calidad es un factor clave que lleva al éxito en los negocios, al crecimiento, y a una mejor posición competitiva. Pero, ¿Cómo nació la calidad? y ¿Qué actividades se pueden realizar para garantizar una buena calidad en los productos?. Para contestar estas preguntas, es necesario conocer un poco de la historia del nacimiento de la calidad, qué cambios ha experimentado ésta a través del tiempo y como la estadística ha llegado a ser de suma importancia para incrementar la calidad en los productos.

### **1.2 BREVE HISTORIA DE LA CALIDAD**

La calidad está directamente relacionada con el hombre desde los principios de la humanidad, calidad de utensilios y calidad de actividades. Desde que el hombre es hombre, tuvo la oportunidad de comparar objetos y decidir cuál era mejor.

Existe un ejemplo muy tangible sobre el interés del hombre en la calidad: los tapetes persas. ¡La calidad del producto rompió las barreras del tiempo y del espacio, milenios después tienen intacta su fama de ser productos de calidad! Hasta y durante la Edad Media la calidad tuvo prioridad como argumento para comprar y vender un producto. El trabajo era 100% artesanal y esto tiene dos efectos en consecuente beneficio de la calidad:

- Un artesano siente orgullo de su producto porque se identifica con él, siente que la pieza es una parte de su persona, pues tiene expresado su sello personal y su carácter, este fenómeno todavía se presenta cuando se compran artesanías, o cuando una cenaduría se nombra "El pozole de Doña

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

Lencha", pues existe orgullo e identificación con el producto que hace que el artesano tenga un compromiso personal de hacer bien el trabajo.

- Por otro lado, en la Edad Media el productor conocía la mayoría de las veces al último usuario de su producto, un zapatero artesano (que elaboraba un par de zapatos en dos días) los vendía a vecinos en el mismo pueblo, y ocasionalmente a vecinos de otros pueblos o comarcas, de tal manera que productor y consumidor se conocían, si los zapatos tenían algún defecto, el consumidor iba directamente al zapatero y le hacía una reclamación para ser corregido el defecto.

Cuando se inicia la Revolución Industrial, primero en Inglaterra con la industria textil y después en todo el mundo con el nacimiento de maquinaria industrial y de fábricas de altos volúmenes de producción existió una notable demanda de mano de obra, fenómeno que ocasionó contratación de hombres, mujeres y hasta niños en el puesto de operarios. Pensamiento común en ese tiempo fue "no permitas que los operarios piensen cómo hacer el trabajo, se les debe explicar detalladamente cómo hacerlo y luego éstos no deben de cambiar en absoluto las instrucciones", esto fue muy marcado, y ocasionó que la calidad en la escala de valores pasara a un plano muy bajo. Por un lado el operario perdió ese orgullo por el trabajo, perdió esa identificación con el producto, ya no es el zapatero que tiene su marca personal en los zapatos; ahora es una persona que sólo corta la piel, o sólo clava el tacón y generalmente no ve el producto terminado; por último, se perdió el contacto directo productor-consumidor, las grandes fábricas de zapatos, que fabrican millares de zapatos diarios, venden su producto a una marca, éstos a sus distribuidores, éstos a zapaterías y finalmente éstas al consumidor final; actualmente se traen zapatos o ropa que no se conoce quién o dónde se fabricaron, en ocasiones ni el país de procedencia.

A fines del siglo XIX y principios del XX, el control de calidad adquiere prioridad número uno en el ejército norteamericano; la industria se orientó a abastecer las necesidades de una guerra: la textil fabricaba ropa militar, la industria de alimentos comida para ser transportada a la guerra, la industria farmacéutica los medicamentos, la automatriz producía tanques y jeeps para la guerra, etc. No era cuestión de que una máquina fuera bonita o que un aparato electrodoméstico trabajara confiablemente, eran vidas humanas salvadas o perdidas. En un batallón con requerimiento de 60 fusiles no se podía permitir que 5 de ellos no funcionaran correctamente, así, durante la guerra se desarrollaron los principios de la mayoría de las técnicas actuales de análisis y de optimización, la investigación de operaciones, la programación lineal, el control de inventarios, etc.

El muestreo estadístico tuvo un alto desarrollo, la calidad era otra vez la prioridad número uno, aunque con el enfoque de inspección (detección), el estándar militar 105 de tablas de muestreo fue desarrollado por estadísticos de la Universidad y del Ejército, notable contribución tuvieron Harold Dodge y Harry Romig, dos ingenieros de los Laboratorios Bell de la compañía de teléfonos ITT. Las tablas MIL-STD-105-D son una eficiente técnica para detectar defectos, se basan en un

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

muestreo masivo que asegura detectar lotes de productos con porcentaje de defectuosos mayor que un límite aceptable (AQL). EU a través de un control estricto en la inspección aseguró alta calidad en el producto militar usado en la guerra.

En las décadas posteriores, algunas empresas de Japón desarrollaron las actividades de mejoramiento de la calidad dejando que el operario se inspeccionara a sí mismo, logrando regresar al concepto de identificación con el producto y con la empresa y al orgullo por el trabajo. Hasta 1962 se identificó que las herramientas estadísticas son más eficientes cuando se elaboran y analizan en grupo y se formaron los círculos de control de calidad (CCC), donde los departamentos no se ven como entidades diferentes sino como grupo. También se detectó la necesidad de entrenamiento masivo a las personas y se crearon sistemas intensivos de entrenamiento y adiestramiento en el puesto, a través de seminarios, revistas y programas. El éxito japonés fue casi legendario.

Otro aspecto de suma importancia, fue el realce que se dio a la calidad del producto en la mente del público. Varias tendencias convergieron en este énfasis: los casos de demanda sobre el producto, la preocupación sobre el medio ambiente, algunos desastres enormes y otros casi desastres, la presión de las organizaciones de consumidores y la conciencia del papel de la calidad en el comercio.

En la actualidad, la calidad ha surgido como una nueva estrategia administrativa importante, esto se debe a varias razones, incluyendo:

1. **Competencia.** En el pasado, una calidad mayor significaba por lo general la necesidad de pagar un precio más alto. Hoy, los clientes pueden obtener alta calidad y precios bajos al mismo tiempo. Entonces, no es suficiente tener una "buena imagen de calidad". Si los costos internos para lograr esa imagen (inspección de muestras, retrabajo, desperdicio, etc) son altos, una compañía perderá ventas por sus precios más altos, necesarios para cubrir estos costos de baja calidad.
2. **Clientes que cambian.** Algunas empresas intentan entrar a los mercados industriales o del consumidor por primera vez. A dichas empresas, sus clientes industriales les exigirán no solo mayores volúmenes de producción, sino también un confiable "sistema de calidad".
3. **Nueva mezcla de producción.** Hoy en día las políticas de producción han cambiado, de una mezcla de volumen bajo con precio alto a una mezcla que incluye un volumen alto y un precio bajo. Estas nuevas líneas de productos dan como resultado la necesidad de reducir los costos internos de baja calidad.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

4. **Complejidad del producto.** Conforme los sistemas se vuelven más complejos, los requerimientos de confiabilidad para los proveedores de componentes se vuelven más rigurosos.
5. **Niveles más altos en la expectativas de los clientes.** Actualmente hay un creciente aumento en el interés por la calidad por parte del consumidor, y una fuerte orientación de éste hacia el concepto de calidad-rendimiento.

### **1.3 CONCEPTOS**

#### **DEFINICIÓN DE "CALIDAD"**

Como ya se había mencionado, la calidad de un producto se puede definir como la *aptitud para su uso*. La extensión de esta definición tan breve comienza con la palabra "cliente". Un cliente es aquél a quien un producto o proceso impacta. Existen dos clases de clientes:

1. **Clientes externos.** Incluyen no sólo al usuario final sino también a los procesadores intermedios y a los comerciantes.
2. **Clientes internos.** Incluyen tanto a otras divisiones de una compañía a las que se proporcionan componentes para en ensamble, como a otros a los que afecta, por ejemplo un departamento de compras que recibe una especificación de ingeniería para una readquisición.

Un producto es la salida de un proceso. Los productos pueden ser de tres tipos:

1. **Bienes:** por ejemplo, automóviles, edificios, reactivos químicos.
2. **Software:** por ejemplo, un programa de computadora, un informe, una instrucción.
3. **Servicios:** por ejemplo, bancos, seguros, transporte.

Ahora es necesario definir "satisfacción del cliente". Ésta se logra a través de dos componentes: características del producto y eliminación de deficiencias.

1. **Características del Producto:** tienen un efecto importante en los ingresos por ventas (a través de participación de mercado, precios, etc.). En muchas industrias, la población total de clientes externos se puede dividir según el nivel o "grado" de calidad deseada. Así, el espectro de clientes conduce a una demanda de hoteles de lujo y hoteles económicos; a una demanda de refrigeradores con muchas características especiales al igual que de aquellos que sólo tienen capacidades básicas; y para nuestro ejemplo en específico, a una demanda de crema dental multifuncional y a una demanda de crema "básica".
2. **Eliminación de deficiencias:** tienen un mayor efecto en la disminución de los costos a través de la reducción de desperdicio, retrabajo, quejas y otros

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

resultados de ellas. Las "deficiencias" se establecen en diferentes unidades como: errores, defectos, fracasos, producto fuera de especificaciones. La falta de deficiencias se refiere a la calidad de conformidad (una conformidad mejor quiere decir menos quejas y por lo tanto una mayor satisfacción del cliente).

La siguiente figura muestra la interrelación de las características del producto y la eliminación de deficiencias y la manera en que esto lleva a mayores ganancias:

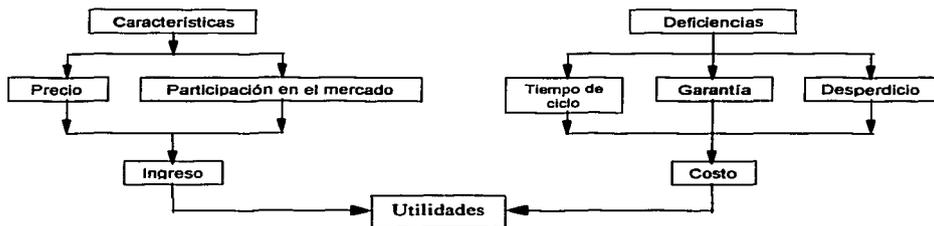


Figura 1.1 Calidad, participación del mercado y retorno sobre la inversión.

Para resumir, la calidad significa la satisfacción del cliente externo e interno. Las características del producto y la eliminación de deficiencias son la principales determinantes de dicha satisfacción.

### **1.3.1 COSTOS DE LA CALIDAD**

Con todo lo anterior es posible darse cuenta de lo importante que es para una industria fabricar productos de calidad, pero, *¿qué tan grandes son los costos de la calidad?* La respuesta depende naturalmente del tipo de organización, y del éxito de sus esfuerzos para asegurar la calidad. En algunas organizaciones los costos de la calidad son el 4% o 5% de las ventas, mientras que en otras pueden ser tan altos como 35% o 40% de las ventas.

Muchas organizaciones de producción y servicios usan cuatro categorías de costos de la calidad: costos preventivos, de evaluación, de fallas internas y de fallas externas. Ahora se examinarán estas categorías con más detalle.

- ❖ **Costos de fallas internas.** Estos son los costos asociados con defectos (errores, no conformidades, etc.), que se encuentran antes de transferir el producto al cliente. Son costos que desaparecerían si no existieran defectos en el producto antes de la entrega. Ejemplos de estas subcategorías son:

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

**Desperdicio:** Costo de la mano de obra, material y costos generales que se utilizan en la elaboración de producto que no cumple con las especificaciones y que no es económico reparar. Los títulos son numerosos –desperdicio, desecho, defectuosos, basura, etc.

**Retrabajo:** El costo de corregir los defectos para hacer que satisfagan las especificaciones.

**Análisis de fallas:** Costos de analizar los productos no conformes para determinar las causas.

**Materiales de desperdicio y retrabajo:** Costos de desperdicio y retrabajo debidos a productos fuera de especificaciones recibidos de los proveedores.

**Inspección del 100%:** Costos de encontrar unidades defectuosas en lotes de productos que contienen niveles inaceptables de productos defectuosos.

**Reinspeccionar y volver a probar :** Costos de volver a inspeccionar y probar los productos que han pasado por retrabajo y otra revisión.

**Pérdidas de proceso evitables:** Costos de las pérdidas que ocurren aun con productos conformes –por ejemplo, sobrellenar contenedores (que van a los clientes) debido a una variabilidad excesiva en equipo de llenado y medición.

**Rebajas:** La diferencia entre el precio normal de venta y el precio reducido por razones de calidad.

- ❖ **Costos de fallas externas.** Estos costos están asociados con defectos que se encuentran después de mandar el producto al cliente. Estos costos también desaparecerían si no hubiera defectos. Los ejemplos son:

**Costos de garantía:** Costos de reemplazo o reparación de productos que están dentro del periodo de garantía.

**Conciliación de quejas:** Costos de investigación y conciliación de quejas justificadas atribuibles a un producto o instalación defectuosa.

**Material regresado:** Costos asociados con la recepción y reemplazo de productos defectuosos recibidos del cliente.

**Concesiones:** Costos de concesiones hechas a los clientes cuando aceptan productos como están, debajo de los estándares, o productos conformes que no cumplen las especificaciones de adecuación para el uso.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

- ❖ **Costos de evaluación.** Estos son costos en los que se incurre al determinar el grado de conformidad con los requerimientos de calidad. Los ejemplos son:

*Inspección y prueba al recibir:* Costos de determinar la calidad de productos comprados, ya sea por inspección al recibir, por inspección en la fuente o por vigilancia.

*Inspección y prueba en el proceso:* Costo de la evaluación en proceso de la conformidad con los requerimientos.

*Inspección y prueba final:* Costos de evaluación de la conformidad con los requerimientos para la aceptación del producto.

*Auditorías de la calidad del producto:* Costos de realizar auditorías de calidad sobre productos en proceso o terminados.

*Mantenimiento de la exactitud del equipo de prueba:* Costos de mantener los instrumentos y equipos de medición calibrados.

*Inspección y prueba de materiales y servicios:* Costos de materiales y provisiones para el trabajo de inspección y prueba y los servicios generales (como energía eléctrica) cuando sean significativos.

*Evaluación del inventario:* Costos de probar productos almacenados para evaluar la degradación.

- ❖ **Costos Preventivos.** Estos son costos en los que se incurre al mantener los costos de fallas y de apreciación al mínimo. Los ejemplos son:

*Planeación de la calidad:* La organización de las actividades que juntas crean el plan global de calidad y los numerosos planes especializados; también la preparación de los procedimientos necesarios para comunicar estos planes a todos los involucrados.

*Revisión de nuevos productos:* Costos de ingeniería de confiabilidad y otras actividades relacionadas con la calidad, asociadas con introducción de nuevos diseños.

*Control de procesos:* Costos de inspección y de pruebas en proceso para determinar el estado del proceso y no la aceptación del producto.

*Evaluación de la calidad del proveedor:* Costos de evaluar las actividades de calidad del proveedor antes de la selección, de la auditoría de las actividades durante el contrato y de llevar a cabo esfuerzos asociados junto con el proveedor.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

*Entrenamiento:* Costos de preparación e implantación de programas de entrenamiento relacionados con la calidad.

### **Costos de calidad ocultos**

Existen también costos que pueden resultar en una subestimación de los costos de calidad. Estos costos "ocultos" incluyen:

1. **Ventas potenciales perdidas.** Un intento para medir parcialmente este costo oculto es estimar el porcentaje de órdenes firmadas que se cancelan y convertir este porcentaje a ventas en dinero.
2. **Los costos de cambiar el proceso de manufactura** debido a la falta de habilidad para cumplir con los requerimientos de calidad.
3. **Los costos incluidos en los estándares** porque la historia muestra que es inevitable cierto nivel de defectos y debe incluirse alguna tolerancia en esos estándares. En tales casos, suena la señal de alarma sólo cuando se excede el valor estándar. Sin embargo aun cuando se opere dentro de los estándares, esos costos deben ser parte del costo de baja calidad, ya que representan oportunidades de mejoramiento.
4. **Costos de manufactura adicionales** debidos a defectos. Éstos incluyen los costos adicionales por espacio, inventario y tiempo extra.

Con todo lo anterior, es posible darse cuenta de lo importante que es elaborar productos con la mayor calidad posible a un costo óptimo. Para lograr esto se cuenta con una serie de técnicas estadísticas que ayudan a tener un control en la manufactura de producto y por ende un aseguramiento de la calidad del mismo.

### **1.3.2 MÉTODOS DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD**

La *Estadística* es el arte de tomar decisiones acerca de un proceso o una población, con base en un análisis de la información contenida en una muestra tomada de tal población. Los métodos estadísticos desempeñan un cometido vital en el aseguramiento de la calidad. Constituyen los medios principales para muestrear, probar y evaluar un producto, y para usar la información contenida en esos datos a fin de controlar y mejorar el proceso de fabricación.

Existen dos tipos generales de calidad: calidad de diseño y calidad de conformidad. Todos los bienes y servicios se producen con varios grados o niveles de calidad. Estas variaciones en los grados o niveles de calidad son intencionales y, por consiguiente, el término técnico apropiado es *calidad de diseño*.

La *calidad de conformidad* indica qué tan bien cumple el producto las especificaciones y tolerancias requeridas por el diseño. Muchos factores influyen

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

en la calidad de conformidad, incluyendo la selección del proceso de manufactura, el adiestramiento y la supervisión de los trabajadores, el tipo del sistema de aseguramiento de calidad utilizado, etc.

Las características de calidad pueden ser de diferentes tipos:

- ❖ **Físicas:** Longitud, peso, voltaje, viscosidad.
- ❖ **Sensoriales:** Sabor, presentación, color.
- ❖ **Dependientes del tiempo:** Confiabilidad, conservación, reparabilidad.

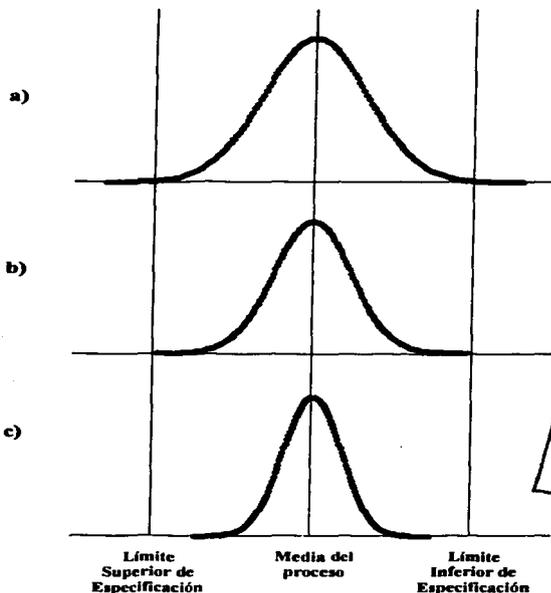
### **Aseguramiento de calidad**

Programas efectivos de aseguramiento de calidad pueden generar mayor penetración en el mercado, mayor productividad, y menores costos generales de fabricación y servicio. Por lo tanto, las empresas con tales programas pueden gozar de ventajas competitivas importantes.

El *control de calidad* es la actividad técnica y administrativa mediante la cual se miden las características de calidad de un producto, se comparan con especificaciones o requisitos y se toman acciones correctivas apropiadas cuando existe una discrepancia entre el funcionamiento real y el estándar.

El objetivo principal del control estadístico es la reducción sistemática de la variabilidad en las características de calidad clave del producto. En la siguiente figura (figura 1.2), se muestra cómo sucede esto con respecto al tiempo. En las primeras etapas, cuando el muestreo para aceptación es la técnica más importante, el "rechazo" del proceso o las unidades que no están conformes con las especificaciones constituye un alto porcentaje de la salida del proceso (Figura a). La introducción de controles estadísticos del proceso estabilizará éste y reducirá la variabilidad (figura b). Sin embargo, no basta con solamente satisfacer los requisitos; otra reducción de la variabilidad lleva por lo regular a un costo más bajo de la calidad y a una mejor posición competitiva (figura c). Se puede utilizar el diseño de experimentos junto con los controles estadísticos del proceso para minimizar la variabilidad de éste, lo que redundará en una producción virtualmente libre de defectos.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Figura 1.2 Reducción sistemática de la variabilidad de la característica de calidad con respecto al tiempo**

### **Círculos de Control de Calidad**

Otro programa de motivación de amplio interés es el *Círculo de Control de Calidad* (o círculo QC), originado en Japón. Un círculo QC es un equipo formado por unos 10 trabajadores y supervisores de un mismo departamento de la compañía cuyo objetivo es realizar estudios para mejorar la efectividad del trabajo en dicho departamento. Los estudios no se limitan necesariamente a la calidad y, muchas veces, incluyen productividad, costos, seguridad y otros aspectos del ambiente de manufactura. La participación en los círculos QC es voluntaria. La

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

organización del círculo empieza con un programa de adiestramiento, que incorpora algunos aspectos de la obtención de datos y sus análisis, un estudio de proyectos exitosos realizados por otros círculos QC y la realización de un proyecto real, con el uso de la ayuda externa que se considere necesaria.

Existen 10 principios básicos con los que debe cumplir un círculo de control de calidad para que éste sea efectivo y permanezca a largo plazo. Estos principios son:

1. Los programas exitosos de compromiso del empleado requieren un interés administrativo genuino, no superficial. Además debe haber un entendimiento completo en lo referente a los propósitos a los que sirve este programa.
2. Las aportaciones e ideas de los empleados deben recibir una consideración seria — y ser puestas en práctica cuando las recomendaciones sean lógicas y pertinentes - para que el programa tenga un valor real.
3. Un requisito importante, y una de las verdaderas pruebas a los programas de calidad, es que tengan una continuidad a largo plazo para cooperar con las operaciones de la planta y compañía. Una tendencia que debe ser evitada, es la actividad a corto plazo en la que el interés y el valor desaparecen rápidamente una vez que pierde el interés original.
4. Los programas de compromiso son tan importantes para los empleados de oficina como para los empleados de fábrica.
5. La organización del programa debe mantenerse clara y sencilla. Una de las grandes debilidades de algunos programas de compromiso ha sido el exceso de organización, con una superestructura que cae pronto por su propio peso.
6. Como corolario para el número 5, los programas de compromiso con éxito requieren una preparación inicial muy cuidadosa. Aunque los participantes y los líderes pueden ser elegidos al inicio del programa, se debería dar después la máxima importancia a la cooperación voluntaria con un mínimo de exigencias hacia el programa.
7. Las sesiones, para que sean efectivas, deben tener una finalidad definida desde el punto de vista de los participantes. Las sesiones que son consideradas como una "pérdida de tiempo" por los participantes, pueden ocasionar efectos negativos. El entrenamiento en participación por grupo y en el análisis y síntesis de problemas y sus soluciones son particularmente importantes.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

8. La sustancia de las sesiones de compromiso – así como del programa general mismo – debe mantenerse al día, ser pertinente con los temas actuales de la planta, y novedoso. Como dijo un participante, "...parte de nuestra tarea en las sesiones es el estar seguro de pasar a otras actividades cuando las actividades actuales han sido tratadas por suficiente tiempo".
9. El liderazgo de las sesiones debe estar formado y orientado a las operaciones de línea en la planta y compañía – de forma que se asegure la participación operativa directa – en vez de sólo por parte del personal administrativo.
10. De importancia vital es el logro de la satisfacción del cliente con la calidad; los programas de compromiso son un ingrediente importante, pero no un sustituto para el exigente programa del control de calidad en toda la compañía.

### **1.3.3 RESPONSABILIDAD DE LA CALIDAD**

La responsabilidad de la calidad se extiende a través de toda la organización. Algunas responsabilidades funcionales específicas se describen a continuación:

1. **Planeación del producto, investigación del mercado y ventas.** Estas funciones tienen la responsabilidad de efectuar las actividades mercadotécnicas o de investigación del mercado que llevan a una descripción del producto que más satisfice los objetivos de la aptitud para el uso del consumidor. También son responsables de presentar a éste datos acerca de la calidad del producto.
2. **Ingeniería de desarrollo.** Esta función es responsable del diseño original del producto, y de determinar las especificaciones, selección de materiales, tolerancias y características del funcionamiento del producto.
3. **Ingeniería de manufactura.** Esta función es responsable de la selección de los procesos de fabricación, el diseño del equipo adecuado de producción, la selección de los métodos de trabajo, el diseño de los sitios de trabajo, el aporte de condiciones laborales satisfactorias y el análisis de los problemas relacionados con la manufactura que se presentan como consecuencia de la fabricación de productos con la calidad deseada.
4. **Compras.** Esta función es la responsable de la selección de los proveedores y de la interacción con éstos respecto a la calidad de los materiales y componentes que suministran.
5. **Administración de la manufactura.** Estos administradores son responsables de la instrucción de los operarios, el mantenimiento adecuado de las

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

instalaciones fabriles, la interpretación correcta de los dibujos de taller y especificaciones, y de mantener el control del producto durante su fabricación.

6. **Trabajadores de manufactura.** Todo el personal laboral tiene la responsabilidad de ejercer con el cuidado propio sus destrezas laborales, y conservar y desarrollar sus habilidades técnicas.
7. **Inspección y pruebas.** Esta función es responsable de medir la calidad de las piezas y los materiales que llegan, y de evaluar el funcionamiento de todos los productos fabricados con respecto a las especificaciones.
8. **Embalaje y embarque.** Esta función responde de la idoneidad de los materiales para embalar y empacar el producto, y del envío y entrega del producto al consumidor.
9. **Servicio al consumidor.** Esta función responde del mantenimiento del producto, incluyendo todas las actividades de reparación e instalación de partes de reemplazo. El principal cometido del servicio al usuario o consumidor es ayudarlo a obtener el potencial previsto de funcionamiento del producto durante su vida útil.

Obviamente, la responsabilidad por la calidad abarca a toda la organización. Como las actividades relacionadas con el aseguramiento de la calidad son tan amplias, los programas exitosos de tal actividad necesitan, como paso inicial, el compromiso de la alta dirección. Este compromiso implica hacer hincapié en la importancia de la calidad, la identificación de las responsabilidades respectivas por la calidad de las diversas unidades organizacionales, y la responsabilidad explícita de todos los administradores y trabajadores de la compañía.

Finalmente, el aseguramiento de la calidad en una empresa será siempre el más eficaz cuando todos los miembros de la organización comprendan los instrumentos básicos del aseguramiento de la calidad. En dichos medios son fundamentales los conceptos estadísticos elementales que forman la base del control de procesos y se utilizan para el análisis de los datos.

**PROCESO**

16-A

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

### **2. PROCESO**

#### **2.1 HISTORIA DE LA EMPRESA OBJETO DE ESTUDIO**

La empresa en cuestión, es una compañía de tradición y hablar de su historia significa remontarnos a los orígenes del jabón, como uno de los productos que da inicio a la creación de una gran empresa.

Históricamente el primer jabón que existió fue el Saponario (material que se disuelve en el agua volviéndola jabonosa).

Los eventos más importantes de la empresa se desarrollaron cronológicamente de la siguiente manera:

- ◆ **1806.** La compañía se funda como negocio de almidón, jabones y velas en la calle de Dutch en la ciudad de Nueva York.
- ◆ **1807.** La compañía cambia de nombre.
- ◆ **1817.** El primer anuncio publicitario "Soap Mould and Dipt Candles" aparece en un periódico neoyorquino.
- ◆ **1820.** Se construye una fábrica de almidón a una milla de Paulus Hook en New Jersey (también se le conocía como Powles Hook), lo que es ahora New Jersey.
- ◆ **1847.** La fábrica de la calle Dutch se mueve a Paulus Hook y la oficina de negocios se queda en la calle Dutch. Los principales productos fueron los jabones de tocador y el almidón.
- ◆ **1866.** El fuego destruye la fábrica de almidón y la fabricación de este producto se cancela.
- ◆ **1872.** El primer jabón perfumado y prensado "Cashmere Bouquet" se introduce al mercado y se abre una fábrica de jabón en la ciudad de Kansas.
- ◆ **1873.** Aparece en el mercado una crema dental aromatizada en tarros. La compañía se convierte en agente de un producto medicinal llamado Vaseline.
- ◆ **1896.** La crema dental se convierte en la primera en ser empacada en tubos plegables muy similares a los que se utilizan en la actualidad. Se establece el primer laboratorio de investigación.
- ◆ **1906.** Para los 100 años de la fundación de la compañía, la línea de la misma incluye jabones de lavandería, 160 clases diferentes de jabones de tocador y 625 variedades de perfumes.
- ◆ **1924.** La compañía empieza a importar, de los Estados Unidos, jabón a nuestro país.
- ◆ **1928.** La compañía se establece en México.
- ◆ **1939.** Las ventas alcanzan los U. S. \$100,000,000.
- ◆ **1962.** Un centro de investigación se inaugura formalmente a un costado de la Universidad de Ciencias Rutgers en New Brunswick, New Jersey.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

- ◆ **1972.** La compañía instala equipos de control anticontaminantes y a la vez maneja un proyecto para facilitar y operar una planta de tratamiento de aguas industriales de desecho.
- ◆ La Cía. Adquiere una nueva compañía, la cuál se especializa en manejo de dietas para la salud de las mascotas.
- ◆ **1981.** La compañía celebra su 175 aniversario.
- ◆ **1985.** Se completa el trabajo en la fábrica más moderna de pasta dental del mundo.
- ◆ **1989.** La compañía adquiere una empresa farmacéutica que fabricaba productos patentados para el cuidado oral con antiplaca.
- ◆ Se establece en New Jersey un nuevo centro de procesos tecnológicos donde se desarrollan las más sofisticadas técnicas de manufactura.
- ◆ **1995.** La compañía se consolida en todos los continentes, atendidos por 54 subsidiarias situadas de manera estratégica.

### **2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

Las cremas dentales son mezclas complejas que contienen ingredientes que dan importantes beneficios terapéuticos y cosméticos.

Para que las cremas dentales tengan preferencia entre los consumidores se requiere que reúnan ciertos atributos físicos y químicos como son:

- No se deben separar las fases líquidas de las sólidas.
- Debe tener una consistencia adecuada y no debe caer entre las cerdas del cepillo dental.
- Debe aplicarse fácilmente en el cepillo dental.
- Debe tener un sabor agradable.
- El nivel de espuma que produce debe ser el adecuado.
- Debe dejar en el consumidor una sensación de frescura y limpieza.
- La apariencia debe estar libre de grumos y ser brillante y tersa.

#### **2.2.1 DEFINICIONES**

La Secretaría de Salud define a las cremas dentales de la siguiente manera:

**Dentífrico.**-Se entiende por dentífrico a la mezcla de productos químicos que sin poseer propiedades curativas, tienen propiedades profilácticas o preventivas y están destinados a limpiar los dientes.

#### **Clasificación**

Se clasifican en dos tipos:

- TIPO 1: Pasta dental o crema dental
- TIPO 2: Polvo dental.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

### **2.2.2 ESPECIFICACIONES**

El dentífrico en sus dos tipos debe cumplir con las siguientes especificaciones:

#### **Químicas y físicas:**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>
PH	4.5	10.0
Abrasión	Debe cumplir con la prueba NOM-K-543	
Consistencia a 25°C en mm.	25	65
Fluoruro total en porcentaje	—	0.2

#### **Ingredientes básicos:**

Con respecto a ingredientes pulidores, limpiadores, agentes preventivos de las caries o agentes anticaries, edulcorantes, preservativos y aditivos, deben estar autorizados por la Secretaría de Salud.

### **2.3.3 NORMAS MEXICANAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS DENTÍFRICOS**

- NOM-K-543            Dentífricos.-Determinación de abrasión.
- NOM-K-542            Dentífricos.-Determinación de consistencia.
- NOM-K-541            Dentífricos.-Determinación de pH.
- NOM-K-540            Dentífricos.-Determinación fluoruros.
- NOM-F-88             Determinación de microorganismos

### **2.3.4 COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA CREMA DENTAL**

**Humectantes.** Los humectantes de la crema dental son el agua, el sorbitol, y la glicerina.

**Agentes anticaries.** Los agentes anticaries son el monofluorofosfato (MFP) y el fluoruro de sodio.

**Agente endulzante o edulcorante.** Actualmente el sacarinato de sodio es el más utilizado.

**Agentes espesantes.** Carboximetil celulosa (CMC) y viscarín (carragenina).

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

**Agentes pulidores.** Silicas (zeodent 115), bicarbonato de sodio y fosfato dicálcico.

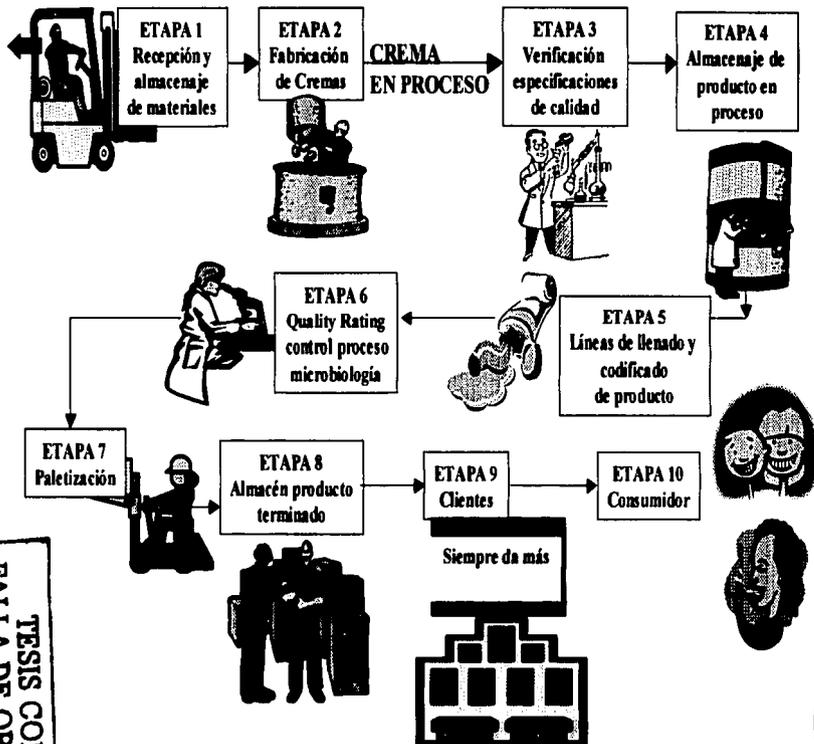
**Agentes limpiadores.** Lauril sulfato de sodio en polvo (texapon K-95) y lauril sulfato de sodio líquido. Este ingrediente es el que forma la espuma con la acción mecánica del cepillado.

**Colores y pigmentos.** Solubles en agua.

**Triclosán.** Agente antibacteriano de amplio espectro, contra la placa dentobacteriana, auxiliar en la gingivitis (sangrado de las encías) y de la enfermedad parodontal (inflamación de las encías).

En la siguiente figura se muestran las diferentes etapas que se llevan a cabo en la manufactura de crema dental.

# PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PASTAS DENTALES



## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

### 2.3.5 ETAPAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CREMA DENTAL

#### ETAPA 1. "RECEPCIÓN Y ALMACENAJE DE MATERIALES"

- ❖ Recibir los materiales de los proveedores.
- ❖ Verificar el cumplimiento de las especificaciones de calidad.
- ❖ Almacenar los materiales hasta que sean requeridos por producción.
- ❖ Identificación de los lotes de materias primas para poder realizar una eficiente rastreabilidad de producto en caso de ser necesario.

#### ETAPA 2. "FABRICACIÓN DE CREMA DENTAL"

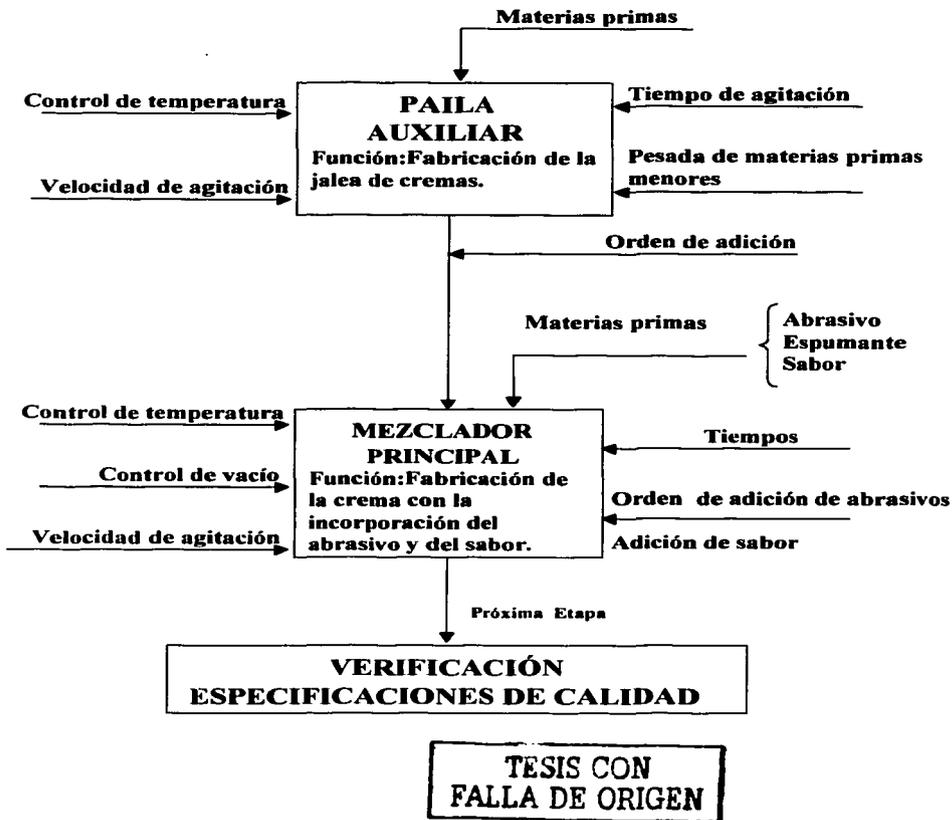
Esta etapa es la más importante y en ésta se obtiene el producto a granel. El equipo de manufactura utilizado en la elaboración de crema dental es el siguiente:

- a) **Tanque báscula.**- Se utiliza para pesar los ingredientes de mayor proporción en la fórmula.
- b) **Paila de jaleas.**- Es el equipo donde se logra la incorporación de materiales especiales como son: Agentes activos, espesantes, etc.
- c) **Batidor a vacío.**- En este equipo de proceso, se adicionan los abrasivos de mayor porcentaje en la formulación y se mezclan con la parte elaborada en la paila de jaleas. Es importante que este equipo trabaje con vacío para obtener un peso específico dentro de especificaciones.
- d) **Tanque Dropp.**- Es un tanque de almacenamiento temporal, en el cual permanece la crema dental hasta que se libera microbiológicamente.
- e) **Tanque de Almacenamiento.**- En este tanque permanece la crema dental hasta que es solicitada por el área de llenado.

A continuación se muestra un diagrama (figura 2.1), en el cual se pueden ver las variables que afectan a cada uno de los dos equipos principales de la manufactura de crema dental:

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

Figura 2.1 Variables que afectan a los principales equipos que se utilizan en la manufactura de crema dental.



## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

### **ETAPA 3. "VERIFICACIÓN DE ESPECIFICACIONES DE CALIDAD"**

Esta etapa consta de dos actividades:

- ❖ **Verificación de propiedades físicas y químicas.-** Gravedad específica, pH, consistencia, color, olor, sabor y apariencia general. Además se realizan los análisis de humedad, ppm de flúor y % de Triclosán, que por el tipo de análisis requieren de más tiempo y sus resultados son reportados después de 24 horas.
- ❖ **Verificación de propiedades microbiológicas.-** Ausencia de microorganismos patógenos (estos análisis se realizan mientras el producto se encuentra en cuarentena).

### **ETAPA 4. "ALMACENAJE DE PRODUCTO EN PROCESO"**

- ❖ La finalidad de esta etapa es tener almacenada crema dental lista para el área de llenado.

### **ETAPA 5. "LÍNEAS DE LLENADO"**

- ❖ Esta etapa tiene como finalidad llenar tubos con la cantidad adecuada de crema dental de acuerdo al tamaño de la presentación, encartonarlos, envolverlos y codificarlos.

### **ETAPA 6. "QUALITY RATING"**

- ❖ En esta etapa se lleva a cabo el control de calidad de producto terminado.

### **ETAPA 7. "PALETIZACIÓN"**

- ❖ En esta etapa se lleva a cabo la paletización de los fondos de crema dental que consiste en estibar las cajas en tarimas de madera para distribución de acuerdo a especificación de fondeo.

### **ETAPA 8. "ALMACÉN DE PRODUCTO TERMINADO"**

- ❖ En esta etapa, los fondos de crema se encuentran "liberados" y listos para ser distribuidos.

### **ETAPA 9. "CLIENTES"**

- ❖ Etapa en la que la crema es entregada a los distribuidores.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

### **ETAPA 10. "CONSUMIDORES"**

- ❖ Etapa final en la cual el producto entra en contacto directo con los consumidores.

### **2.3 DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES CRÍTICAS DE PROCESO EN LA FABRICACIÓN DE CREMA DENTAL**

Para asegurar que un consumidor reciba el producto con las características deseadas, es necesario definir las variables claves que intervienen en el proceso de manufactura de crema dental; a continuación se detallan cada una de las variables importantes utilizadas para definir los parámetros de calidad de una crema dental:

**Temperatura.-** Ayuda a que el agente espesante (CMC, viscarín) se incorpore y se humecte. Si no se alcanza la temperatura adecuada el efecto inmediato es una consistencia baja en el producto. Si por el contrario, la temperatura es mayor a la necesaria, se quema el espesante y por lo tanto no cumple con su función además de alterar el color.

**Tiempo de Agitación.-** Ayuda a la completa incorporación de todos los materiales. Si no se cumple con el tiempo requerido de agitación pueden presentarse grumos de materiales que no se hayan incorporado completamente. Si el tiempo de agitación es mayor al necesario, el tiempo requerido para la elaboración de los siguientes lotes se verá afectado.

**Orden de adición de las materias primas.-** Ayuda a estandarizar las prácticas de manufactura de la crema dental.

Se debe respetar el orden de adición de las materias primas, ya que la solubilidad de cada una de éstas es diferente a la de las demás. Si no se respeta dicho orden, el mezclado no se llevará a cabo de forma satisfactoria.

**Vacío.-** El vacío influye directamente en el peso específico de la crema dental, ya que por medio de éste se eliminan las burbujas de aire que pudieran existir, disminuyendo de esta manera el volumen ocupado por la crema.

**CONTROL  
ESTADÍSTICO  
DE  
PROCESOS**

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

### **3. CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

El control estadístico de procesos lo integran una serie de herramientas que son de gran utilidad para el análisis de datos obtenidos a través de mediciones u observaciones específicas en: Insumos que recibe la empresa, la manufactura dentro del proceso y el producto terminado, entre otras. Para su aplicación es importante la participación del trabajador en las funciones de calidad. Los beneficios al implantar dicho control se reflejan necesariamente en un incremento en la productividad, reducción de costos, mejoramiento constante del producto y la satisfacción del cliente.

Los métodos de Control Estadístico de Procesos tienen mucha importancia en el mejoramiento de la Calidad, porque se sabe que representa la manera más segura y menos costosa de alcanzar los objetivos deseados en una compañía (aumento de la producción, aumento de las utilidades y disminución de lotes rechazados).

Usar la estadística pudiera parecer algo muy difícil de lograr, pero la estadística no es más que una manera "astuta" de utilizar los números para ayudarnos a tomar decisiones en la operación de cualquier planta y reducir el número de problemas de fabricación.

Como ya ha visto, la calidad es tan antigua como el hombre mismo. Desde el momento en que el hombre comenzó a elaborar cosas con sus manos, o sea, a manufacturar, debió existir interés en la calidad de lo producido. La calidad tiene pues una larga historia. Al contrario de la calidad, el control estadístico de procesos (o de la calidad), es relativamente joven.

#### **3.2 HISTORIA DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS**

El control estadístico de procesos o de la calidad es cosa nueva. La propia ciencia estadística cuenta sólo con dos o tres siglos de vida, y su desarrollo más importante se ha producido durante los últimos setenta años. Sus primeras aplicaciones se llevaron a cabo en astronomía, en física y en las ciencias biológicas y sociales, pero no fue sino hasta la década de los veinte, cuando la teoría estadística comenzó a ser aplicada en forma efectiva al control de calidad. Un factor del nacimiento del control estadístico de calidad en esa época, fue el desarrollo, en los años inmediatamente anteriores, de una teoría científica del muestreo.

El primero en aplicar los nuevos métodos estadísticos al problema del control de calidad fue Walter A. Shewhart, de los Bell Telephone Laboratories. En un memorando escrito el 16 de mayo de 1924, Shewhart hizo el primer esbozo de un moderno "diagrama de control". La nueva técnica fue desarrollada posteriormente en varios otros memorandos y artículos; y en 1931 publicó un libro acerca del control estadístico de calidad, con el título de *Economic Control of Quality of Manufactured Product*. Este libro fijó las normas para posteriores aplicaciones de

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

los métodos estadísticos al control de procesos de fabricación. Otros dos hombres del Bell System, H.F. Dodge y H. G. Romig, fueron los más destacados en el desarrollo de la aplicación de la teoría estadística a la inspección de muestras, siendo la culminación de su trabajo las ya bien conocidas *Sampling Inspection Tables* de Dodge-Romig. El trabajo de Shewhart, Dodge y Romig constituye la mayor parte de lo que hoy abarca la teoría del control estadístico de calidad.

En Estados Unidos, a pesar de la publicidad dada a estos nuevos métodos, su adopción fue lenta al principio. En 1937, quizá no pasaba de una docena el número de empresas norteamericanas dedicadas a las industrias de producción en masa que hubieran introducido la nueva técnica en sus operaciones normales.

Esta frialdad inicial de la industria norteamericana hacia el control estadístico de procesos fue abandonada rápidamente durante la segunda guerra mundial. La iniciación del conflicto en 1939, obligó a Estados Unidos a pensar en la defensa nacional. Esto significaba un incremento notable del personal militar y el material bélico. Las fuerzas armadas aparecieron en el mercado como consumidores de importancia de la producción industrial, y como tales, tuvieron un influjo creciente en las normas de calidad.

La influencia de las autoridades en lo que respecta a la adopción del control estadístico de calidad fue de dos tipos. En primer lugar, los servicios militares adoptaron procedimientos científicamente ideados para la inspección por muestreo. La segunda línea de influencia de los organismos militares, consistió en el establecimiento de un programa educativo muy amplio para personal industrial y de otra clase. En diciembre de 1940 la American Standards Association inició a petición de la Secretaría de Guerra, un proyecto que se concretó en los American War Standards, "Guía para el control de calidad y método de los diagramas de control para el análisis de datos", y el American War Standard Z1.3-1942, "Método de diagramas de control para controlar la calidad durante la producción". Estos estándares o normas expresaban en forma concisa la práctica de los diagramas de control, y sirvieron de material didáctico para posteriores cursos de instrucción y entrenamiento.

En Gran Bretaña el desarrollo del control estadístico de calidad fue paralelo y llegó a combinarse con el de Estados Unidos. Desde principios de la década de 1920, Bernard Dudding, de los laboratorios de investigación de la General Electric Company, en Wembley, realizó análisis estadísticos acerca de la variación en la calidad de la producción. La necesidad de estudiar variaciones en muestras pequeñas considerando un fundamento de probabilidad, fue destacada en un artículo escrito por él en 1929 para dicha compañía. En 1925, I. H. C. Tippett, un estadístico empleado en la industria textil algodonera de la Gran Bretaña, publicó su estudio acerca de la distribución de las amplitudes de muestras tomadas de un universo normal, el cual fue utilizado por Shewhart en su libro *Economic Control of Quality of Manufactured Product*.

En 1931, Egon S. Pearson, de University College, en Londres, vino a Estados Unidos y pasó algunos días en conversación con Shewhart. Como resultado, este

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

último fue invitado a ir a Gran Bretaña a dar tres conferencias en el University College acerca de "El papel del método estadístico en la estandarización industrial". Enseguida las cosas se movilizaron rápidamente en Inglaterra. Pearson dio a conocer su estudio titulado "Un análisis de las aplicaciones del método estadístico en el control y la estandarización de la calidad de productos manufacturados, en la reunión de la Royal Statistical Society realizada en diciembre de 1932.

La respuesta de la industria británica a los nuevos métodos estadísticos fue rápida y amplia. En 1937 estaba siendo aplicada a productos como hulla, coque, hilados y tejidos de algodón, tejidos de lana, cristales para anteojos, lámparas, material para construcción y productos químicos. La aplicación se vio estimulada como consecuencia de la guerra, y en 1952 la Royal Statistical Society incorporó la revista Applied Statistics a su grupo de publicaciones.

Desde Estados Unidos y Gran Bretaña, las técnicas del control de calidad se extendieron a otros países. Bajo la dirección del Dr. W. Edwards Deming, el control de calidad estadístico en Japón ha evolucionado hasta convertirse en uno de los mejores del mundo. En Europa se formó la Organización Europea para el Control de Calidad. El Comité Técnico 69 para Aplicaciones de los Métodos Estadísticos de la Organización Internacional de Normalización (ISO International Organization for Standardization) tiene como misión emitir normas para planes de muestreo y diagramas de control, y en la actualidad casi todas las naciones industrializadas las utilizan.

### **3.3 PRECURSORES DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS**

#### **FILOSOFÍA DE ISHIKAWA.**

La contribución del doctor Ishikawa se resume a continuación:

##### **Importancia de la garantía de la calidad.**

Si se producen artículos defectuosos en las distintas etapas de proceso de manufactura, no basta la inspección estricta para eliminarlos, si en vez de recurrir a ésta se dejan de producir defectos desde el comienzo, es decir, si se controlan los factores o causas que ocasionan los defectos, no habrá necesidad de la inspección. Por tanto, se necesita un programa de control de calidad cuya aplicación sea más amplia, que incluya la participación de todos los empleados y todos los departamentos de la empresa, para esto, la educación de los trabajadores en materia de control de calidad es sumamente importante.

Por otra parte, deben formarse trabajadores multifuncionales con gran capacidad y visión de los problemas de calidad, es decir, los trabajadores no deben ser especialistas de una sola área, no ser tratados como máquinas ya que esto causa resentimientos y poco interés en el trabajo. Deben estar sujetos a una constante instrucción del proceso y deben escucharse sus opiniones, con esto se logrará que

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

cada trabajador garantice su trabajo y disminuyan enormemente los reprocesos, errores y defectos.

La garantía de calidad es asegurar la calidad de un producto de modo que el cliente pueda comprarlo con confianza y utilizarlo largo tiempo con confianza y satisfacción. Asimismo, debe evitarse despachar artículos defectuosos a los consumidores ya que esto daña la imagen de la compañía y por lo tanto las ventas. Aunque esto es casi imposible (debido al factor humano), es necesario tomar medidas para impedir que el problema se repita y asegurarse de que no vuelva a pasar, por esta razón, el producto defectuoso debe recuperarse siempre a fin de establecer las causas de su mal funcionamiento. Lo más importante en el control y la garantía de calidad es impedir que los errores se repitan.

Los tres pasos siguientes suelen considerarse como medidas para impedir la repetición de errores.

- ✓ Eliminar el síntoma.
- ✓ Eliminar la causa.
- ✓ Eliminar la causa fundamental.

### **El Control Total de la Calidad.**

La calidad no mejora si la empresa solamente se interesa en las funciones cumplidas por los trabajadores de producción. La calidad incumbe a todos y la compañía deberá esforzarse por lograr mejor calidad en todos sus departamentos, desde diseño hasta ventas y servicio. También deberá procurar una mejor calidad de desempeño entre todos sus empleados, gerentes y obreros, así como su personal de ventas. Si la compañía no toma estas medidas, no podrá fabricar buenos productos. Estas son las razones y fundamentos del *Control Total de la Calidad*.

Para que se pueda aplicar el control total de calidad es indispensable que el gerente general o director de la empresa comprenda bien qué es el control de calidad y que además, que esté en posición de tomar decisiones. Las recomendaciones generales del doctor Ishikawa hacia los gerentes son:

- ✓ Establecer políticas y objetivos.
- ✓ Asumir y mantenerse a la vanguardia en control de calidad.
- ✓ Impartir educación y planes de organización

### **FILOSOFÍA DE SHINGO.**

El ingeniero Shigeo Shingo establece la utilización de una filosofía agresiva del control de calidad que exige la eliminación de los defectos. Los conceptos básicos para un sistema de Control de Calidad Cero parten de las siguientes ideas:

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

1. Utilizar inspecciones en la fuente, por ejemplo, inspecciones para prevenir y eliminar defectos completamente. Esto significa, motivar en la mentalidad de todos los individuos para aplicar las funciones de control en la fase en la que los defectos se originan.
2. Diseñar un sistema que permita garantizar las inspecciones de operaciones al 100%.
3. Minimizar el tiempo que se precisa para la acción correctiva cuando aparecen anomalías.
4. Reconocer que las personas son seres humanos y no son infalibles. A las personas se les encomiendan tareas y tratan de cumplir hasta donde pueden. Es necesario establecer en puntos críticos sistemas a prueba de errores. Los sistemas a prueba de errores cumplen con las funciones de control que deben ser efectivas.

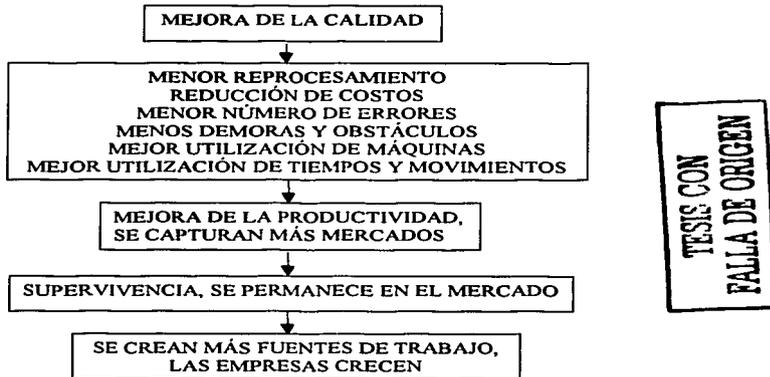
### **FILOSOFÍA DE DEMING**

W. E. Deming nació el 14 de octubre de 1900. Su principal interés fue la aplicación de las técnicas estadísticas. Fue influenciado por las enseñanzas de Walter Shewhart, quien dio a conocer los métodos de control estadístico de procesos (CEP). Deming fue el primer científico occidental en ser invitado por los japoneses para conducir una serie de seminarios para trabajadores y gerentes, con respecto al uso de gráficas de control de calidad. Fue invitado a formar parte de la Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros (UJCI) en 1950, y utilizó este foro para estimular a los japoneses en el uso de las técnicas estadísticas para el análisis de los problemas de variabilidad y sus causas. También fomentó la idea de ir más allá de las estadísticas para luchar por mejoras continuas, usando lo que después se conoció como "ciclo de Deming" (planear, ejecutar, comprobar y actuar (PECA)).

En la siguiente figura se muestra el diagrama del ciclo de Deming:

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

Figura 3.1 Diagrama del ciclo de Deming



También hizo hincapié en la necesidad de contar con investigaciones modernas sobre el consumidor, llevando a cabo encuestas periódicas y evaluaciones en detalle de los desarrollos y cambios del mercado, para poder planear y actuar positivamente. Deming insistía en que el uso frecuente de las técnicas estadísticas garantiza una competitividad positiva en el mercado, y se obtienen los retornos deseados.

Deming cree con vehemencia que las mejoras de calidad tienen que ser motivadas por la dirección. Conceptualiza la responsabilidad gerencial en dos grandes áreas:

- f) **Creación de un clima positivo para las mejoras de la calidad:** Es responsabilidad de la alta gerencia asegurarse de que el trabajo es interesante y que los empleados y obreros lo disfruten y lo realicen con un propósito que constituya una parte de su auto motivación. Deming destaca la importancia de lo que él llama motivación intrínseca (autoestima y responsabilidad individual por el trabajo realizado) en lugar de una motivación extrínseca (aceptación de recompensas materiales por el trabajo realizado). En una entrevista Deming señaló que: "El individuo debe adquirir su autoestima disfrutando del trabajo. Este debe comunicarle una sensación de que está haciendo algo útil con posibilidades de mejorarlo; de otra manera, el trabajo se convierte en una motivación extrínseca (aceptación del pago diario) que resulta humillante".

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

**g) Énfasis en los trabajadores con conocimientos en lugar de sistemas rígidos:** Deming afirma que muchos de los errores que se presentan en las organizaciones no son causados por los errores del personal, sino por los sistemas imperantes, que son imprácticos, demasiado rígidos y poco precisos. No puede culparse a los directivos, pues su trabajo es hacer operar el sistema tratando de reducir costos y ganar dinero para sus organizaciones. El cuestionamiento de las cifras para lograr buenos resultados empeora las cosas en lugar de mejorarlas. Durante mucho tiempo, Occidente ha enfatizado la eficiencia, exigiéndole al personal que desarrolle su mejor esfuerzo sin detenerse a analizar su grado de conocimientos para desarrollar sus tareas. Deming concluye que:

"... estaríamos en mejor posición si las personas dejaran de hacer su mejor esfuerzo. Las personas que hacen las cosas lo mejor posible nos han arruinado. No existe sustituto del conocimiento."

Deming recomienda 14 puntos aplicables a todas las áreas de una industria. Estos puntos se presentan a continuación:

- 1. Perseverancia.-** Crear una constancia con el propósito de mejorar el producto y el servicio, con la meta de llegar a ser competitivos, permanecer en el campo de los negocios y crear empleos.
- 2. Filosofía.-** Adoptar una nueva filosofía- Estamos en una nueva era económica creada por los países desarrollados. No se puede continuar viviendo dentro del estilo aceptado comúnmente en la administración, ni con los niveles aceptados de demoras, errores y productos defectuosos.
- 3. Evidencia Estadística.-** Hay que acabar con la inspección masiva. En su lugar debemos exigir evidencia estadística de que el producto o servicio se hace con calidad desde los primeros pasos.
- 4. Minimizar costos.-** Acabar con la práctica de hacer negocios con base en el precio de venta. En lugar de esto, minimizar el costo total.
- 5. Mejorar la calidad.-** Mejorar en forma constante y permanente los sistemas de producción y servicio para mejorar la calidad y la productividad, disminuyendo los costos.
- 6. Aplicar métodos modernos.-** Es necesario poner en práctica el adiestramiento en el puesto ocupando métodos modernos.
- 7. Liderazgo.-** Instituya la supervisión. La meta de la supervisión debe ser ayudar a las personas, máquinas y accesorios, para desempeñar un mejor trabajo. La supervisión de los directivos así como de los trabajadores de producción requiere un análisis a fondo.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

- 8. Eliminar el miedo.-** Para que se pueda trabajar efectivamente en las empresas es necesario eliminar el miedo.
- 9. Acabar con las barreras.-** Romper las barreras entre departamentos. Las personas empleadas en investigación, diseño, ventas y producción, deben trabajar en equipo para prevenir problemas en producción y en la utilización del producto o en la mejora del servicio.
- 10. Eliminar lemas.-** Eliminar lemas, exhortaciones y metas impuestas a los trabajadores, pidiéndoles cero defectos o crear nuevos niveles de productividad. Tales exhortaciones sólo crean actitudes de animosidad, puesto que la mayor parte de las causas de la baja calidad y baja productividad, son parte del sistema y están, por tanto, fuera del dominio del trabajador.
- 11. Eliminar metas numéricas.-** Eliminar estándares de trabajo que prescriban cuotas numéricas diarias. Sustituirlas por una supervisión de ayuda y servicio.
- 12. Quitar obstáculos.-** Eliminar las barreras que impiden a los directivos y empleados el derecho de sentirse orgulloso de su trabajo. La responsabilidad de los supervisores debe cambiarse de un enfoque numérico a uno de calidad.
- 13. Impulsar la educación.-** Instituir un programa vigoroso de educación y adiestramiento.
- 14. Sistematizar.-** Asignar a todo el personal de la empresa la tarea de conseguir la transformación descrita, la cual es tarea de todos.

Estos catorce puntos pueden considerarse como los ingredientes que requieren las organizaciones para llevar a cabo la transformación total, basada en una filosofía de mejora de la calidad en toda la compañía. Deming también advierte los obstáculos que pueden impedir la implantación de los catorce principios. A éstos les llama "pecados capitales" o "enfermedades mortales", tal como se analizan a continuación:

### **Las enfermedades mortales.**

- ✦ **Falta de consistencia:** Falta de consistencia en los propósitos de permanencia del negocio, al no planear los productos y servicios del futuro, apuntando a mercados específicos para que la compañía progrese y sea una fuente de empleos;
- ✦ **Utilidades a corto plazo:** Las estrategias a corto plazo derrotan a la constancia de propósitos para sobrevivir con crecimiento a largo plazo;

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

- **Evaluaciones de desempeño:** Los efectos de las evaluaciones de desempeño (sistemas de revisión del personal, calificación de méritos, revisiones anuales, etc.) son devastadores.
- **Cambios de empleo:** La movilidad de los directivos causa inestabilidad, y conduce a la toma de decisiones por parte de personas que tienen pocos conocimientos y comprensión de las actividades empresariales y que se alimentan de experiencias en situaciones diferentes;
- **Uso exclusivo de cifras visibles:** Los directivos no deben referirse únicamente a las cifras visibles. Aunque éstas son importantes, la gerencia debe aprender a manejar el negocio con un enfoque más amplio y global (las cifras desconocidas son también muy importantes).

Deming es quizá el precursor de la administración de la calidad total más respetado por su incansable dedicación y empeño en ayudar a las empresas mundiales a implantar técnicas y conceptos de mejoras de calidad. Su filosofía de la administración corporativa de la calidad puede caracterizarse como sigue:

- Debe iniciarse en la alta gerencia;
- Todo el personal de la organización debe participar;
- Está basada en un proceso continuo de mejoras;
- Es de bases científicas;
- Tiene por objeto servir siempre mejor al cliente.

## **FILOSOFÍA DE PHILIP B. CROSBY**

Establece que para mejorar la calidad es necesario implantar un proceso sistemático de mejora. Para esto define cuatro principios absolutos que son:

**a) Definición:** La calidad se define como el cumplimiento de los requisitos que son necesarios para un fin. Para cumplir con los requisitos es necesario realizar un análisis del conjunto de acciones y operaciones que se realizan en un proceso. Estas partes son:

- ◆ **Insumo.-** Información o material utilizado para obtener un resultado.
- ◆ **Equipo o instalación.-** Cualquier tipo de equipo o instalación que se necesita para llevar a cabo un proceso.
- ◆ **Capacitación y conocimientos.-** Es la habilidad y adiestramiento necesarios para la ejecución de un proceso.
- ◆ **Definición y procedimiento del proceso.-** Es la descripción del proceso y las instrucciones de trabajo.
- ◆ **Resultado.-** Es el producto o servicio suministrado.

**b) Sistema:** El único sistema que permite la calidad es la prevención. Se requieren cinco condiciones para crear un sistema de calidad:

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

- ◆ Requisitos claros
- ◆ Proceso de producción bien definido
- ◆ Comprobación de la capacidad del proceso
- ◆ Sistema y política de prevención de defectos

- c) **Norma de Ejecución:** La norma de ejecución que se recomienda es no tolerar los defectos. Consiste en desarrollar conciencia a todo el personal, de buscar la manera de que se eviten los defectos.
- d) **Sistema de medida:** Existen muchas maneras de medir la calidad: índices, promedios, evaluaciones físicas, etc.

### FILOSOFÍA DE JURAN

El Dr. Juran establece tres procesos para lograr la calidad dentro de cualquier empresa que son:

- ◆ **Planificación**
- ◆ **Control**
- ◆ **Mejora**

A continuación se definen estos tres procesos:

- a) **Planificación de la calidad.-** En esta actividad se definen los productos y procesos requeridos para satisfacer las necesidades de los clientes. Esto implica una serie de pasos que en esencia son:
- Determinar quienes son los clientes.
  - Determinar las necesidades de los clientes.
  - Traducir las necesidades de los clientes.
  - Desarrollar las características de los productos que responden a las necesidades de los clientes.
  - Desarrollar los procesos que sean capaces de producir aquellas características de los productos.
  - Transferir los planes resultantes a las fuerzas operativas.
- b) **Control de Calidad.-** Esta actividad permite mantener un proceso de acuerdo a lo planificado, de forma que siga siendo capaz de cumplir los objetivos operativos; en general consta de los siguientes pasos:
- Evaluar el comportamiento real de la calidad.
  - Comparar el comportamiento real de la calidad.
  - Actuar sobre las diferencias.
- c) **Mejora de la calidad.-** Este proceso es el medio de elevar las cuotas de la calidad a niveles sin precedente. Consta de los siguientes pasos:

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

- Establecer la infraestructura necesaria para conseguir una mejora de calidad anualmente.
- Identificar las necesidades concretas para mejorar los proyectos de mejora.
- Establecer un equipo de personas para cada proyecto con una responsabilidad clara de llevar el proyecto a buen fin.
- Proporcionar los recursos, la motivación y la formación necesaria para que los equipos "Diagnostiquen las causas, fomenten el establecimiento de un remedio y establezcan los controles para mantener los beneficios".

### **3.4 CONCEPTOS BÁSICOS DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS**

A continuación se describen conceptos elementales de estadística cuya finalidad es interpretar correctamente las definiciones presentadas en este trabajo.

**Calidad.** Conjunto de características que hace que un bien o servicio sea útil para un objetivo predeterminado.

**Proceso.** Sistema integrado por entradas (materiales, información, recursos, etc.), actividades de transformación, y salidas (productos como bienes o servicios).

**Proceso de producción.** Sistema con entradas de Materia prima, Mano de obra, Medio ambiente, Métodos, Maquinaria y equipo (conocidas como las 5 M's), y salidas de bienes y artículos.

**Estadística.** Es la ciencia que colecta, analiza y extrae información de datos de un proceso, también se puede definir como la ciencia que describe el estado de un proceso.

**Control.** Conjunto de actividades dirigidas a mantener un proceso en operación homogénea dentro de ciertos límites establecidos.

**Control Estadístico del Proceso (CEP).** Control del proceso basado en técnicas estadísticas básicas, el CEP requiere de una filosofía de satisfacción del cliente y de mejoramiento continuo.

**Variabes.** Características del producto o del proceso que se deben medir y controlar para asegurar la calidad del bien o del servicio. A los valores de la variable se les llama datos (un dato es un número con interpretación física).

**Variabilidad.** Concepto que indica que dos piezas nunca son exactamente iguales, sino que existen diferencias entre ellos apreciables por instrumentos de medición con la resolución necesaria.

De la misma manera en que dos personas no son exactamente iguales, dos partes manufacturadas no son exactamente iguales. Siempre habrá una pequeña

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

variación en el tamaño, peso o ajuste de una parte o ensamble. La diferencia puede ser muy pequeña, pero existirá una diferencia. A esta se le llama variación.

**Desviación estándar  $\sigma$ .** Es un valor numérico, expresado en las unidades de los valores observados, que mide la tendencia a la dispersión de los datos. Es la distancia promedio que los datos se alejan del centro de la distribución. Una desviación estándar grande indica una mayor variabilidad en los datos que en el caso de una desviación estándar pequeña. Se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

donde:

$s$  = desviación estándar de la muestra  
 $X_i$  = valor observado  
 $\bar{X}$  = media  
 $n$  = cantidad de valores observados

**Rango.** Se define como la diferencia entre el dato mayor y el dato menor, y mide la variabilidad total de los datos.

**Promedio.** También se llama media o media aritmética, se define como la suma algebraica de los datos entre el número total de ellos.

### **Control Estadístico**

Se dice que un proceso está en Control Estadístico cuando no es afectado por causas especiales de variación. Si las variaciones que se presentan son debidas sólo a causas comunes, el proceso está bajo Control Estadístico. Si en el proceso se presentan causas especiales de variación se dice que está Fuera de Control Estadístico.

En términos de las Gráficas de Control podemos decir que para que un proceso esté en control, todos los puntos deben caer dentro de los Límites de Control y deben estar dispersos al azar con respecto a la Línea Central o media.

Una causa especial no necesariamente indica un producto defectuoso, como tampoco un sistema de causas comunes indica necesariamente su conformidad con las especificaciones, simplemente se ha comprobado la consistencia y estabilidad del proceso, independiente del modo en que el producto se ajusta o falla según las especificaciones.

Después de haber capturado datos en el formato de inspección y haber obtenido algún gráfico, la primera pregunta que se debe contestar es: ¿está el proceso en Control?. Se podría hacer la misma pregunta en otras formas: ¿Está el proceso

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

libre de causas especiales de variación? o ¿La producción de las piezas fabricadas, ha sido bajo un conjunto consistente de circunstancias ?

Para poder contestar esta pregunta, se debe buscar evidencia de variaciones extremas, desviaciones y tendencias. La presencia de cualquier indicación de una causa especial debe garantizar una investigación en el proceso. La ausencia de estas señales dan la seguridad de que los datos representan correctamente las posibilidades del proceso.

Sólo cuando los datos son de un sistema de causas comunes podemos pensar que se justifica comparar los resultados del proceso con las condiciones impuestas por las especificaciones.

### **Causas comunes y especiales de variación en un proceso**

En todos los procesos, las causas de variabilidad (y de problemas de calidad) se pueden clasificar en dos tipos: causas comunes y causas especiales.

Las causas comunes, como ya se dijo anteriormente, son debidas al sistema, al diseño de la planta, al diseño del proceso, a la tecnología, a las normas que se practican en la organización y a la filosofía de la compañía. El responsable de las causas comunes es el nivel directivo y gerencial (las personas que tienen autoridad para hacer cambios en el sistema) en otras palabras, cada persona que tiene subordinados, tiene autoridad para hacer cambios en el sistema bajo su responsabilidad. Las causas comunes son relativamente difíciles de identificar y corregir además de ser costosas.

Las causas especiales son las originadas por una persona o entidad específica, un cierto día y bajo alguna circunstancia esporádica. El responsable de las causas especiales es la persona o entidad que la originó, por ejemplo, una distracción de un operario, una falla en una máquina, etc.

### **3.5 LAS HERRAMIENTAS BÁSICAS DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS**

Todos los autores de calidad coinciden en la necesidad de usar técnicas de calidad, para cubrir esta necesidad existe un conjunto de técnicas estadísticas llamadas herramientas básicas que, aplicadas en combinación forman el control estadístico de procesos (CEP). Las herramientas básicas se pueden clasificar en dos tipos, aunque esta clasificación no es universal ni las limita a otras aplicaciones:

#### **1. Herramientas para medir y conocer procesos:**

- Hoja de Registro
- Histograma
- Gráfica de Control

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

### **2. Herramientas para análisis y solución de problemas:**

Diagrama de Pareto  
Diagrama de Ishikawa  
Estratificación  
Diagrama de Dispersión

#### **3.5.1 Hoja de Registro**

La hoja de registro es la más sencilla de las herramientas básicas de la estadística y se usa por sentido común, por lo que algunos autores afirman que no es una herramienta estadística básica.

De la definición de estadística (del latín status), una herramienta es estadística cuando sirve para conocer en qué estado se encuentra el proceso, y desde ese punto de vista la hoja de registro es estadística porque sirve para conocer el estado del proceso.

La hoja de registro consiste en una hoja de papel sin formato definido, se diseña según la necesidad, en la parte superior se anotan los parámetros del proceso (parámetros de máquina, de proveedor, de operario, etc.) y en el cuerpo de la hoja se anotan los registros de una inspección o de un muestreo para usarlos posteriormente.

El análisis más básico que existe de una hoja de registro es la observación, otro análisis más completo consiste en calcular el promedio y la desviación estándar de los datos, interpretarlos y tomar decisiones.

Los datos de la hoja de registro se pueden usar posteriormente para elaborar Histogramas o Diagramas de Pareto, también se pueden hacer cálculos de la habilidad de proceso. A continuación se muestra un ejemplo de hoja de registro para la característica de ppm de Flúor:

**CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

No. de batch	Fecha de producción	A. Chaire		LIE	LSE	R
		Match	ppm de nuder			
5561	6-Oct-01	1	989	850.0	1150.0	
5562	6-Oct-01	2	1023	850.0	1150.0	34
5563	6-Oct-01	3	994	850.0	1150.0	39
5564	6-Oct-01	4	1007	850.0	1150.0	23
5565	6-Oct-01	5	1022	850.0	1150.0	15
5566	6-Oct-01	6	1015	850.0	1150.0	7
5567	6-Oct-01	7	995	850.0	1150.0	20
5568	6-Oct-01	8	1020	850.0	1150.0	25
5569	6-Oct-01	9	1040	850.0	1150.0	20
5570	6-Oct-01	10	989	850.0	1150.0	51
5626	9-Oct-01	11	956	850.0	1150.0	33
5627	9-Oct-01	12	940	850.0	1150.0	16
5628	9-Oct-01	13	985	850.0	1150.0	45
5629	9-Oct-01	14	1001	850.0	1150.0	16
5630	9-Oct-01	15	996	850.0	1150.0	5
5631	9-Oct-01	16	1001	850.0	1150.0	5
5632	9-Oct-01	17	988	850.0	1150.0	3
5662	10-Oct-11	18	971	850.0	1150.0	27
5663	10-Oct-11	19	1015	850.0	1150.0	44
5664	10-Oct-11	20	994	850.0	1150.0	21
5667	13-Oct-01	21	949	850.0	1150.0	45
5668	13-Oct-01	22	962	850.0	1150.0	13
5669	13-Oct-01	23	913	850.0	1150.0	49
5690	13-Oct-01	24	917	850.0	1150.0	4
5740	17-Oct-01	25	1027	850.0	1150.0	110
5741	17-Oct-01	26	1009	850.0	1150.0	19
5742	17-Oct-01	27	1075	850.0	1150.0	66
5743	17-Oct-01	28	1044	850.0	1150.0	31
5744	17-Oct-01	29	1012	850.0	1150.0	32
5745	17-Oct-01	30	1012	850.0	1150.0	0
5746	17-Oct-01	31	1035	850.0	1150.0	23
5747	17-Oct-01	32	1058	850.0	1150.0	23
5762	18-Oct-01	33	1012	850.0	1150.0	46
5763	18-Oct-01	34	1044	850.0	1150.0	32
5764	18-Oct-01	35	1041	850.0	1150.0	3
5765	18-Oct-01	36	1099	850.0	1150.0	48
5766	18-Oct-01	37	1050	850.0	1150.0	39
5767	18-Oct-01	38	1063	850.0	1150.0	13
5768	18-Oct-01	39	1015	850.0	1150.0	48
		40		850.0	1150.0	
		41		850.0	1150.0	
		42		850.0	1150.0	
		43		850.0	1150.0	
		44		850.0	1150.0	
		45		850.0	1150.0	
<b>Promedio</b>			<b>1006.872</b>			<b>28.7</b>
<b>Desv. Stándar</b>			<b>25.476</b>			

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

**Donde:**

**LIE=** Límite inferior de especificación  
**LSE=** Límite superior de especificación  
**R=** Rango

Para realizar el análisis de una variable se obtiene un muestreo de datos, y con los resultados del muestreo se infiere el comportamiento de toda la población.

### **3.5.2 Histograma.**

Otra herramienta que se utiliza para el análisis de datos es una gráfica llamada histograma. Esta herramienta es más confiable que la hoja de registro, ya que como se verá en el ejemplo dado, proporciona gran información acerca del comportamiento de los datos estudiados. Para la elaboración de un histograma es necesario elaborar previamente una tabla de distribución de frecuencias, la cual se describe a continuación.

#### **Distribución de frecuencias.**

Si se registra un conjunto de datos en diferentes puntos del tiempo, y posteriormente se necesita analizar el comportamiento de la variable estudiada, la forma en que se distribuyeron los valores y otras cuestiones relacionadas con valores de la variable, es difícil realizar el análisis con solo observación de los datos. Para organizar los datos existe la técnica de distribución de frecuencias que es una tabla que agrupa a los datos en clases o intervalos para su observación y análisis.

Los pasos para elaborar una tabla de frecuencias y los beneficios que se obtienen al utilizar una de ellas se muestran en el siguiente ejemplo (la lista de datos utilizados en este ejemplo se muestran en el anexo I):

#### **Ejemplo:**

Supóngase que la empresa objeto de estudio desea conocer (con base en la lista de datos proporcionada en el anexo I):

- ¿Cuántos datos fueron menores a 950 ppm?
- ¿Cuántos datos estuvieron entre 950 y 1050 ppm?
- ¿Cuántos al menos fueron 930ppm?
- ¿Qué porcentajes representan las respuestas de las preguntas anteriores?
- Si las especificaciones técnicas son de 850 a 1150 ppm ¿Qué porcentaje de datos estuvo dentro de la especificación?

**Primer paso.-** Calcular el rango **R** de los datos restando el valor menor al valor mayor:

Para nuestros datos el rango es  $R = V_M - V_m = 1082 - 905 = 177$

**CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

**Segundo paso.**- Determinar el valor de  $k$ , que es el número de clases en que se desea clasificar a los datos. No existe una fórmula exacta para determinar  $k$ , algunos autores de estadística proponen a  $k$  como la raíz cuadrada de  $n$ , redondeada a enteros, Ishikawa propone la siguiente tabla (de tal manera que se formen entre 5 y 20 clases):

$n$ = número de datos	$k$ = número de clases
Menor de 50	5 a 7
50 a 100	6 a 10
100 a 250	7 a 12
Mayor a 250	10 a 20

Como el número de datos es mayor a 250, el número de clases que se seleccionó fue 20.

**Tercer paso.** Determinar la amplitud  $A$  de las clases, dividiendo  $R/k$  y redondeando el resultado a la cifra siguiente mayor,  $A$  debe tener el mismo valor de cifras decimales que los datos originales.

Para el ejemplo  $R/k = 177/20 = 8.85$ , y como los datos no tienen ninguna cifra decimal, la amplitud se redondea a **9**.

A continuación se muestra el valor de la amplitud para datos que tienen diferente números de decimales:

Si los datos originales y $R/k$ son los siguientes:	Amplitud:
0.002, 0.005, 0.009, 0.007, etc. y $R/k = 0.0038$	$A = 0.004$
455, 403, 496, 465, 427, etc. y $R/k = 15.0132$	$A = 16$
9.45, 9.16, 8.95, 9.36, 9.72, etc. y $R/k = 3.164$	$A = 3.17$

**Cuarto paso.** Obtener la frontera o **límite inferior** de la primera clase con la fórmula:

$$F_1 = V_m - u/2$$

Donde  $V_m$  = valor menor de los datos originales y  $u$  es la unidad de los mismos según la siguiente tabla:

Cifras decimales de los datos originales	Valor de $u$
x	1
x.x	0.1
x.xx	0.01
x.xxx	0.001
x.xxxx	0.0001

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

Los valores de  $V_m$  y  $u$  para el ejemplo son 905 y 1 respectivamente y por lo tanto:

$$F_i = 905 - (1/2) = 904.5$$

**Quinto paso.** Determinar las **fronteras de clase** o límites reales de clase, inferiores  $F_i$  y superiores  $F_s$ , para todas las clases de acuerdo a las fórmulas:

$$F_{S(i)} = F_{I(i)} + A$$

$$F_{I(i+1)} = F_{S(i)}$$

El cálculo para las primeras fronteras de clase queda de la siguiente manera:

$$F_{I(1)} = 904.5 \text{ (Ver cuarto paso)}$$

$$A = 9 \text{ (Ver tercer paso)}$$

$$F_{S(1)} = F_{I(1)} + A$$

$$F_{S(1)} = 904.5 + 9$$

$$F_{S(1)} = 913.5$$

En la siguiente tabla se muestran los resultados del ejemplo:

Clase	$F_i - F_s$
1	904.5 - 913.5
2	913.5 - 922.5
3	922.5 - 931.5
4	931.5 - 940.5
5	940.5 - 949.5
6	949.5 - 958.5
7	958.5 - 967.5
8	967.5 - 976.5
9	976.5 - 985.5
10	985.5 - 994.5
11	994.5 - 1003.5
12	1003.5 - 1012.5
13	1012.5 - 1021.5
14	1021.5 - 1030.5
15	1030.5 - 1039.5
16	1039.5 - 1048.5
17	1048.5 - 1057.5
18	1057.5 - 1066.5
19	1066.5 - 1075.5
20	1075.5 - 1084.5

TEXTO CON  
FALLA DE ORIGEN

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

Se deben calcular  $F_i$  y  $F_s$  hasta incluir el valor mayor de los datos ( $V_M$ ), en el presente caso 1082.

**Sexto paso.** Calcular la **marca** o punto medio  $mi$  para cada clase, como el promedio de las fronteras de clase con la siguiente fórmula:

$$mi = [F_i + F_s] / 2$$

Los valores de  $mi$  para el ejemplo son:

Clase	$F_i - F_s$	$mi$
1	904.5 - 913.5	909
2	913.5 - 922.5	918
3	922.5 - 931.5	927
4	931.5 - 940.5	936
5	940.5 - 949.5	945
6	949.5 - 958.5	954
7	958.5 - 967.5	963
8	967.5 - 976.5	972
9	976.5 - 985.5	981
10	985.5 - 994.5	990
11	994.5 - 1003.5	999
12	1003.5 - 1012.5	1008
13	1012.5 - 1021.5	1017
14	1021.5 - 1030.5	1026
15	1030.5 - 1039.5	1035
16	1039.5 - 1048.5	1044
17	1048.5 - 1057.5	1053
18	1057.5 - 1066.5	1062
19	1066.5 - 1075.5	1071
20	1075.5 - 1084.5	1080

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Séptimo paso.** Determinar por conteo la cantidad de datos que se ubican en cada clase, a este número se le conoce con el nombre de **frecuencia absoluta de clase**  $f_i$ .

En la siguiente tabla se muestran los resultados del ejemplo:

Clase	$F_i - F_s$	$mi$	$f_i$
1	904.5 - 913.5	909	4
2	913.5 - 922.5	918	9
3	922.5 - 931.5	927	11
4	931.5 - 940.5	936	19
5	940.5 - 949.5	945	25
6	949.5 - 958.5	954	57
7	958.5 - 967.5	963	55
8	967.5 - 976.5	972	99

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

9	976.5 - 985.5	981	103
10	985.5 - 994.5	990	104
11	994.5 - 1003.5	999	85
12	1003.5 - 1012.5	1008	69
13	1012.5 - 1021.5	1017	57
14	1021.5 - 1030.5	1026	25
15	1030.5 - 1039.5	1035	12
16	1039.5 - 1048.5	1044	13
17	1048.5 - 1057.5	1053	14
18	1057.5 - 1066.5	1062	2
19	1066.5 - 1075.5	1071	1
20	1075.5 - 1084.5	1080	1
			765

La suma de las frecuencias absolutas debe ser igual al valor de  $n$ , si la suma es diferente significa que existe un error en los conteos o en la suma, y se debe identificar y corregir. La suma se registra al final de la columna de  $f_i$ .

A esta tabla se le llama distribución de frecuencias porque "reporta" como se distribuyen los datos en cada clase.

**Octavo paso.** Agregar una columna con los porcentajes o frecuencias relativas  $f_R\%$  de cada clase respecto al total de los datos  $n$ . El cálculo se realiza con la siguiente fórmula:

$$f_R \% = (f_i/n) * 100\%$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La tabla resultante es la siguiente:

Clase	$F_i - F_s$	$m_i$	$f_i$	$f_R$
1	904.5 - 913.5	909	4	0.52
2	913.5 - 922.5	918	9	1.18
3	922.5 - 931.5	927	11	1.44
4	931.5 - 940.5	936	19	2.48
5	940.5 - 949.5	945	25	3.27
6	949.5 - 958.5	954	57	7.45
7	958.5 - 967.5	963	55	7.19
8	967.5 - 976.5	972	99	12.94
9	976.5 - 985.5	981	103	13.46
10	985.5 - 994.5	990	104	13.59
11	994.5 - 1003.5	999	85	11.11
12	1003.5 - 1012.5	1008	69	9.02
13	1012.5 - 1021.5	1017	57	7.45
14	1021.5 - 1030.5	1026	25	3.27
15	1030.5 - 1039.5	1035	12	1.57
16	1039.5 - 1048.5	1044	13	1.70

**CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

17	1048.5 - 1057.5	1053	14	1.83
18	1057.5 - 1066.5	1062	2	0.26
19	1066.5 - 1075.5	1071	1	0.13
20	1075.5 - 1084.5	1080	1	0.13
			765	100%

Las frecuencias relativas sirven para poder responder interrogantes con porcentajes, que es una medida estandarizada de reportar resultados.

**Noveno paso.** Calcular las frecuencias absolutas acumuladas  $F_i$ , que es una columna que acumula los valores de las frecuencias  $f_i$ . Las frecuencias acumuladas sirven frecuentemente para identificar la proporción de datos por arriba de algún valor dado, por ejemplo una tolerancia inferior, o por debajo de algún otro valor, por ejemplo una tolerancia superior.

La fórmula de las frecuencias absolutas acumuladas es la siguiente:

$$F_i = f_1 + f_2 + f_3 + \dots + \Sigma f_i$$

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Para nuestro ejemplo tenemos:

Clase	$F_i - F_s$	$m_i$	$f_i$	$f_r$	$F_i$
1	904.5 - 913.5	909	4	0.52	4
2	913.5 - 922.5	918	9	1.18	13
3	922.5 - 931.5	927	11	1.44	24
4	931.5 - 940.5	936	19	2.48	43
5	940.5 - 949.5	945	25	3.27	68
6	949.5 - 958.5	954	57	7.45	125
7	958.5 - 967.5	963	55	7.19	180
8	967.5 - 976.5	972	99	12.94	279
9	976.5 - 985.5	981	103	13.46	382
10	985.5 - 994.5	990	104	13.59	486
11	994.5 - 1003.5	999	85	11.11	571
12	1003.5 - 1012.5	1008	69	9.02	640
13	1012.5 - 1021.5	1017	57	7.45	697
14	1021.5 - 1030.5	1026	25	3.27	722
15	1030.5 - 1039.5	1035	12	1.57	734
16	1039.5 - 1048.5	1044	13	1.70	747
17	1048.5 - 1057.5	1053	14	1.83	761
18	1057.5 - 1066.5	1062	2	0.26	763
19	1066.5 - 1075.5	1071	1	0.13	764
20	1075.5 - 1084.5	1080	1	0.13	765
			765	100%	

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

**Décimo paso.** Agregar una columna con los porcentajes o frecuencias relativas acumuladas  $F_A\%$  de cada clase respecto al total de los datos  $n$ . El cálculo se realiza con la siguiente fórmula:

$$F_A\% = (F_i/n) * 100$$

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Para el ejemplo, los resultados son los siguientes:

Clase	$F_i - F_s$	$m_i$	$f_i$	$f_n\%$	$F_i$	$F_A\%$
1	904.5 - 913.5	909	4	0.52	4	0.52
2	913.5 - 922.5	918	9	1.18	13	1.70
3	922.5 - 931.5	927	11	1.44	24	3.14
4	931.5 - 940.5	936	19	2.48	43	5.62
5	940.5 - 949.5	945	25	3.27	68	8.89
6	949.5 - 958.5	954	57	7.45	125	16.34
7	958.5 - 967.5	963	55	7.19	180	23.53
8	967.5 - 976.5	972	99	12.94	279	36.47
9	976.5 - 985.5	981	103	13.46	382	49.93
10	985.5 - 994.5	990	104	13.59	486	63.52
11	994.5 - 1003.5	999	85	11.11	571	74.63
12	1003.5 - 1012.5	1008	69	9.02	640	83.65
13	1012.5 - 1021.5	1017	57	7.45	697	91.11
14	1021.5 - 1030.5	1026	25	3.27	722	94.37
15	1030.5 - 1039.5	1035	12	1.57	734	95.94
16	1039.5 - 1048.5	1044	13	1.70	747	97.64
17	1048.5 - 1057.5	1053	14	1.83	761	99.47
18	1057.5 - 1066.5	1062	2	0.26	763	99.74
19	1066.5 - 1075.5	1071	1	0.13	764	99.87
20	1075.5 - 1084.5	1080	1	0.13	765	100.00
			765	100%		

### **Histograma, Polígono de Frecuencias y Ojiva.**

Es conveniente convertir la información de las distribuciones de frecuencias a un modo gráfico, esto tiene al menos las siguientes ventajas:

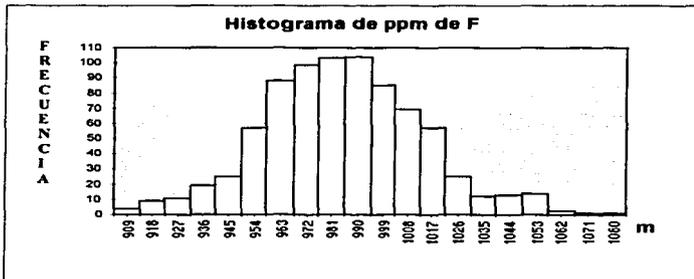
- 1) Las gráficas son más rápidas y fáciles de visualizar.
- 2) Con las gráficas se reduce la dificultad de interpretación.
- 3) Los métodos gráficos "absorben" o minimizan las diferencias por cifras decimales empleadas o algunos errores pequeños de cálculo, y las conclusiones son correctas a pesar de estas diferencias o errores.

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

Un histograma es la representación gráfica de los valores de una variable durante un período de tiempo determinado. El histograma es un diagrama de barras o rectángulos, en la escala horizontal se grafica a la variable bajo estudio, cada barra representa una clase, el ancho de los rectángulos es igual a la amplitud  $A$  de las clases, y la altura de los rectángulos es igual a la frecuencia de cada clase.

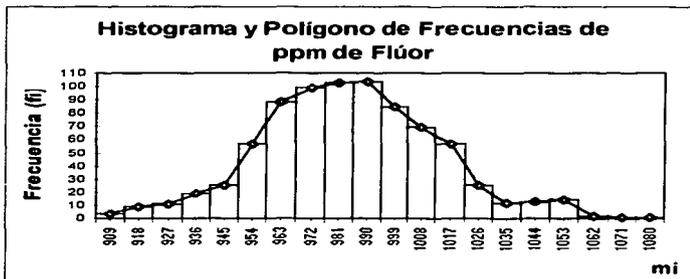
A continuación se muestra el histograma correspondiente para las ppm de F:

Figura 3.5.1 Histograma de ppm de flúor



Algunos autores proponen completar el histograma con una línea que "toca" el punto medio de cada clase, esta línea se llama polígono de frecuencias y es otra forma de mostrar la figura.

Figura 3.5.2 Polígono de frecuencias de ppm de flúor.



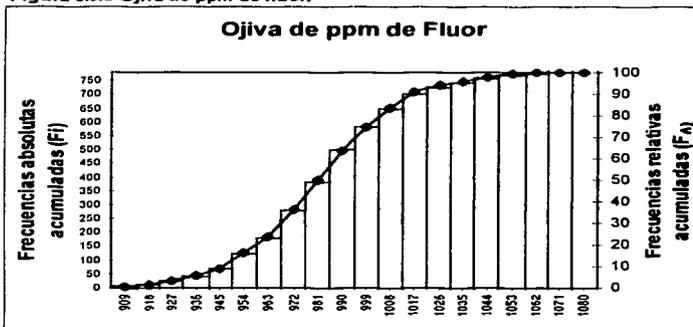
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

Una Ojiva es una gráfica que muestra el comportamiento de una variable en un periodo de tiempo, pero grafica las frecuencias acumuladas  $F_i$  y  $FA\%$  en lugar de  $f_i$  y  $f_n\%$ .

Existe información que los histogramas no pueden indicar, como por ejemplo la última pregunta del ejercicio, por lo que la ojiva complementa al histograma en este punto.

Figura 3.5.3 Ojiva de ppm de flúor.



### Respuestas a las preguntas del ejercicio:

- ¿Cuántos datos fueron menores a 950 ppm?  
R=68
- ¿Cuántos datos estuvieron entre 950 y 1050 ppm?  
R=686
- ¿Cuántos al menos fueron 930ppm?  
R=742
- ¿Qué porcentajes representan las respuestas de las preguntas anteriores?  
R=8.9%,89.67%, y 97% respectivamente.
- Si las especificaciones técnicas son de 850 a 1150 ppm ¿Qué porcentaje de datos estuvo dentro de la especificación?  
R=765 lo que significa que todos nuestros datos estuvieron dentro de especificación.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### Aplicación del Histograma

El histograma puede utilizarse para tres interpretaciones diferentes:

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

1. Conocer el comportamiento general de una característica de calidad en el proceso, como por ejemplo el promedio, además de contestar preguntas como las del ejercicio. El punto importante de esta interpretación es que los valores y las conclusiones no corresponden sólo a la muestra tomada, sino que, con base en la muestra y usando el histograma para una análisis exploratorio, permite hacer inferencias de la población donde la muestra fue tomada. En este caso permite suponer que la población se comporta normalmente<sup>1</sup>.
2. Investigar fuentes de variación a través de identificar si los datos provienen de dos poblaciones diferentes.
3. Identificar cuándo existen problemas de calidad, si se elaboran periódicamente histogramas, por ejemplo, una vez al mes, a la semana, por lote, etc. Por ejemplo, si se observa que la característica a través de los meses se comporta en forma de campana, y en un cierto mes tiene una figura diferente o la campana se corre de la media, se deduce que ocurrió un cambio o algún evento en el proceso y se debe usar el sentido común y la experiencia para saber lo que ocurrió.

### **3.5.3 Gráficas de Control**

#### **Generalidades de las gráficas de control estadístico**

Una gráfica de control estadístico es una comparación gráfica, de los datos de desempeño del proceso con los "límites de control estadístico" calculados, dibujados como rectas limitantes sobre la gráfica.

La gráfica de control es una herramienta con una confiabilidad del 99.73% (con límites de control a  $\pm 3\sigma$ ), que realiza la más elemental función de la estadística: da a conocer el estado del proceso en un momento del tiempo, se apoya en una filosofía de calidad orientada a satisfacer al cliente, el autocontrol de las personas, a la prevención en lugar de la detección y al mejoramiento continuo.

#### **Información que proporciona la gráfica de control:**

- El estado de control o descontrol del proceso.
- El comportamiento del proceso a través del tiempo.
- El promedio de la característica de calidad.
- La dispersión de la característica de calidad.
- El comportamiento del proceso relativo a la normalidad gaussiana (estabilidad del proceso).
- El comportamiento del proceso relativo a las especificaciones (habilidad del proceso).

<sup>1</sup> Ver sección 3.6 "La Distribución Normal"

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

### **Gráficos de Control $\bar{X}$ y R**

**Objetivos a conseguir de los gráficos de control.** En general, cuando se implantan los gráficos de control de variables, tanto  $\bar{X}$  y R como  $\bar{X}$  y  $\sigma$  se logran todos o algunos de los siguientes propósitos:

- ❖ Proporcionar un criterio para la toma de decisiones de carácter general en el transcurso de la producción, indicando cuando hay que buscar causas de variación, y actuar para poder corregirlas, o cuando hay que dejar que el proceso continúe libremente.
- ❖ Asegurar una información para el establecimiento o cambio de especificaciones, o bien, para determinar si un proceso puede cumplir ciertas especificaciones.
- ❖ Asegurar una información para el establecimiento o cambio de los métodos de producción. Tales cambios pueden ser motivados, bien por la eliminación de causas atribuibles de variación, o bien por la necesidad de introducir nuevos métodos de producción debido a que el gráfico de control indique que los métodos originales no pueden cumplir con las especificaciones.
- ❖ Proporcionar un criterio para la toma de decisiones de carácter general, con respecto a la aceptación o al rechazo de productos fabricados o comprados.

Una gráfica de control detecta la presencia de una causa especial pero no encuentra la causa —esa tarea debe manejarse en una investigación subsecuente del proceso—.

### **Pasos para establecer una gráfica de control $\bar{X}$ y R**

Establecer una gráfica de control requiere los siguientes pasos:

1. **Elección de la variable que debe graficarse.**- La variable que se elija para los gráficos de control  $\bar{X}$  y R, tiene que ser una magnitud que pueda medirse y expresarse con números. El criterio de elección se basa siempre en el aspecto de reducir o evitar los costos. Desde el punto de vista de la reducción de costos de producción, cualquier característica de calidad que provoque rechazos o recuperaciones onerosas constituye un firme candidato para el gráfico de control. Un análisis de Pareto puede establecer las prioridades.
2. **Elección del criterio de formación de subgrupos (k).**- La idea clave del método de Shewhart consiste en repartir las observaciones en lo que Shewhart llamó subgrupos racionales. Hablando en términos generales, los subgrupos deberían elegirse de forma que fueran lo más homogéneos posible, y que de uno a otro permitieran la máxima variación. Aplicado a los gráficos de control de producción, esto significa que es de vital importancia

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

no perder de vista el orden de las operaciones de producción. Un subgrupo debe estar formado por elementos que estén fabricados lo más cercanos posible en el tiempo; el siguiente subgrupo, por elementos fabricados posteriormente también en un corto espacio de tiempo, y así en forma sucesiva.

- ❖ **Elección del tamaño y frecuencia de los subgrupos.-** Shewhart sugirió que cuatro elementos era el tamaño ideal del subgrupo. En la aplicación industrial del gráfico de control, el tamaño más comúnmente usado es cinco. Siguiendo la idea fundamental del gráfico de control de seleccionar los subgrupos de forma que la variación dentro de los mismos sea mínima, es conveniente que estos subgrupos sean lo más pequeños posible.
- ❖ **Determinación del número de subgrupos necesarios.-** En el terreno estadístico, es conveniente que los límites de control se establezcan en base a, por lo menos, 25 subgrupos. Además, la experiencia indica que cuando se inicia un gráfico de control, los primeros subgrupos pueden no ser representativos; por esta razón, si se pueden obtener 25 subgrupos en poco tiempo, es conveniente esperar a tener estos 25 o más.

**3. Decidir la línea central que debe usarse y la base para calcular los límites.** La línea central puede ser el promedio de los datos históricos, o puede ser el promedio deseado. Estos límites por lo general se establecen a  $\pm 3$  desviaciones estándar pero se pueden elegir otros múltiplos con riesgos estadísticos diferentes<sup>2</sup>.

**4. Proporcionar un sistema de recolección de datos.** Si la gráfica de control ha de servir como una herramienta cotidiana en la planta, debe ser sencilla y conveniente en su uso. La medición se debe simplificar y mantener sin errores. Deben diseñarse instrumentos indicativos para dar lecturas confiables y a tiempo.

**5. Calcular los límites de control y proporcionar instrucciones específicas sobre la interpretación de los resultados y las acciones que debe tomar cada persona en producción.** Las fórmulas abreviadas para los límites de control sobre los promedios muestrales son:

$$\text{Límite de control superior} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$$

$$\text{Límite de control inferior} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

<sup>2</sup> Cuando se emplean límites 3-sigma, existe un gran margen de confianza de que los puntos que caen fuera de control realmente pertenezcan a causas atribuibles de variación, además de que estos límites proporcionan un balance económico entre la capacidad del proceso para cumplir especificaciones y el número de artículos que no cumplen con las especificaciones que pueden ser aceptados.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

Donde:

$\bar{\bar{X}}$  = gran promedio = promedio de los promedios muestrales

$\bar{R}$  = promedio de los rangos muestrales

$A_2$  = constante encontrada en la tabla del anexo II

El cálculo de los límites de control de rangos se lleva a cabo mediante los siguientes pasos:

- 1) calcular, para cada muestra, el rango (diferencia entre el valor mayor y el menor) de las observaciones individuales;
- 2) promediar los rangos obtenidos; y
- 3) multiplicar el rango promedio por un factor de conversión para obtener la distancia del promedio esperado al límite. La recta central es simplemente el promedio de todas las observaciones individuales.

Las fórmulas abreviadas para los límites de control sobre los rangos muestrales son:

$$LSC_{(R)} = D_4 \bar{R}$$

$$LIC_{(R)} = D_3 \bar{R}$$

Donde  $D_3$  y  $D_4$  son constantes encontradas en la tabla del anexo II.

**6. Graficar los datos e interpretar los resultados.** La gráfica de control es un concepto estadístico poderoso, pero su uso debe mantenerse en perspectiva. El propósito final de un proceso de manufactura es hacer un producto adecuado para el uso —no un producto que simplemente cumpla con los límites de control—. Una vez que las gráficas se usan, deben hacerse a un lado y el esfuerzo debe dirigirse a otras características que necesiten mejorar.

### **Ejemplo:**

Calcular y graficar los límites de control para las siguientes listas de valores de peso específico de la crema dental en estudio (obtenidos por un operario de manufactura), con el fin de conocer el estado de nuestro proceso:

Datos:

PESO ESPECÍFICO	MA														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
PE1	1.526	1.526	1.520	1.520	1.518	1.524	1.521	1.526	1.528	1.522	1.523	1.519	1.527	1.523	1.526
PE2	1.527	1.525	1.514	1.522	1.523	1.523	1.521	1.521	1.529	1.516	1.523	1.529	1.529	1.516	1.528
PE3	1.525	1.520	1.519	1.521	1.525	1.517	1.526	1.526	1.525	1.512	1.519	1.523	1.526	1.524	1.528
PE4	1.523	1.514	1.519	1.521	1.523	1.512	1.524	1.527	1.525	1.526	1.517	1.530	1.527	1.524	1.524
PE5	1.527	1.522	1.517	1.519	1.525	1.520	1.525	1.522	1.525	1.524	1.526	1.525	1.516	1.514	1.524
PE6	1.526	1.517	1.521	1.516	1.524	1.518	1.526	1.526	1.525	1.516	1.522	1.527	1.517	1.519	1.528
PE7	1.526	1.515	1.522	1.518	1.518	1.523	1.527	1.527	1.519	1.523	1.526	1.525	1.515	1.512	1.526
SUMA	10.680	10.629	10.632	10.637	10.626	10.637	10.670	10.675	10.678	10.620	10.683	10.670	10.660	10.632	10.684
PROMEDIO	1.526	1.520	1.518	1.520	1.522	1.520	1.524	1.525	1.525	1.520	1.524	1.525	1.523	1.518	1.526
RANGO	0.004	0.012	0.006	0.006	0.007	0.012	0.006	0.006	0.010	0.016	0.015	0.011	0.016	0.012	0.004

PESO ESPECÍFICO	MA														
	15	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
PE1	1.519	1.526	1.519	1.519	1.524	1.521	1.525	1.515	1.518	1.525	1.513	1.515	1.516	1.524	1.523
PE2	1.526	1.526	1.521	1.522	1.526	1.525	1.519	1.513	1.529	1.524	1.525	1.527	1.525	1.519	1.526
PE3	1.526	1.524	1.524	1.522	1.529	1.527	1.517	1.519	1.524	1.522	1.526	1.524	1.519	1.527	1.527
PE4	1.527	1.523	1.529	1.530	1.527	1.520	1.524	1.520	1.524	1.525	1.520	1.525	1.513	1.530	1.527
PE5	1.525	1.521	1.523	1.524	1.525	1.526	1.518	1.516	1.530	1.519	1.518	1.524	1.520	1.526	1.527
PE6	1.525	1.520	1.519	1.526	1.524	1.529	1.527	1.527	1.531	1.515	1.515	1.530	1.526	1.527	1.518
PE7	1.527	1.522	1.527	1.523	1.526	1.529	1.515	1.522	1.527	1.513	1.518	1.523	1.512	1.527	1.525
SUMA	10.677	10.664	10.662	10.667	10.683	10.677	10.646	10.632	10.683	10.643	10.637	10.660	10.631	10.680	10.675
PROMEDIO	1.525	1.523	1.523	1.524	1.526	1.525	1.521	1.519	1.526	1.520	1.526	1.524	1.519	1.526	1.525
RANGO	0.009	0.006	0.010	0.012	0.004	0.009	0.012	0.016	0.013	0.012	0.015	0.015	0.016	0.011	0.010

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**FALTA  
PAGINA**

**55**

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

### ⇒ Cálculo del promedio de promedios y promedio de los rangos:

$$\bar{\bar{X}} = (1.526 + 1.520 + 1.519 + 1.520 + 1.522 + 1.520 + 1.524 + 1.525 + 1.525 + 1.520 + 1.524 + 1.525 + 1.523 + 1.519 + 1.526 + 1.525 + 1.523 + 1.524 + 1.526 + 1.525 + 1.521 + 1.519 + 1.526 + 1.520 + 1.520 + 1.524 + 1.519 + 1.526 + 1.525) / 30$$

$$\bar{\bar{X}} = 1.5228$$

$$\bar{R} = (0.004 + 0.012 + 0.008 + 0.006 + 0.007 + 0.012 + 0.006 + 0.006 + 0.010 + 0.014 + 0.015 + 0.011 + 0.014 + 0.012 + 0.004 + 0.009 + 0.008 + 0.010 + 0.012 + 0.004 + 0.009 + 0.012 + 0.014 + 0.013 + 0.012 + 0.015 + 0.015 + 0.014 + 0.011 + 0.010) / 30$$

$$\bar{R} = 0.0103$$

### ⇒ Cálculo de los límites de control inferior y superior para promedios y rangos:

Datos<sup>(3)</sup>:

$n$  (número de datos en un subgrupo) = 7 <sup>(4)</sup>

$k$  (número de subgrupos) = 30

$A_2 = 0.4193$

$D_3 = 0.0758$

$D_4 = 1.9242$

$$LIC_{(\bar{X})} = 1.5228 - (0.4193 \cdot 0.0103)$$

$$LIC_{(X)} = 1.5185$$

$$LSC_{(\bar{X})} = 1.5228 + (0.4193 \cdot 0.0103)$$

$$LSC_{(X)} = 1.5271$$

$$LIC_{(R)} = 0.0758 \cdot 0.0103$$

$$LIC_{(R)} = 0.0008$$

$$LSC_{(R)} = 1.9242 \cdot 0.0103$$

$$LSC_{(R)} = 0.0198$$

<sup>3</sup> Ver valores  $A_2$ ,  $D_3$  y  $D_4$  en anexo II para  $n$  (número de datos en cada subgrupo) igual a 7.

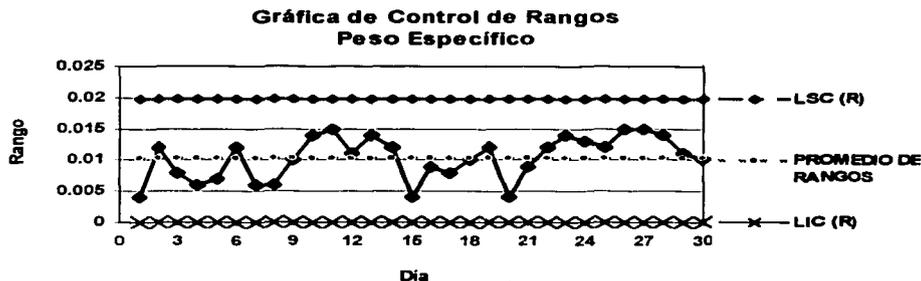
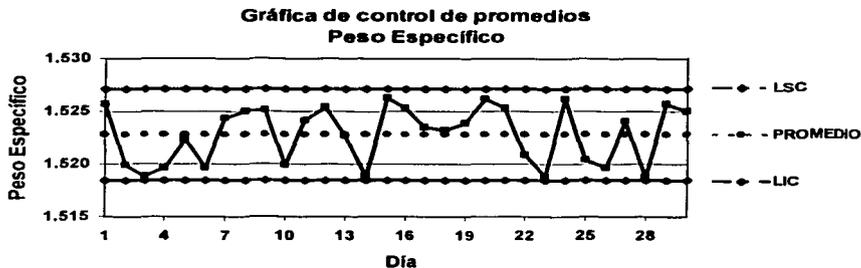
<sup>4</sup> Se eligió  $n=7$  ya que es el número de cargas promedio, de este tipo de crema, que se manufacturan en un día.

**FALTA  
PAGINA**

**57**

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

- Las gráficas de control para promedios y rangos del ejemplo se muestran a continuación:



- Interpretación de los resultados:

Como se puede observar en las gráficas, todos los valores se encuentran dentro de los límites de control y, aunque en la gráfica de control de peso específico hay valores muy cercanos al límite inferior, estos aún son mayores que éste límite, por lo tanto, se puede concluir que los valores de peso específico obtenidos por este operario se encuentran en control estadístico.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

### **Gráfico de control para atributos**

A pesar de las ventajas de los gráficos  $\bar{X}$  y  $R$ , como instrumentos para diagnosticar los problemas de calidad y como medio para detectar fuentes de problemas, es evidente que su empleo se limita únicamente a la pequeña fracción de características que pueden medirse y expresarse mediante números. Muchas otras características de calidad sólo pueden observarse como atributos, es decir, clasificando cada elemento inspeccionado en una de dos clases, dentro o fuera de especificaciones. Las gráficas para atributos se utilizan cuando:

- ❖ la característica de calidad es sensorial (apariencia, olor, sabor, etc.), la factibilidad de medir a través de rangos continuos se reduce o desaparece, y en estos casos una persona experta debe realizar la medición.
- ❖ la característica de calidad es dimensional y su medición es muy complicada, como distancia entre centros de dos diámetros o como concinidad, donde un calibrador pasa-no pasa es lo más indicado.
- ❖ Se usan también los atributos en todas las situaciones en donde la variable es el resultado de un conteo visual.

Hay varios tipos de gráficos de control que pueden utilizarse cuando la característica a estudiar no puede expresarse en números, estos son <sup>(5)</sup>:

1. **Gráfico p**, el gráfico para la fracción rechazada que no se ajusta a las especificaciones,
2. **Gráfico np**, gráfico de control para número de artículos fuera de especificación,
3. **Gráfico c**, gráfico de control para el número de defectos y,
4. **Gráfico u**, gráfico de control para el número de defectos por unidad.

### **Gráfica de Control para la fracción rechazada, p**

El gráfico de control por atributos más versátil y más ampliamente utilizado es el gráfico *p*. Este gráfico puede aplicarse a características de calidad consideradas como atributos, incluyendo aquellas que podrían medirse como variables; por ejemplo, dimensiones verificadas mediante calibradores "pasa-no pasa".

Como el resultado de una inspección consiste simplemente en clasificar un artículo como aceptado o rechazado, un gráfico *p* sencillo puede aplicarse a una característica de calidad, a una docena o a un centenar.

La *fracción rechazada*, *p*, puede definirse como la relación entre el número de artículos fuera de especificación encontrados en una inspección o en una serie de

---

<sup>5</sup> En este trabajo solo se realizan ejemplos para los gráficos *p* y *c*. Los gráficos *np* y *u* se realizan de forma similar a los anteriores, utilizando la fórmulas proporcionadas.

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

inspecciones, y la cantidad total de artículos producidos. La fracción rechazada se expresa como una fracción decimal. El *porcentaje rechazado* es  $100p$ , es decir, 100 veces la fracción rechazada.

### **Objetivos a conseguir con el gráfico $p$**

Un gráfico de control de la fracción rechazada puede cumplir todos o alguno de los objetivos siguientes:

- Averiguar, después de un cierto periodo de tiempo, la proporción media de artículos o piezas defectuosas sometidas a inspección.
- Poner a la atención de la dirección cualquier cambio en el nivel medio de la calidad.
- Descubrir aquellos puntos fuera de control que requieran una acción para identificar y corregir las causas de mala calidad.
- Descubrir aquellos puntos fuera de control que indican modelos de inspección relajados o causas irregulares de mejora de calidad que podrían convertirse en causas de mejora de calidad consistentes

### **Pasos a seguir para la elaboración de un gráfico $p$**

Los pasos a seguir para la elaboración de un gráfico  $p$  son los mismos que se utilizan para elaborar un gráfico  $\bar{X}$  y R, utilizando las siguientes fórmulas para el cálculo de los límites de control:

$$p = \frac{X}{n}$$

$$\bar{p} = \frac{\sum X}{\sum n}$$

$$\% \bar{p} = \left( \frac{\sum X}{\sum n} \right) * 100$$

$$LIC_p = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$$

$$LSC_p = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$$

donde:

$p$  = Fracción Rechazada

$X$  = Número de piezas defectuosas encontradas en una inspección.

$n$  = Número de piezas producidas en el periodo de tiempo establecido para cada una de las inspecciones.

$\bar{p}$  = Promedio total

**FALTA  
PAGINA**

**61**

**Ejemplo:** A continuación se anexa una tabla con datos de producción y número de unidades defectuosas (tubos descentrados, tubos con sello deficiente y/o tapas flojas), detectadas a diferentes horas durante un día de producción. Elaborar la gráfica  $p$  correspondiente.

**Datos:**

hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
n-Producción	6420	6150	6430	7030	6000	6480	7040	7020	7730	6570	6770	7070	7530	7030	7770	6200	7060	6220	6980	7300	6610	7720	6360	6700
X=número de defectuosas	4	6	8	8	5	8	3	7	7	7	6	6	5	9	5	7	6	7	6	5	5	6	4	8
Porcentaje de Defectuosas	0.06%	0.10%	0.09%	0.11%	0.08%	0.12%	0.04%	0.09%	0.09%	0.10%	0.09%	0.08%	0.07%	0.11%	0.06%	0.09%	0.08%	0.11%	0.09%	0.07%	0.08%	0.08%	0.06%	0.12%

➤ **Cálculo de los límites de control:**

A continuación se muestra el cálculo de los límites de control de los primeros dos datos, el resto de los límites se muestra en la tabla 3.5.3.1.

$$\sum X = 148$$

$$\sum n = 172180$$

$$\bar{p} = 148 / 172180 = 0.00086^{(6)}$$

$$LIC_{(1)} = 0.00086 - 3 \sqrt{\frac{0.00086(1-0.00086)}{6420}} = -0.000238(100) = -0.238\%$$

$$LSC_{(1)} = 0.00086 + 3 \sqrt{\frac{0.00086(1-0.00086)}{6420}} = 0.001954(100) = 0.1954\%$$

**TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN**

<sup>6</sup> Los cálculos de esta sección se realizaron con 5 decimales ya que los valores obtenidos son muy pequeños.

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

Nota: En este caso sólo se tiene *Límite Superior de Control*, ya que el cálculo del *Límite Inferior de Control* da como resultado un número negativo y en estos casos, el límite inferior se toma como cero.

Tabla 3.5.3.1 Resultados del cálculo de límites de control (los valores fueron redondeados hasta dos dígitos para facilitar la elaboración de la gráfica).

hora	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
n=Producción	6400	6150	6400	7090	6800	6490	7840	7690	7750	6970	6770	7970	7500	7830	7770	8200	7060	6220	6890	7300	6610	7720	6360	6780
X= nº número de defectuosos	4	6	8	8	5	6	3	7	7	7	6	6	5	9	5	7	6	7	6	5	5	6	4	8
Porcentaje de Defectuosos	0.06%	0.10%	0.09%	0.11%	0.08%	0.12%	0.04%	0.09%	0.09%	0.10%	0.09%	0.08%	0.07%	0.11%	0.06%	0.09%	0.06%	0.11%	0.09%	0.07%	0.08%	0.08%	0.06%	0.12%
UCL=	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
LSC=	0.20%	0.20%	0.18%	0.19%	0.23%	0.23%	0.15%	0.16%	0.19%	0.19%	0.13%	0.18%	0.15%	0.19%	0.19%	0.16%	0.19%	0.22%	0.19%	0.19%	0.19%	0.20%	0.13%	0.13%

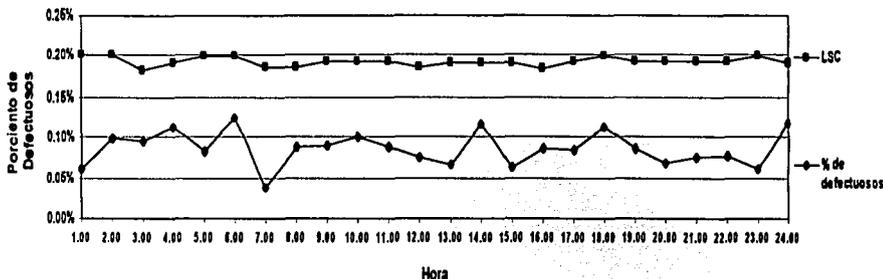
⇒ Cálculo del porcentaje promedio de defectuosos:

$$\% \bar{p} = (148/172180) * 100 = 0.086\%$$

⇒ La gráfica de control,  $\bar{p}$ , correspondiente se muestra a continuación:

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**Gráfica de control  $\bar{p}$**



## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

- ⇒ **Interpretación de los resultados:** Como se puede observar, los datos se encuentran dentro de los límites, por lo tanto, es posible concluir que durante este día de producción, el proceso se encontró bajo control.

En la gráfica de control  $p$ , aún con los límites individuales, continúa siendo válido el investigar patrones anormales de inestabilidad, así como puntos fuera de control.

### **Gráfica de control $np$**

La gráfica  $p$  es la más conocida de las gráficas de atributos, sin embargo, no existe una necesidad de muestrear un tamaño de muestra variable (aún cuando se inspecciona al 100%), para efectos de gráfica, se puede muestrear una cantidad constante ( $n$ =constante). Los usos y objetivos de la gráfica  $np$  son similares a la gráfica  $p$ , con la excepción de que en la  $p$  se grafica el número de piezas malas. La recomendación del tamaño de muestra es la misma que en la gráfica  $p$  ( $n>30$ )<sup>7</sup>.

La gráfica  $np$  se elabora de forma similar a la gráfica  $p$ , utilizando las siguientes fórmulas:

$$\bar{p} = \frac{\sum X}{\sum n}$$

$$\bar{np} = \frac{\sum X}{k}$$

$$LIC_{np} = \bar{np} - 3\sqrt{\bar{np}(1-\bar{p})}$$

$$LSC_{np} = \bar{np} + 3\sqrt{\bar{np}(1-\bar{p})}$$

donde:

$k$  = Número de subgrupos.

$X$  = Número de piezas defectuosas encontradas en una inspección.

$n$  = Tamaño de la muestra, que en este caso es constante.

$\bar{p}$  = Promedio de defectuosos en la producción total.

$\bar{np}$  = Promedio de defectuosos.

### **Elección entre el gráfico $p$ y el gráfico $np$**

Siempre que se trabaje con un tamaño de subgrupo variable, el gráfico de control, más que el número real de artículos rechazados, debe indicar la fracción rechazada (o proporción rechazada). Si se representasen las cantidades reales de artículos defectuosos, sería necesario cambiar la línea central del gráfico, así como los límites para cada tamaño de subgrupo. Sin embargo, si este valor se mantiene constante, puede utilizarse el gráfico para las cantidades reales de artículos rechazados  $np$ .

<sup>7</sup> Montgomery Douglas, Control Estadístico de la Calidad.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

### **Gráfica de control $c$**

Las gráficas anteriores  $p$  y  $np$  monitorean piezas defectuosas, independientemente de cuántos y cuáles defectos se encuentren en las piezas, si en un cierto proceso se desea especificar los defectos que se encuentren se debe elaborar una gráfica de defectos como la  $c$ .

El cálculo de los límites de control se realiza con las siguientes fórmulas:

$$\bar{c} = \frac{\sum c}{k}$$

$$LIC_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$LSC_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

donde:

$k$  = número de subgrupos

El tamaño de muestra recomendado en las gráficas  $c$  es de  $n > 30$ <sup>8</sup>. La elaboración de esta gráfica se muestra con el siguiente ejemplo:

La empresa objeto de estudio desea elaborar una gráfica de control cuantificando el número de unidades que presentan grumos en el producto. Para llevar a cabo dicho objetivo se realiza un muestreo de 60 unidades cada hora, con el fin de contabilizar el número de piezas que presentan este defecto durante un día de producción. En la tabla 3.5.3.2 se muestran los resultados obtenidos durante la inspección, elaborar la gráfica correspondiente.

**Datos:**

$$k=24$$

⇒ **Cálculo de los límites de control:**

$$\bar{c} = \frac{\sum c}{k} = \frac{63}{24} = 2.625$$

$$LIC_c = -2.2356 \Rightarrow LIC_c = 0$$

$$LSC_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} = 2.625 + 3\sqrt{2.625}$$

$$LSC_c = 7.4856$$

---

<sup>8</sup> Montgomery Douglas, Control Estadístico de la Calidad.

Tabla 3.5.3.2 Cantidad de defectos encontrados en un muestreo realizado durante un día de producción.

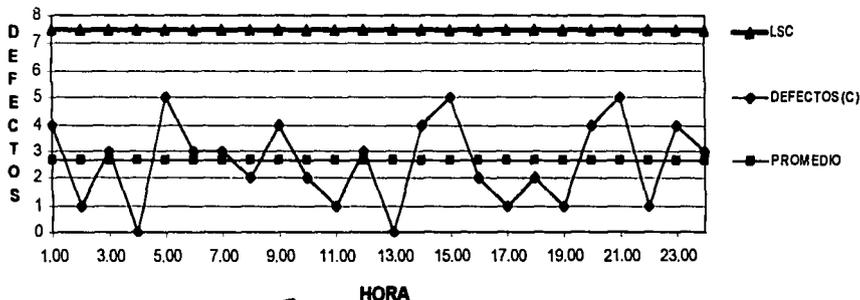
Hora	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	
c=Defectos (grumos)	4	1	3	0	5	3	3	2	4	2	1	3	0	4	5	2	1	2	1	4	5	1	4	3

La tabla con el promedio y el límite de control superior incluidos se muestra a continuación

hora	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	
c=Defectos (grumos)	4	1	3	0	5	3	3	2	4	2	1	3	0	4	5	2	1	2	1	4	5	1	4	3
Promedio	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625	2.625
LSC	7.4656	7.4656	7.4656	7.4656	7.4656	7.4656	7.4656	7.4656	7.4656	7.4656	7.4656	7.4656	7.4656	7.4656	7.4656	7.4656	7.4656	7.4656	7.4656	7.4656	7.4656	7.4656	7.4656	7.4656

⇒ La gráfica de control, c, correspondiente se muestra a continuación:

### Gráfica de Control c



**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

- ⇒ **Interpretación de los resultados:** Como se puede observar en la gráfica, todos los datos se encuentran dentro del límite superior, por lo que se concluye que el proceso se encuentra bajo control.

### **3.5.4 Estratificación**

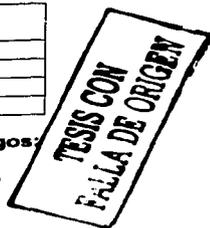
La estratificación no es una herramienta gráfica, ni un estudio basado en fórmulas o cálculos, sino es un concepto. Un ejemplo de estratificar es cuando los datos de una característica se clasifican de acuerdo a algún criterio para identificar las diferencias entre las clases.

#### **Estratificación para identificar causas de variación.**

Una forma práctica para aplicar la estratificación es dividir los datos de cierta variable en un criterio basado en las fuentes de los datos, por ejemplo: dividir por turnos, proveedores, máquinas, etc., y calcular las medias y rangos de cada fuente (estrato), analizar las diferencias o similitudes y tomar decisiones orientadas a disminuir las diferencias. A continuación se muestra la metodología con datos de ppm de Flúor obtenidos por diferentes operarios de manufactura:

#### **1. Se dividen los datos por operario:**

<b>Operario Grupo A</b>	<b>Operario Grupo B</b>	<b>Operario Grupo C</b>	<b>Operario Grupo D</b>
980	1080	890	1030
1010	998	1060	870
1050	1030	950	985
965	980	1020	1000



#### **2. Se calculan los promedios de los datos y los promedios de rangos:**

Promedio del Operario del grupo A =  $(980+1010+1050+965)/4 = 1001.25$

$$\bar{R}_{(OPR A)} = ABS\{(1010 - 980) + (1050 - 1010) + (965 - 1050)\} / 3 = 51.66$$

Los resultados para el resto de los operarios se muestran en la siguiente tabla:

	<b>Operario Grupo A</b>	<b>Operario Grupo B</b>	<b>Operario Grupo C</b>	<b>Operario Grupo D</b>
<b>Promedios</b>	1001.25	1022	980	971.25
<b>Promedio de Rangos</b>	51.67	54.67	116.66	96.67

#### **3. Se calculan los límites de control de promedios y rangos (utilizar fórmula de límites de control de promedios y rangos con k=4):**

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

### **Datos:**

$$\bar{X} = 993.625$$

$$\bar{R} = 79.9175$$

$$A_2 = 0.7285$$

$$D_3 = 0$$

$$D_4 = 2.2822$$

### **Por lo tanto:**

$$LSC_{(x)} = \bar{X} + A_2 \bar{R} = 993.625 + (0.7285 * 79.9175)$$

$$LSC_{(x)} = 1051.8448$$

$$LIC_{(x)} = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 993.625 - (0.7285 * 79.9175)$$

$$LIC_{(x)} = 935.4052$$

$$LSC_{(R)} = D_4 \bar{R} = 2.2822 * 79.9175$$

$$LSC_{(R)} = 182.3877$$

$$LIC_{(R)} = 0$$

### **4. Se concluye con base en los resultados obtenidos.**

Si en necesidad de graficar, se observa que los cuatro promedios y el promedio de rangos de los operarios están entre los límites inferior y superior. Con esta observación se puede concluir que los operarios tienen medias similares por lo que no es necesario invertir recursos en nuevas capacitaciones para los mismos.

La estratificación puede ser por proveedor, día, método, línea, turno, porcentaje de cierto componente en la materia prima, etc. Este método estadístico no propone cuáles criterios de estratificación usar, sino que solamente comprueba si ciertos estratos son fuente de variabilidad o no. Un diagrama de Ishikawa con la característica en la "cabeza del pescado" propone las causas cualitativas que se pueden investigar si son fuente de variación en la estratificación (Ver sección 3.5.6).

Esta herramienta se orienta a reducir la dispersión a través de la homogeneización de las medias de cada estrato, por lo tanto, es ideal para identificar causas comunes de variación, mismas que al reducirse pueden lograr cerrar los límites de una gráfica de control.

Un segundo enfoque para usar la estratificación es tomar datos de diferentes tipos de defectos, errores, accidentes o problemas, contar la frecuencia de ocurrencia de cada uno y con la información se puede elaborar un diagrama de Pareto (Ver sección 3.5.5).

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

**Nota:** Existen técnicas más avanzadas para realizar este tipo de estudios, como pruebas de hipótesis y análisis de varianza, la técnica mostrada en este trabajo es una prueba básica.

### **3.5.5 Diagrama de Pareto**

Los directivos están bien conscientes de que los numerosos problemas y situaciones con los que se enfrentan son desiguales en importancia. En lo comercial, el 20% de los clientes (los clientes "clave") aportan el 80% de las ventas. En las compras, un pequeño porcentaje de las órdenes de compra suponen el grueso del monto total de las compras.

Este fenómeno no está limitado al campo de la gestión industrial. En los asuntos humanos, generalmente, un pequeño porcentaje de personas poseen la mayor parte de la riqueza y unos pocos países tienen la mayor parte de la población del mundo.

En 1897, el economista italiano V. Pareto demostró que los ingresos no son uniformes, y estableció la ley de Pareto ó 80-20, que declara que el 80% de una situación se debe al 20% de las causas, ya en este siglo, Joseph Juran, aplicando el mismo concepto en calidad, bautizó como causas "vitales" a las causas relevantes de un problema y causas "triviales" a las no relevantes.

Una importante utilización del principio de Pareto está en el diseño de los programas de mejora de la calidad. Aquí el principio tiene tan amplia aplicación que no es posible un enfoque inteligente de mejora de calidad, sin él. Una mejora sólo puede justificarse si se puede aplicar a los pocos proyectos vitales. Son estos proyectos los que contienen la mayor parte de las oportunidades de mejora de los porcentajes de fallos por averías, de los rendimientos de los procesos, etc.

Un buen primer paso para el análisis y solución de problemas es el diagrama de Pareto, este diagrama presenta de forma ordenada en frecuencia o importancia las causas de un problema. Es un diagrama de barras, en donde cada una representa una causa y su altura indica el nivel de importancia de la causa, las barras están ordenadas de mayor a menor importancia de izquierda a derecha, y tiene una curva que representa el porcentaje acumulado de importancia de las causas. Este diagrama se puede clasificar en dos tipos: Pareto de muestreo y Pareto de atributos.

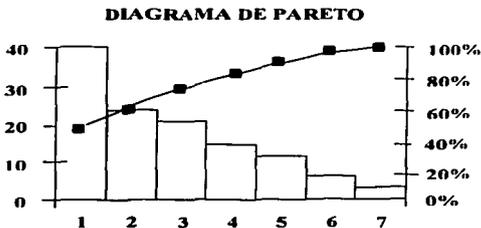
### **Elaboración de un diagrama de Pareto de muestreo**

A continuación se listan los pasos a seguir para la elaboración de un Pareto de muestreo:

- 1) Elaborar una lista de todos los posibles elementos a ordenar (defectos, factores o causas de un problema).

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

- 2) Definir el periodo de tiempo durante el cual se recolectarán los datos (los datos pueden ser el número de piezas defectuosas que se encuentren, o pueden ser el número de veces que aparezca el defecto).
- 3) Ordenar los elementos de mayor a menor frecuencia.
- 4) Calcular el porcentaje relativo  $f_R\%$  de defectos respecto al total de defectos  $d$ .
- 5) Calcular el porcentaje relativo acumulado  $F_A\%$ .
- 6) Trazar el eje horizontal y los ejes verticales, el eje horizontal se divide en secciones, una para cada elemento; el eje vertical izquierdo se escala de tal manera que se incluya la mayor frecuencia  $f$  y el eje vertical derecho se escala en porcentaje, por lógica el 100% se define a la misma altura que la mayor frecuencia  $f$ .
- 7) Construir las barras, una para cada elemento; la altura de las barras representa el valor  $f$  escalado en el eje vertical izquierdo, este valor coincide con el valor  $f_R\%$  escalado en el eje vertical derecho.
- 8) Construir la curva de Pareto, que es la curva del porcentaje acumulado  $F_A\%$ .



El análisis e interpretación de la figura anterior es el punto central de esta herramienta, un diagrama de Pareto indica que se deben invertir los recursos para resolver un problema en los elementos que contribuyen con el 70 a 80% de éste; esta regla es muy flexible, si existen 10 elementos y con los primeros dos se cubre el 65% del problema, estas dos se seleccionan para resolverse primero.

La elaboración de un diagrama de Pareto, al igual que otros análisis, debe terminar con la elaboración de un plan de acciones correctivas y preventivas.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

El Pareto de atributos, se usa cuando en el problema no se trabaja con datos, sino con información de un grupo de gente, es estrictamente necesario que este diagrama se realice en un clima de verdad y respeto, de lo contrario produce conflictos y antagonismos en lugar de resolverlos, se requiere de un moderador hábil en el manejo de grupos. Se elabora con la metodología a continuación:

- 1) Anotar el problema en forma de pregunta: ¿Por qué tenemos el 18% de desperdicio en el departamento de pintura? ¿Qué evita que mejoremos la productividad en laminados? ¿Cuál es el producto con mayores problemas? ¿Por qué no tenemos mejor calidad en la fábrica? ¿Qué se necesita en la compañía para mejorar la calidad?
- 2) Elaborar una lista general de respuestas, cada participante individualmente anota sus respuestas a la pregunta del problema, según su opinión y experiencia, a través de una lluvia de ideas, no existe un límite de número de respuestas, inclusive se puede formular la pregunta en una sesión y hasta la siguiente sesión todos regresen con sus respuestas.

Posteriormente se recolectan todas las respuestas en una lista general, no importa que se repitan ideas, se tienen que escribir 2 veces si es necesario, cada participante decide cómo desea que se redacte su idea. Existe una regla fundamental: ninguna persona puede criticar, juzgar o modificar la idea de otro, incluso si una idea es ilógica, la técnica por sí sola la separará.

Se recomienda que la pregunta inicial y la lista general se escriban en hojas de rotafolio, y se coloquen en la pared de tal modo que todos la puedan ver claramente, sin evaluarlas.

El número de ideas en la lista general varía según el número de personas en el grupo, de cinco a nueve personas la lista general es de 30 a 100 ideas.

- 3) Elaborar una lista agrupada de respuestas, las ideas de la lista general se agrupan según su semejanza, se puede hacer de la siguiente manera: anotar la idea #1 y a un lado todas las demás ideas iguales, similares o complementarias, a éstas se les asigna un título que las describa en grupo, se repite con la #2 y así sucesivamente.

Puede resultar una lista agrupada de cinco a veinte ideas ( $n=5$  a  $n=20$ ), el título que representa cada idea agrupada se toma por consenso del grupo.

En cualquier momento, se pueden modificar los títulos de las ideas o modificar la agrupación si alguien lo pone a consideración del grupo, si se tiene duda donde agrupar una idea de la lista general, se le pide a la persona que la aportó la explique a todo el grupo para asignarla, si continuara una controversia, la persona que aportó la idea decide donde se agrupa.

- 4) Asignar individualmente, según su juicio personal, una calificación a cada idea agrupada de la siguiente manera; se asignan como calificación máxima  $m$  a la idea agrupada que mejor responda a la pregunta original del problema, donde

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

$m$  se calcula con una fórmula empírica  $m = (n/2) + 1$ , se asigna calificación  $m-1$  a la segunda idea agrupada que mejor responde al problema,  $m-2$  a la siguiente, y así sucesivamente, al final,  $m$  es el valor máximo y  $0$  es el valor mínimo. No existen empates, un mismo participante no puede asignar igual calificación a dos ideas.

A un ejemplo con 40 ideas en una lista general, que se agrupan en  $n = 8$  ideas agrupadas,  $m = (n / 2) + 1$  es igual a cinco, por lo que se le asigna una calificación de 5 a la idea agrupada que mejor responde a la pregunta formulada en el primer paso, un 4 a la siguiente que mejor responda, un 3 a la siguiente, etc. Y cada participante tiene que dejar 3 con calificación 0 por considerarlas irrelevantes. Si  $n$  es un número impar,  $m$  se redondea al entero mayor.

- 5) Jerarquizar la lista agrupada, sumando los puntos que cada participante asignó a cada idea, y ordenando de mayor a menor las ideas de la lista agrupada, esta lista representa la opinión de todo el grupo de personas. También se recomienda que esta lista se escriba en hoja de rotafolio a la vista de todos.
- 6) Calcular el total de calificaciones, que debe ser la suma de las calificaciones o el resultado de la fórmula  $(x)(m)(m+1)/2$  donde  $x$  es el número de personas en el grupo y  $m$  la calificación máxima asignada.
- 7) Calcular los porcentajes relativos para cada idea y sus porcentajes acumulados.
- 8) Elaborar un diagrama de Pareto que explica en forma ordenada las respuestas a la pregunta inicial.
- 9) Efectuar el análisis del Pareto y elaborar el plan de acciones correctivas y preventivas para resolver el problema, este plan contiene: la actividad que se va a hacer, quién es el responsable de realizarla y el cuándo se realizará.

<b>Actividad (Que)</b>	<b>Responsable (Quien)</b>	<b>Fecha (Cuando)</b>
*Descripción	*Nombre y puesto	*De conclusión o seguimiento

La elaboración y ejecución de este plan es el paso final del diagrama de Pareto, y hace que el haberlo elaborado tenga alguna utilidad, si no se ejecuta el plan, entonces el diagrama de Pareto sólo sirve de información.

### **Aplicación del Diagrama de Pareto.**

Podemos identificar los siguientes usos del diagrama de Pareto:

- Identifica, en orden de importancia, las causas del problema. Si se pregunta ¿Cuál es la causa crítica de un problema?, probablemente se coincide en la respuesta por la gran experiencia que existe en algunas organizaciones , en

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

contraste, cuando se pregunta cual es la 2ª causa y cual es la 3ª, etc., ya no necesariamente coinciden las respuestas, o cuando se resuelve la causa crítica del problema, y se pregunta cuál es la nueva causa crítica, las respuestas no necesariamente son iguales.

- Fomenta el enfoque de trabajo en equipo. Se requiere la participación de todas las personas involucradas en el área por lo menos en los cuatro primeros pasos, los cálculos pueden ser realizados por una persona en un paquete computacional, pero finalmente el análisis del diagrama y la elaboración del plan de acciones es indispensable que se elabore en grupo y se asignen las acciones decididas entre las personas del grupo.
- Canaliza recursos económicos a las causas que impactan más en los problemas. Si se seleccionan ciertas causas para ser resueltas primero, no es necesario gastar dinero en las causas siguientes.
- Permite realizar comparaciones antes y después de un tiempo. Esto se puede realizar elaborando un diagrama antes de un cierto problema, tomando las acciones que se decidan y elaborando un segundo diagrama, con la misma escala del primero, para observar los resultados obtenidos, este segundo diagrama de Pareto debe incluir el mismo período de tiempo y el mismo número de inspecciones que el primero. En la figura 3.5.5.1, se muestra esta situación:

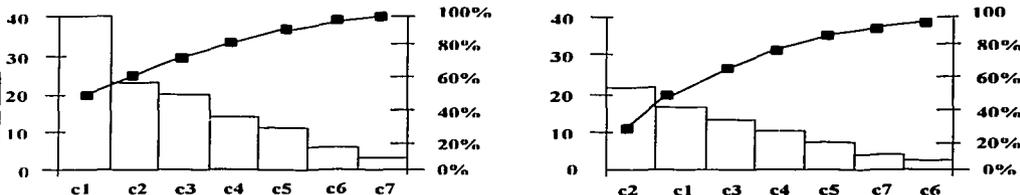


Figura 3.5.5.1 Comparación de diagramas antes y después de un plan de acciones correctivas y preventivas

El orden de importancia de los elementos puede cambiar, así como sus porcentajes y el número de defectos. Si no ocurren estos cambios significa que las acciones que se tomaron no fueron efectivas.

- Facilita la comunicación. Esta es una ventaja de todas las técnicas gráficas, ya que los métodos gráficos se interpretan en forma más rápida y eficiente que los métodos no gráficos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

### **3.5.6 Diagrama de Ishikawa**

El diagrama de Ishikawa ó diagrama de causa-efecto, fue desarrollado por Kaoru Ishikawa en Japón en 1953 en la Universidad de Tokio, para investigar las relaciones del tipo causa-efecto entre dos variables.

Ishikawa señala que las principales causas de variabilidad se pueden agrupar en: Materiales, Maquinaria, Métodos de trabajo y mediciones, Mano de obra y Medio ambiente. Los cinco factores anteriores, se encuentran en cualquier proceso, y son llamados las 5 M's.

#### **Elaboración de un diagrama de Ishikawa**

- I. Dibujar una línea horizontal larga que va a ser la "espina dorsal del pescado".
- II. Dibujar en el extremo derecho de la línea un rectángulo que es la "cabeza del pescado", y escribir el problema a resolver o la característica a analizar.
- III. Dibujar las "espinas principales" y signarles un título, según el grupo vaya generando las ideas, para esto se puede usar como guía las 5M's en cinco "espinas principales".
- IV. Anotar las causas como "espinas pequeñas", conectadas a las "espinas principales", según el grupo genere ideas.
- V. Elaborar un plan de acciones. La ejecución de este plan es la utilidad de haber elaborado el diagrama de Ishikawa.

En la figura 3.5.6.1 se muestra la estructura general de un diagrama de Ishikawa.

#### **Características:**

- **Es una herramienta de comunicación.**- No sirve elaborar el diagrama de Ishikawa si lo hace una persona, ya que no tiene la misma información que un grupo de personas, tampoco sirve si el diagrama lo hace un sólo departamento, pues la información estará sesgada, aún involuntariamente, lo correcto es que se elabore en grupo multidisciplinario.

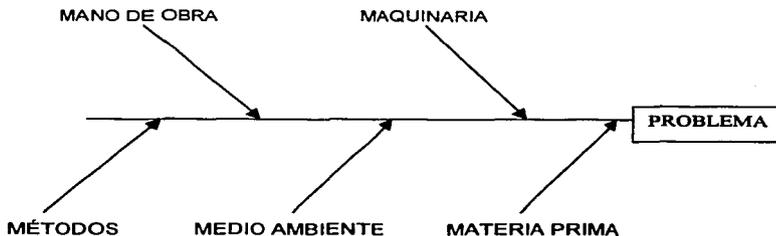
No se debe omitir a los operadores, ya que ellos dan información que en ocasiones ningún jefe o supervisor sabe, por esto, se requiere crear un clima donde los operadores opinen abiertamente. Tampoco se debe olvidar a personal de mantenimiento, que generalmente conoce mejor la máquina que cualquiera. También se debe incluir a la gente del departamento siguiente en el proceso porque saben cómo afecta la variable a su área.

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

Finalmente, se deben incluir las causas relativas a las relaciones humanas, ya que un malestar por parte de una persona en ocasiones puede crear un problema peor que una descompostura de una máquina.

- **Detecta causas de dispersión.**- Organiza por escrito una lluvia de ideas de las causas de dispersión de una característica de calidad.
- **Fomenta el trabajo en equipo.**- Obliga a los departamentos a trabajar como grupo con objetivos comunes.
- **Se adquieren nuevos conocimientos.**- El nivel de detalle de un diagrama de Ishikawa revela los conocimientos que el personal tiene del proceso, y el personal aprende del resto del equipo con sus opiniones.

Figura 3.5.6.1 Diagrama de Ishikawa ó "pescado".

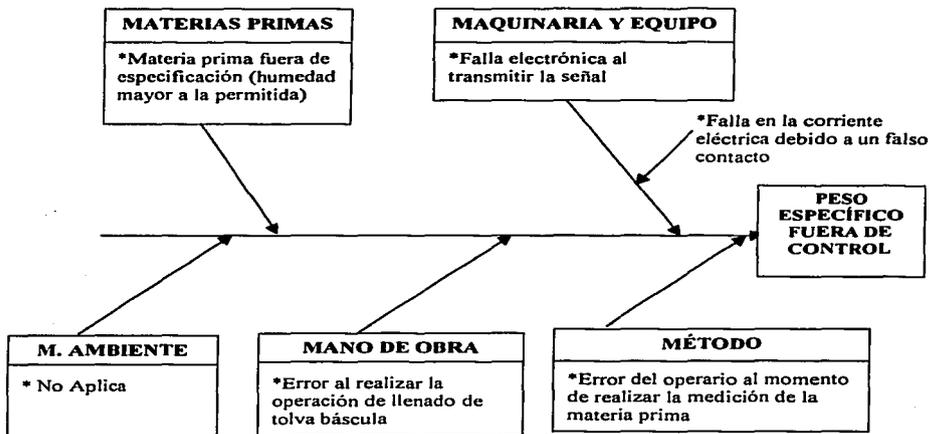


### Ejemplo:

A continuación se muestra el diagrama de Ishikawa que se realizó para conocer las causas que originaron que un lote de crema dental presentara un peso específico fuera de los límites de control.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**



Con base en el diagrama anterior se implementó un plan de acciones para prevenir la reaparición del problema; tales acciones consistieron en realizar una inspección diaria por el operario antes de iniciar la manufactura de crema dental con el fin de verificar el funcionamiento de los equipos de medición y la realización de calibraciones mensuales por parte del personal de instrumentos.

Como resultado de dichas acciones correctivas, no se ha presentado a partir de la fecha de implementación de las mismas, una situación similar a dicha falla.

### **3.5.7 Diagrama de dispersión.**

El diagrama de dispersión es una gráfica en un plano de coordenadas rectangulares donde cada punto representa una pareja de valores de dos variables del proceso, de tal modo que un conjunto de  $n$  parejas de datos forman una nube de puntos en el plano y cuya forma es la cuestión a interpretar, ya que representa si existe o no una relación entre estas dos variables.

Al interpretar un diagrama de dispersión se puede llegar a alguna, de entre otras, de las siguientes conclusiones:

**ANÁLISIS CON FALLA DE ORIGEN**

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

- x Las variables no están relacionadas
- x Existe una relación lineal entre las variables (Positiva ó negativa)
- x Existe una relación cuadrática entre las variables
- x Existe una relación exponencial entre las variables
- x La variación de Y depende de X (Ver análisis de regresión)
- x La variación de Y no depende de X

El diagrama de dispersión descubre relaciones entre datos. "Relaciones" significa que hay una asociación estructurada (lineal, cuadrática, etc.) entre X y Y. Sin embargo, aunque causalidad implica asociación, asociación no implica causalidad.

Los diagramas de dispersión son una útil herramienta de diagnóstico para la determinación de asociación entre variables, pero sí tal asociación existe, la gráfica puede o no sugerir un mecanismo oculto de causa y efecto.

Un diagrama de dispersión nunca prueba que exista una causa-efecto entre las variables, esto sólo puede ser determinado por el investigador, quien puede concluir si existe o no una causalidad.

Los pasos a seguir en la construcción de un diagrama de dispersión se muestran a continuación:

1. Establecer las dos variables a estudiar, X y Y.
2. Anotar en una hoja de registro las  $n$  parejas de datos que representen un valor de la variable X con su correspondiente valor de Y. El valor de  $n$  recomendado es  $n > 30$ .
3. Elaborar el diagrama de dispersión en un plano cartesiano, cada punto representa una pareja de valores X,Y. Las variables se grafican de la siguiente manera:

**Eje vertical:** Variable Y, usualmente la variable respuesta.

**Eje horizontal:** Variable X, usualmente alguna variable que se sospeche que pueda estar relacionada con la variable respuesta.

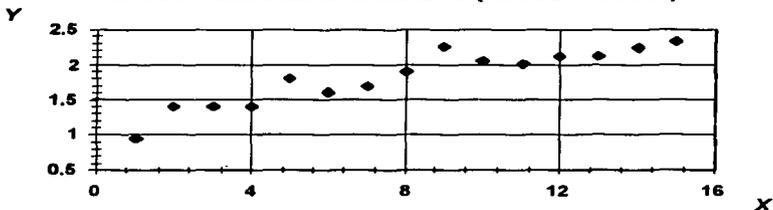
4. Analizar e interpretar la forma de la nube. En la figura 3.5.7.1 se muestran ejemplos de algunos de los distintos diagramas de dispersión.
5. Determinar si las variables se encuentran relacionadas y el tipo de relación existente entre las mismas <sup>(9)</sup>.

---

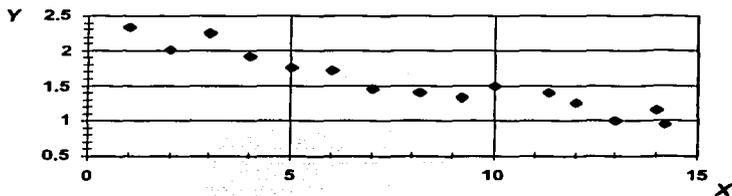
<sup>9</sup> Ver sección 3.5.7.1 "Relaciones entre variables"

**Figura 3.5.7.1 Ejemplos de algunos Diagramas de Dispersión**

**Variables relacionadas linealmente (Relación Positiva)**



**Variables relacionadas linealmente (Relación Negativa)**



**Variables no relacionadas**



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### **3.5.7.1 Relaciones entre variables**

En la práctica podemos distinguir dos tipos de relaciones entre variables, regresión o correlación.

#### **Análisis de regresión**

En el análisis de regresión una de las dos variables, denominada  $x$ , puede considerarse como variable ordinaria, esto es, se puede medir sin error apreciable. La otra variable,  $y$ , es una variable aleatoria. A  $x$  se le llama variable independiente y el interés es la dependencia de  $y$  en términos de  $x$ . Algunos ejemplos comunes son los siguientes: la dependencia que tiene la presión de la sangre y de la edad  $x$  de una persona o, como se dirá de ahora en adelante, la regresión de  $y$  con base en  $x$ ; la regresión de la ganancia de peso y de ciertos animales con base en la ración diaria de alimento  $x$ , la regresión de la conductividad de calor y del corcho, con base en el peso específico  $x$  del corcho, etc.

En el experimento, el investigador selecciona en primer lugar  $n$  valores de  $x_1, \dots, x_n$  de  $x$ , y luego observa los valores de  $y$  que corresponden a estos valores de  $x$ , de tal manera que se obtiene una muestra de la forma  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ . En el análisis de regresión, se supone que la media  $\mu$  de  $y$  depende de  $x$ , es decir, que es una función  $\mu = \mu(x)$  en el sentido ordinario. La curva de  $\mu(x)$  se llama curva de regresión de  $y$  con base en  $x$ . En el caso más sencillo, ésta puede ser una recta representada por:

$$\mu(x) = \alpha + \beta x$$

A ésta se le llama recta de regresión de  $y$  con base en  $x$ , y a la pendiente  $\beta$  se le llama coeficiente de regresión. Este caso lineal es muy importante, ya que cualquier función  $\mu(x)$  se puede aproximar con suficiente exactitud mediante una función lineal si  $x$  varía en un intervalo corto. Entonces, la muestra puede usarse para estimar los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ . Las estimaciones se pueden obtener por el método de mínimos cuadrados. Si se supone que:

- 1) Para cada  $x$  fija la variable  $y$  es normal con media  $\alpha + \beta x$  y varianza  $\sigma^2$  (no dependiente de  $x$ ) y
- 2) Las  $n$  ejecuciones del experimento que proporcionan la muestra son independientes.

Entonces las estimaciones de  $\alpha$  y  $\beta$  que se obtienen por el método de mínimos cuadrados son idénticas con las estimaciones de máxima similitud.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

### **Método de mínimos cuadrados**

Los pasos a seguir en este método son:

1. Cálculo de la sumatoria de los valores de  $x$ ,  $y$ ,  $x^2$  y  $xy$  mediante las siguientes fórmulas:

$$\sum_{i=1}^n x_i$$

$$\sum_{i=1}^n y_i$$

$$\sum_{i=1}^n x_i^2$$

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i$$

2. Cálculo del promedio de  $x$  y  $y$ :

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \qquad \bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

3. Cálculo de  $S_x^2$  (variancia de los valores  $x$ ) y  $S_{xy}$  (covariancia de la muestra), utilizando las siguientes fórmulas:

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$s_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

4. Cálculo del coeficiente de regresión mediante la fórmula:

$$b = \frac{s_{xy}}{s_x^2}$$

5. Sustitución de los valores de  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  y  $b$  en la siguiente fórmula:

$$y - \bar{y} = b(x - \bar{x})$$

6. Despejar y obtener la ecuación de la recta de la forma  $\mu(x) = \alpha + \beta x$ , donde  $\beta$  está representada por  $b$ .

**Análisis de correlación.**

En un análisis de correlación, las dos variables en estudio, que se denominan  $x$  y  $y$ , son variables aleatorias, y el interés es por las relaciones entre ambas. Por lo tanto, mientras que los problemas de análisis de regresión sólo incluyen una variable aleatoria (ya que en el análisis de regresión  $x$  es una variable ordinaria), el análisis de correlación trata con problemas que incluyen dos variables aleatorias. Como ejemplos comunes tenemos la relación entre la edad  $x$  del marido y la edad  $y$  de la esposa en los matrimonios o, como se dirá ahora, la correlación entre la edad  $x$  y la edad  $y$ , la correlación entre la humedad del suelo en dos puntos de observación diferentes, la correlación entre el gasto  $x$  y el gasto  $y$  de las dos llantas delanteras de los automóviles, etc.

**Coficiente de correlación de una muestra**

Considérese una muestra

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$$

de tamaño  $n$  que se toma de una población bidimensional  $(X, Y)$ . El promedio de los valores  $x$  en la muestra es:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + \dots + x_n),$$

y la varianza es:

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

De la misma manera, el valor medio de los valores de  $y$  en la muestra es:

$$\bar{y} = \frac{1}{n}(y_1 + \dots + y_n)$$

y la varianza es:

$$s_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Más aún, la covarianza de la muestra es:

$$s_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

El cociente:

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} \quad (s_x > 0, s_y > 0)$$

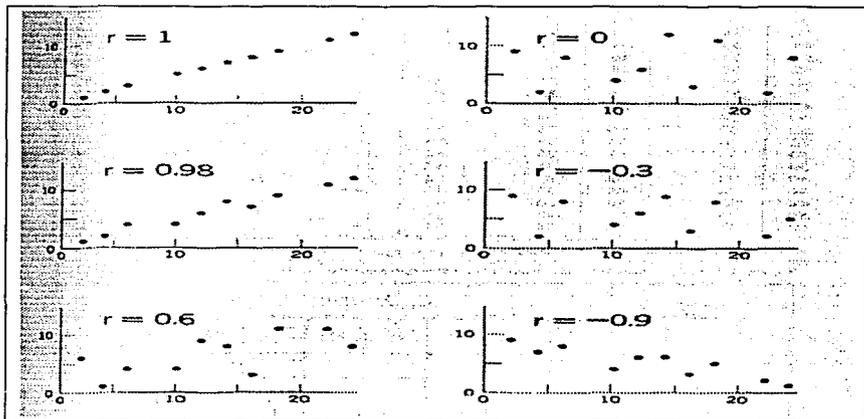
se llama **coeficiente de correlación de la muestra**.

Puesto que  $s_x s_y > 0$  y  $s_{xy}$  puede ser positivo, cero o negativo,  $r$  puede ser positivo, cero o negativo.

Si los valores de una muestra  $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ , se localizan exactamente en una recta, entonces el **coeficiente de correlación** correspondiente tendrá los valores 1 ó -1. En la práctica, esto sucederá sólo en casos muy raros. Sin embargo, podemos sospechar que aparecerán valores grandes de  $r$  (esto es, valores cercanos a 1), si, y sólo si, los valores de la muestra se localizan cerca de una recta.

La siguiente figura muestra algunos ejemplos. Con base en la figura 3.5.7.2, se puede decir que  $r$  tiene relación con una medida de la dependencia lineal entre las variables aleatorias  $X$  y  $Y$ .

Figura 3.5.7.2 Graficas para los distintos valores del coeficiente de correlación.



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

**Ejemplo:** Se desea conocer si el peso específico de la *Crema Dental* está relacionado con el de vacío que se administre mientras se elabora la misma. Para esto se registraron 30 datos que muestran diferentes pesos específicos obtenidos con diferentes unidades de vacío aplicadas al sistema.

### **1. Establecer las variables a estudiar**

X= Presión de Vacío

Y= Peso Específico

### **2. Anotar en una hoja de registro las $n$ parejas de datos $(X_i, Y_i)$ (tabla 3.5.7.1):**

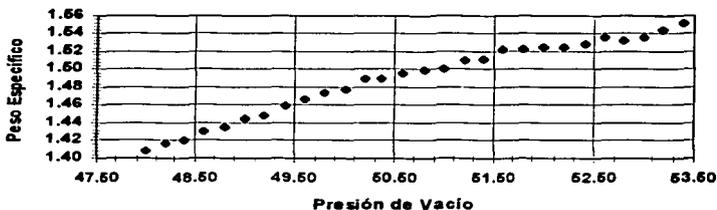
**Tabla 3.5.7.1** Parejas de datos Presión de vacío vs Peso Específico

<b>Muestra</b>	<b>Presión de Vacío (cm Hg)</b>	<b>Peso Específico</b>
1	48.00	1.408
2	48.20	1.417
3	48.40	1.421
4	48.60	1.430
5	48.80	1.435
6	49.00	1.445
7	49.20	1.449
8	49.40	1.460
9	49.60	1.467
10	49.80	1.474
11	50.00	1.478
12	50.20	1.490
13	50.37	1.490
14	50.58	1.496
15	50.80	1.499
16	51.00	1.501
17	51.20	1.510
18	51.40	1.512
19	51.60	1.522
20	51.80	1.522
21	52.00	1.525
22	52.20	1.525
23	52.40	1.528
24	52.60	1.536
25	52.80	1.532
26	53.00	1.536
27	53.20	1.544
28	53.40	1.551
29	53.60	1.540
30	53.80	1.540

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

### 3. Elaborar el diagrama de dispersión correspondiente:

Diagrama de Dispersión Presión de Vacío vs Peso Específico



4. **Analizar e interpretar la forma de la nube:** De acuerdo al diagrama obtenido, las variables se encuentran relacionadas entre sí y dicha relación es positiva.
5. **Determinar el tipo de relación existente entre las variables:** Para el ejemplo se utilizará un análisis de regresión ya que la variable  $x$  (presión de vacío), se considera una variable ordinaria ya que puede medirse sin error aparente, por lo tanto, se utiliza el método de mínimos cuadrados.

### Cálculos

#### ⇒ Cálculo de la sumatoria de los valores de $x$ , $y$ , $x^2$ y $xy$

$$\sum_{i=1}^n x = 1526.95$$

$$\sum_{i=1}^n y = 44.783$$

$$\sum_{i=1}^n x^2 = 77809.1533$$

$$\sum_{i=1}^n xy = 2281.51838$$

#### ⇒ Cálculo del promedio de $x$ y $y$ :

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{1526.95}{30} = 50.8983$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} = \frac{44.783}{30} = 1.4927$$

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

- ⇒ **Cálculo de  $S_x^2$  (variancia de los valores  $x$ ) y  $S_{xy}$  (covariancia de la muestra)<sup>10</sup>:**

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{29} (89.9432)$$

$$s_x^2 = 3.1015$$

$$s_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \frac{1}{29} (2.1383)$$

$$s_{xy} = 0.0737$$

- ⇒ **Cálculo del coeficiente de regresión:**

$$b = \frac{s_{xy}}{s_x^2} = \frac{0.0737}{3.1015} = 0.0238$$

- ⇒ **Sustitución de los valores de  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  y  $b$ :**

$$y - 1.4927 = 0.0238 (x - 50.8983)$$

- ⇒ **Despejar y obtener la ecuación de la recta:**

$$y = 0.0238x + 0.2832$$

Aunque en este caso se determinó que las variables se encuentran relacionadas, se proporciona el valor del coeficiente de correlación para determinar el grado de relación de las mismas <sup>(11)</sup>:

$$r = 0.9753$$

Con este resultado podemos concluir que, además de existir una relación de regresión entre las variables, dicha relación es lineal positiva <sup>(12)</sup>.

<sup>10</sup> La tabla con los cálculos individuales aparece en el anexo III

<sup>11</sup> El cálculo se realizó utilizando las fórmulas proporcionadas en "Análisis de correlación".

<sup>12</sup> Ver figura 3.5.7.1 "Gráficas para los distintos valores del coeficiente de correlación"

### **3.6 La Distribución Normal**

Existe una curva normal llamada también curva de Gauss que es la más común e importante de las curvas poblacionales. Representa el comportamiento de más del 50% de las variables que existen en el planeta (en el medio industrial, comercial, en la naturaleza, en la educación, en la sociología, en las ciencias exactas, etc.).

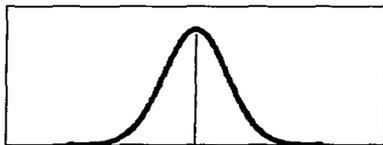
Aproximadamente otro 20% de las variables no son normales, pero el uso de la normal es una buena aproximación, además que existen formas de normalizar los datos (algunas variables no normales se normalizan al obtener la raíz cuadrada o el logaritmo).

Aún más, para el 30% restante (variables discretas y otras), se cuenta con el teorema de límite central que declara que para cualquier variable, cuando la muestra "n" es suficientemente grande, los promedios de las variables se comportan como normal.

Es decir, el 100% de las variables se pueden trabajar con métodos, técnicas y estadísticas suponiendo normalidad (que su curva poblacional se comporta como una normal) si se trabaja con sus promedios y si "n" es grande.

La curva normal o distribución normal se caracteriza por:

**1. Su gráfica es del tipo campana:**



- 2. Los parámetros  $\mu$  y  $\sigma$  definen completamente a la normal**,  $\mu$  determina el centro de la campana y  $\sigma$  determina su dispersión (el ancho de la base de la campana).
- 3. Es simétrica**, el 50% de los datos están a la izquierda de  $\mu$  y el 50% restante a la derecha.
- 4. Es asintótica a cero en +/- infinito**, la curva se aproxima al eje horizontal cuando la variable se aleja de la media.
- 5. El 100% de los datos están representados por el área bajo la curva**, es decir, el área bajo la curva tiene un valor de 1.0.

**6. La función densidad de la curva normal está dada por:**

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, \quad -\infty < X < \infty$$

**Comprobación de normalidad**

Para comprobar la normalidad de un conjunto de datos existen varios métodos, algunos de los más utilizados son:

- 1. Prueba de Comparación Visual de Histograma.**
- 2. Prueba de cálculo de sesgo y curtosis.**
- 3. Prueba de gráfica de puntos en un papel probabilístico normal (PPN).**
- 4. Prueba de Kolmogorov-Smirnov.**
- 5. Prueba de la Ji cuadrada ( $\chi^2$ ).**
- 6. Prueba de Anderson Darling.**

En este trabajo sólo se utilizaran las pruebas de Kolmogorov-Smirnoff, Ji cuadrada y Anderson Darling ya que son más confiables que las tres primeras.

**3.6.1 Pruebas de bondad de ajuste**

Para pruebas de Bondad de Ajuste se utiliza la distribución Ji-cuadrada, la distribución de Kolmogorov-Smirnov, la de Anderson-Darling, entre otras. La prueba Ji cuadrada se emplea tanto para distribuciones continuas como para discretas, mientras que la de Kolmogorov-Smirnov y la de Anderson Darling, se emplean sólo para distribuciones continuas.

**Prueba de Bondad de Ajuste Normal de la Ji-Cuadrada<sup>13</sup>.**

Esta prueba tiene como base a la distribución  $\chi^2$  (Ji Cuadrada), porque se basa en medir la diferencia entre frecuencias observadas y frecuencias esperadas para medir el ajuste de los datos de un proceso, a una distribución determinada conocida.

<sup>13</sup> En este trabajo se utiliza basándose en el "Teorema de Límite Central", que establece que para cualquier conjunto de variables Xi, independientes e idénticamente distribuidas, con comportamiento Normal de Gauss o no, el promedio de las variables Xi se comporta como Normal de Gauss si el tamaño de muestra es suficientemente grande.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

Dado que un experimento aleatorio siempre presenta variación, se espera que si realmente el proceso se ajusta al modelo supuesto, estas variaciones serán pequeñas; en caso contrario, serán altas, por lo que la prueba se mide usando una distribución  $\chi^2$  unilateral superior con objeto de detectar excesos de variación.

La prueba consiste en establecer en la hipótesis nula el comportamiento o ajuste a la distribución esperada, mientras que en la hipótesis alterna, se niega el ajuste a la distribución esperada, y los cálculos para determinar el estadístico de prueba se basan en el supuesto de la hipótesis nula. Esto es, las probabilidades asociadas se calculan conforme al modelo de distribución supuesto y a partir de estas probabilidades, se definen las frecuencias esperadas que se comparan entonces con las observadas usando el estadístico de prueba  $\chi^2$  calculado:

$$\chi^2_{calc} = \sum_{i=1}^k \left( \frac{F_{O_i}^2}{F_{E_i}} \right) - n$$

donde:

$k$  = número de categorías con frecuencia esperada mayor o igual a 5.

$n$  = Total de observaciones en el experimento.

$F_{O_i}$  = frecuencia observada.

$F_{E_i}$  = frecuencia esperada.

Este valor obtenido se compara con la distribución  $\chi^2$  teórica obtenida en tablas estadísticas como:  $\chi^2_{(1-\alpha, k-m-1)}$ ,<sup>(14)</sup> donde  $m$  = número de estimadores que se sustituye en lugar de los parámetros en el cálculo

**Nota:** En el caso de prueba de bondad de ajuste a la distribución normal,  $m$  vale 2, si se desconoce la media poblacional y la desviación estándar poblacional.

**Ejemplo:** En el anexo VII se muestra el cálculo de esta prueba para datos de ppm de Flúor.

### **Prueba de Bondad de Ajuste Normal de Kolmogorov-Smirnov**

La prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov es una alternativa para probar que una muestra "proviene" de una distribución normal. Esta prueba se basa en la comparación entre la *función distribución acumulada de una distribución teórica  $F_r(X)$*  con la *función distribución acumulada de la muestra  $F_m(X)$* .

Si las funciones de distribución acumulada teórica y muestral no son significativamente diferentes, entonces decimos que la muestra proviene de la distribución cuya función distribución acumulada es  $F_r(X)$ . Sin embargo, si las

---

<sup>14</sup> Ver anexo IV

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

diferencias entre las funciones distribución acumuladas son muy grandes como para que no sean debidas solamente al azar, se rechaza  $H_0$ .

Los pasos a seguir en la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov son los siguientes:

- a) Plantear la hipótesis:

$$H_0: F_m(X) = F_i(X) \text{ para toda } X \in R.$$

$$H_a: F_m(X) \neq F_i(X), \text{ por lo menos para una } X.$$

- b) Calcular todos los valores  $F_m(X)$  de la muestra  $X_1, X_2, \dots, X_n$ .

- c) Determinar la desviación máxima, que está dada por el supremo de los valores absolutos de las diferencias entre los valores de la función acumulada teórica y de la muestra:

$$D = \sup. | F_m(X) - F_i(X) |$$

- d) Escoger un nivel de significación  $\alpha$  (5%, 1% o semejante).

- e) No se rechaza  $H_0$  si el valor calculado  $D$  es menor o igual que el valor de la tabla del anexo V y se rechaza  $H_0$  si el valor calculado  $D$  es mayor al de esta misma tabla.

Las suposiciones en la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov son:

1. **Muestras aleatorias.**
2. **La variable observada debe ser continua en la población observada.**
3. **La prueba no es válida si se tienen que estimar uno o más parámetros usando los datos de la muestra.**

**Ejemplo:** En el anexo VIII se muestra el cálculo de esta prueba para datos de ppm de Fluor.

### **Prueba de bondad de ajuste de Anderson Darling.**

#### **Propósito:**

La prueba de Anderson-Darling (Stephens, 1974), se usa para probar si una muestra de datos proviene de una población con una distribución específica. Es una modificación de la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S) y la diferencia principal es que proporciona más importancia a las colas que la prueba K-S. La prueba K-S es de distribución libre en el sentido de que los valores críticos no dependen de la distribución específica que está siendo probada a diferencia de la prueba A-D, la cual hace uso de la distribución específica para el cálculo de los valores críticos. Esto tiene la ventaja de permitir una prueba más sensible y la desventaja de que los valores críticos deben calcularse para cada distribución.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

Actualmente existen tablas de valores críticos para las distribuciones: normal, logonormal, exponencial, Weibull, valores extremos tipo I, etc.

La estadística Anderson-Darling está dada por la siguiente expresión:

$$A^2 = -n - \left(\frac{1}{n}\right) \sum [(2i-1)Ln(p_{(i)}) + (2n+1-2i)Ln(1-p_{(i)})]$$

donde  $p(i)$  es el área bajo la curva normal para el intervalo  $(-\infty, z(i))$ , o sea es la función distribución normal estándar evaluada en el  $i$ -ésimo elemento (en orden ascendente) de la muestra.

### **Planteamiento de Hipótesis:**

El planteamiento de las hipótesis se hace de tal manera que  $H_0$  es siempre la hipótesis que se quiere demostrar y  $H_a$  la hipótesis que rechaza o niega a  $H_0$ , o sea:

$H_0$ : Los datos se ajustan a una distribución específica

$H_a$ : Los datos no se ajustan a una distribución específica.

### **Región crítica:**

Los valores críticos para la prueba de A-D son dependientes de la distribución específica que esté siendo probada. Valores tabulados y fórmulas han sido publicados (Stephens, 1974, 1976, 1977 y 1979), sólo para algunas distribuciones. Esta prueba es de un solo lado y la hipótesis de que la distribución es de una forma específica se rechaza si el valor estadístico de  $A$ , es mayor que el valor crítico.

Se presentan dos situaciones para la estadística Anderson-Darling: la primera en que se conocen los parámetros de la distribución llamado caso 0 (cero), y la otra en que se desconoce al menos uno de ellos (casos 1, 2 y 3)<sup>15</sup>.

**Caso 0:**  $\mu$  y  $s^2$  conocidos.

**Caso 1:**  $s^2$  conocida y  $\mu$  desconocida y estimada por  $\bar{X}$  y  $s_{n-1}$

**Caso 2:**  $\mu$  conocida y  $s^2$  desconocida y estimada por:

$$s_n = \frac{\sum (x_i - \mu)^2}{n}$$

**Caso 3:** ambos desconocidos y estimados por  $\bar{X}$  y

<sup>15</sup> Dos Santos, M. J., Estadística Básica en enfoque no Paramétrico.

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

$$s_{n-1} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

La prueba Anderson Darling para la bondad de ajuste normal, se realiza llevando a cabo los siguientes pasos:

a) Plantear las hipótesis:

$H_0$ : "La muestra proviene de una distribución normal"

$H_a$ : "La muestra no proviene de una distribución normal"

b) Ordenar en forma ascendente los valores de  $X$ .

c) Calcular  $z_{(i)} = \frac{X_{(i)} - \mu}{\sigma}$  y determinar las probabilidades acumuladas  $\rho_{(i)}$  correspondientes a las  $z_{(i)}$  con ayuda de una tabla de la distribución normal.

d) Calcular  $A^2$  según la fórmula dada.

e) Comparar el valor de  $A^2$  con el valor de tablas<sup>(16)</sup>, para determinar el valor  $1-\alpha$  y llegar a una conclusión acerca de  $H_0$ .

**Ejemplo:** En el anexo IX se muestra el cálculo de esta prueba para datos de ppm de Flúor.

<sup>16</sup> Ver anexo VI. I y VI.II para casos 0 y 1,2 y 3 respectivamente

# HABILIDAD Y DESEMPEÑO DEL PROCESO

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

### 4. HABILIDAD Y DESEMPEÑO DEL PROCESO

#### 4.1 HABILIDAD DEL PROCESO

Al planear los aspectos de calidad de la manufactura, nada es más importante que asegurarse de antemano de que el proceso será capaz de mantener las tolerancias. En las décadas recientes ha surgido el concepto de *habilidad del proceso*, que proporciona una predicción cuantitativa de qué tan adecuado es un proceso, esta habilidad para predecir en forma cuantitativa ha dado como resultado la adopción amplia del concepto como elemento primordial de la planeación de la calidad.

La habilidad del proceso es la variación medida, inherente al producto que se obtiene en ese proceso.

#### Definiciones Básicas

- **Proceso:** Éste se refiere a alguna combinación única de máquinas, herramientas, métodos, materiales y personas involucradas en la producción. Con frecuencia es factible separar y cuantificar el efecto de las variables que entran en esta combinación. Tal separación puede proporcionar una visión más clara.
- **Habilidad:** Esta palabra se usa en el sentido de aptitud, basada en el desempeño probado, para lograr resultados que se puedan medir.
- **Habilidad inherente:** Esto se refiere a la uniformidad del producto que resulta de un proceso que se encuentra en estado de control estadístico, es decir, en ausencia de causas atribuibles de variación.

#### Usos de la información de habilidad del proceso

La información sobre la habilidad del proceso sirve para los siguientes propósitos:

1. Predecir el grado de variabilidad que exhibirán los productos manufacturados. Esta información de habilidad, cuando se proporciona a los diseñadores, ofrece información importante para establecer límites de especificación realistas.
2. Seleccionar, entre procesos que compiten, el proceso que tenga menos variación.
3. Proporcionar una base cuantitativa para establecer un programa de verificaciones de control periódico del proceso y reajustes.
4. Asignar los diferentes tipos de productos a los equipos que presenten menor variabilidad en la manufactura de los mismos.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

5. Servir como base para las especificaciones de los requerimientos de calidad para las máquinas compradas.

### **Fórmula Estandarizada**

Ya que cualquier empresa manufacturera espera obtener productos dentro de especificaciones, la fórmula para la habilidad del proceso que más se usa es:

$$\text{Habilidad del proceso} = \pm 3\sigma \text{ (un total de } 6\sigma\text{),}$$

Donde  $\sigma$  = la desviación estándar del proceso cuando se encuentra en estado de control estadístico, es decir, sin la influencia de fuerzas externas o cambios repentinos.

Si el proceso está centrado en la especificación nominal y sigue una distribución de probabilidad normal, 99.73% de la producción caerá a menos de  $3\sigma$  de la especificación nominal, para saber si esto sucede o no, se calcula la *tasa de habilidad* que se describe a continuación.

### **Tasa de habilidad**

Una razón importante para cuantificar la habilidad del proceso es poder calcular la habilidad del proceso para mantener las tolerancias del producto.

Quienes planean intentan seleccionar procesos que tengan las  $6\sigma$  de la habilidad del proceso dentro de la amplitud de tolerancias. Una medida de esta relación es la tasa de habilidad:

$$C_p = \text{Tasa de habilidad} = \frac{\text{Rango de especificación}}{\text{Habilidad del proceso}} = \frac{LSE - LIE}{6s}$$

Donde:

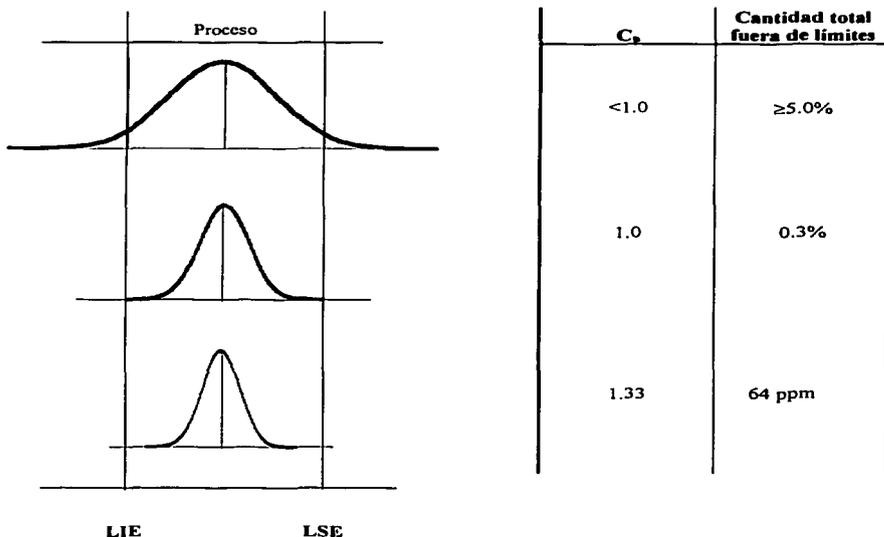
LSE = Límite superior de especificación

LIE = Límite inferior de especificación

En la fórmula se utilizan  $6s$  como una estimación de  $6\sigma$ .

La figura 4.1 presenta tres de las muchas relaciones posibles entre la variabilidad del proceso y los límites de especificación. En todos estos casos, el promedio del proceso se encuentra en el punto medio entre los límites de especificación.

**CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**



**FIGURA 4.1** Ejemplos de variabilidad de proceso.

La siguiente tabla contiene las razones de habilidad seleccionadas y el nivel correspondiente de los defectos, suponiendo que el promedio del proceso se encuentra en la mitad de los límites de especificación. Un proceso que cumple bien con los límites de especificación (rango de especificación =  $\pm 3\sigma$ ) tiene una  $C_p$  de 1.0. La complejidad de muchos procesos y la realidad de que el promedio del proceso no permanecerá en el punto medio del rango de especificación sugiere que  $C_p$  debe ser al menos 1.33.

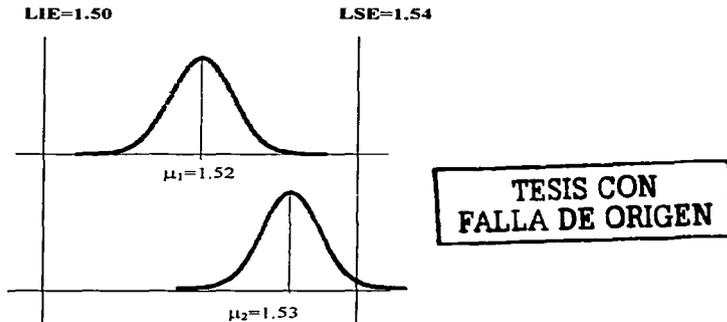
## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

**TABLA 4.1 Índice de habilidad del proceso (C<sub>p</sub>) y cantidad de producto fuera de los límites de especificación**

Índice de habilidad del proceso (C <sub>p</sub> )	Producto total fuera de los límites de especificación
0.5	13.36%
0.67	4.55%
1.00	0.3%
1.33	64 PPM
1.63	1 PPM
2.00	0

### 4.2 DESEMPEÑO DEL PROCESO

La habilidad del proceso, según se mide con C<sub>p</sub>, se refiere a la variación en un proceso alrededor del valor promedio. Esto se ilustra en la siguiente figura, donde los dos procesos tienen habilidades (C<sub>p</sub>) iguales porque 6σ es la misma para cada distribución, como lo indican las amplitudes de las curvas de distribución, sin embargo, el proceso que tiene como meta μ<sub>2</sub> está produciendo unidades defectuosas porque la meta está fuera del centro.



**Figura 4.2 Procesos con habilidades de proceso iguales pero meta diferente.**

Así, el índice C<sub>p</sub>, mide la *habilidad potencial*, suponiendo que el promedio del proceso es igual al punto medio de los límites de especificación y que el proceso está operando bajo control estadístico; como con frecuencia el promedio no se encuentra en el punto medio, es útil tener un índice de habilidad que refleje ambas variaciones y la localización del promedio del proceso. Tal índice es C<sub>pk</sub>.

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

El índice  $C_{pk}$  refleja la proximidad de la media actual del proceso al límite superior de especificación ( $LSE$ ) o bien, al límite inferior de especificación ( $LIE$ ).  $C_{pk}$  se estima mediante:

$$C_{pk} = \min \left[ \frac{\bar{X} - LIE}{3s}, \frac{LSE - \bar{X}}{3s} \right]$$

Si el promedio *actual* es igual al punto medio del rango de especificación, entonces  $C_{pk} = C_p$ . Entre más alto sea el valor de  $C_{pk}$ , más baja será la cantidad de producto que esté fuera de los límites de especificación.

Los siguientes son dos tipos de estudios de habilidad del proceso:

- 1. Estudio del potencial del proceso.** En este estudio se obtiene una estimación de lo que puede hacer un proceso bajo ciertas condiciones, es decir, la variabilidad en condiciones definidas a corto plazo para un proceso en estado de control estadístico. El índice  $C_p$  estima la habilidad del proceso.
- 2. Estudio del desempeño del proceso.** En este estudio, una estimación de la habilidad del proceso proporciona un panorama de lo que el proceso está haciendo durante un periodo largo. También supone un estado de control estadístico. El índice  $C_{pk}$  estima el desempeño del proceso.

En un estudio del potencial de un proceso, se recolectan datos del proceso en operación sin cambios en los lotes de material, los trabajadores, las herramientas o el establecimiento del proceso. Esta evaluación a corto plazo usa una producción consecutiva durante un periodo. Este análisis debe estar precedido por un análisis de gráficas de control en que se haya detectado y eliminado del proceso cualquier causa atribuible.

Un estudio del desempeño del proceso generalmente recolecta datos de un proceso que está operando bajo las condiciones normales, pero incluye los cambios normales en los lotes de material, los trabajadores, las herramientas y la preparación. Este estudio, que abarca un periodo mayor que el del estudio del potencial del proceso, también requiere que el proceso se encuentre en estado de control estadístico.

Como los límites de especificación por lo general se aplican a valores individuales, los límites de control de los promedios muestrales no se pueden comparar con los límites de especificación. Para hacer una comparación, se debe primero convertir  $\bar{R}$  (promedio de rangos) a la desviación estándar para los valores individuales, se calculan los límites de  $\pm 3\sigma$  y se comparan después con los límites de especificación. Esto se explica enseguida.

Si un proceso se encuentra en control estadístico, está operando con la cantidad mínima de variación posible (la variación debida a causas aleatorias). La siguiente

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

relación se cumple para usar  $s$  como una estimación de  $\sigma$  sí, y sólo si, un proceso se encuentra en control estadístico:

$$s = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Donde:

$$\bar{R} = \text{Promedio de rangos}$$
$$d_2 = \text{constante encontrada en el anexo II}$$

### **Interpretación de $C_{pk}$**

Al usar  $C_{pk}$  para evaluar un proceso, debe reconocerse que  $C_{pk}$  es una abreviatura de dos parámetros: el promedio y la desviación estándar. Obtener un aumento en el valor de  $C_{pk}$  puede requerir un cambio en el promedio del proceso, en la desviación estándar del mismo o en ambos. Para algunos procesos, puede ser más sencillo aumentar el valor de  $C_{pk}$ , cambiando el valor del promedio (quizá mediante un sencillo ajuste en la meta del proceso), que reduciendo la desviación estándar (con la investigación de muchas causas de variabilidad). Siempre debe revisarse el histograma del proceso para resaltar tanto su promedio como su dispersión.

### **Cálculo del desempeño para procesos no normales**

El cálculo tradicional de habilidad de proceso por  $C_p$  y  $C_{pk}$  suponen normalidad de la variable, pero cuando la variable tiene otra curva poblacional diferente de la normal, la habilidad de proceso debe calcularse con el índice  $P_{pk}$  (originalmente derivado de la palabra preliminar), utilizando la siguiente fórmula:

$$P_{pk} = \min \left\{ \frac{LSE - \bar{X}}{3\hat{s}}, \frac{\bar{X} - LIE}{3\hat{s}} \right\}$$

$$\hat{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$$

Donde:

$N$  = Total de datos

El  $P_{pk}$  debe utilizarse en procesos que no están bajo control o no son estables y que por lo tanto no tienen un comportamiento normal de Gauss, por esta razón, el uso de las constantes  $d_2$  y otras no se debe aplicar.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

### **4.3 CÁLCULO DE LOS VALORES DE $C_p$ Y $C_{pk}$ PARA EL PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL.**

**Aplicación:** En la tabla 4.2.1 se proporciona una lista de valores de ppm de flúor obtenidos por un operario de manufactura. Se desea conocer los valores de  $C_p$  y  $C_{pk}$  para dichos valores, ya que dicha característica es una variable crítica del proceso; cualquier valor fuera de especificaciones implica la destrucción del producto

**Datos:**

**Límite Superior de Especificación (LSE):** 1150

**Límite Inferior de Especificación (LIE):** 850

**Número de datos en un subgrupo,  $n=2$**

- 1. Se calcula el promedio de los datos y promedio de rangos**

**Promedio** = 1003.60

**Rango**  $(r_1)$  = 1016-1011 = 5

**Promedio de rangos** = 33.897

**Nota:** Los rangos 2,3,4...rango  $n$ , se muestran en la tabla 4.2.1

- 2. Se busca el valor de  $d_2$  de la tabla de constantes del anexo II para  $n=2$ , donde  $n$  = número de datos en un subgrupo:**

$d_2=1.128$

**CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

Tabla 4.2 Valores de ppm de flúor para diferentes lotes de crema dental.

F. González			
No. de batch	Batch	ppm de flúor	Rango
5590	1	1011	
5591	2	1016	5
5592	3	1016	0
5593	4	955	61
5594	5	985	30
5595	6	1016	31
5596	7	988	28
5597	8	996	8
5598	9	1026	30
5599	10	998	28
5600	11	1018	20
5601	12	997	21
5602	13	1045	48
5603	14	1035	10
5604	15	1000	35
5605	16	1001	1
5606	17	1039	38
5648	18	961	78
5649	19	1011	50
5650	20	933	78
5651	21	965	32
5652	22	1026	61
5653	23	1012	14
5654	24	977	35
5655	25	992	15
5674	26	965	27
5675	27	981	16
5676	28	985	4
5677	29	965	20
5678	30	935	30
5679	31	984	49
5718	32	1032	48
5719	33	997	35
5720	34	990	7
5721	35	1058	68
5722	36	1048	10
5723	37	1015	33
5724	38	1098	81
5725	39	1011	85
5728	40	1063	52

PROMEDIO DE RANGOS =

33.897

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

### 3. Se calcula la desviación estándar, $s$ y $\pm 3s$ :

$$s = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{33.897}{1.128} = 30.05$$

Por lo tanto la habilidad es:

$$\pm 3s = \pm 3(30.05) = \pm 90.15$$

ó:

$$6s = 180.3$$

### 4. Finalmente se calculan $C_p$ y $C_{pk}$ :

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6s} = \frac{1150 - 850}{180.3} = 1.664$$

$$C_{pk} = \min \left[ \frac{\bar{X} - LIE}{3s}, \frac{LSE - \bar{X}}{3s} \right]$$

$$C_{pk} = \min \left[ \frac{1003.6 - 850}{3(30.05)}, \frac{1150 - 1003.6}{3(30.05)} \right]$$

$$C_{pk} = \min[1.704, 1.624]$$

$$C_{pk} = 1.624$$

**5. Interpretación de los Resultados.** De acuerdo a la tabla 4.1, un índice de habilidad de 1.63 indica que la cantidad de producto fuera de especificación es de 1 PPM, por lo tanto, para este ejemplo se puede concluir que la cantidad de producto fuera de especificación es de aproximadamente el mismo valor, ya que tanto el  $C_p$  como el  $C_{pk}$ , estuvieron muy cercanos a 1.63. Los requerimientos de la empresa en estudio son de un  $C_{pk}$  de por lo menos 1.33, como se observa, el valor obtenido es superior a este, por consiguiente, se afirma que el proceso es capaz de cumplir las especificaciones.

**EXAMPLES**

100A

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

### 5. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

**Problema 1:** Variación excesiva en % de triclosán.

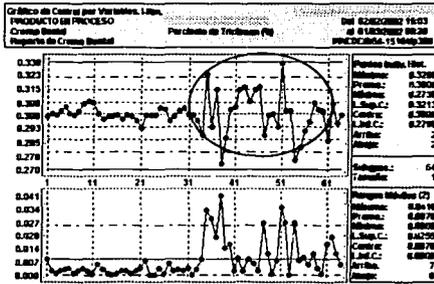
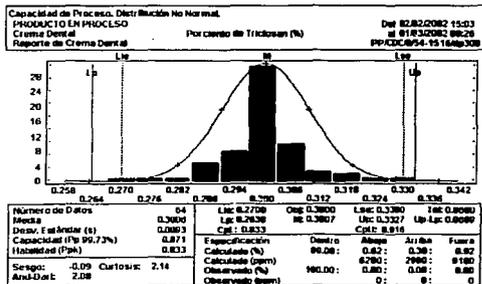
**Fecha:** Marzo, 2002.

**Situación:**

De acuerdo con el reporte de cierre del mes de marzo la fórmula TDB, presentó un  $C_{pk}$  inferior a 1.0 para la variable *Porcentaje de Triclosán*, dicho reporte corresponde a los primeros 64 lotes producidos, cabe mencionar que en el reporte de arranque de fórmula se obtuvo un  $C_{pk}$  de 1.877 empleando los primeros 32 lotes.

Al analizar la gráfica de control correspondiente (figura 1), se observa que a partir del lote no. 35 se tiene un cambio brusco teniendo datos que se salen en ambos límites de control, curiosamente la variación en el proceso coincide con el cambio de lote de materia prima (Irgacare).

**Figura 1.-Distribución y gráfica de control para TDB <sup>(77)</sup>. Los datos dentro del círculo corresponden a los lotes 35 al 60.**



Con el fin de identificar las posibles causas que originaron el problema, se realizó un diagrama causa-efecto, que se muestra a continuación:

<sup>77</sup> Los datos graficados son: Número de batch vs porcentaje de Triclosán por el caso de la *Gráfica de Control* y porcentaje de Triclosán vs frecuencia para el *Histograma de Frecuencias*.

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

### 5. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

**Problema 1:** Variación excesiva en % de triclosán.

**Fecha:** Marzo, 2002.

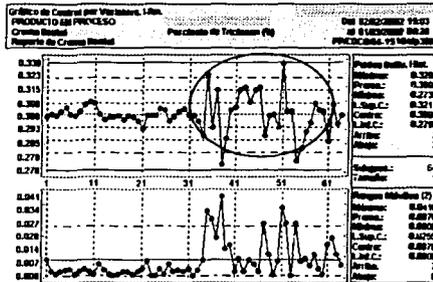
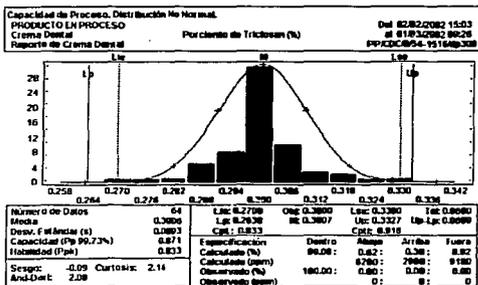
**Situación:**

De acuerdo con el reporte de cierre del mes de marzo la fórmula TDB, presentó un  $C_{pk}$  inferior a 1,0 para la variable *Porcentaje de Triclosán*, dicho reporte corresponde a los primeros 64 lotes producidos, cabe mencionar que en el reporte de arranque de fórmula se obtuvo un  $C_{pk}$  de 1.877 empleando los primeros 32 lotes.

Al analizar la gráfica de control correspondiente (figura 1), se observa que a partir del lote no. 35 se tiene un cambio brusco teniendo datos que se salen en ambos límites de control, curiosamente la variación en el proceso coincide con el cambio de lote de materia prima (Irgacare).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Figura 1.-Distribución y gráfica de control para TDB <sup>(17)</sup>. Los datos dentro del círculo corresponden a los lotes 35 al 60.**

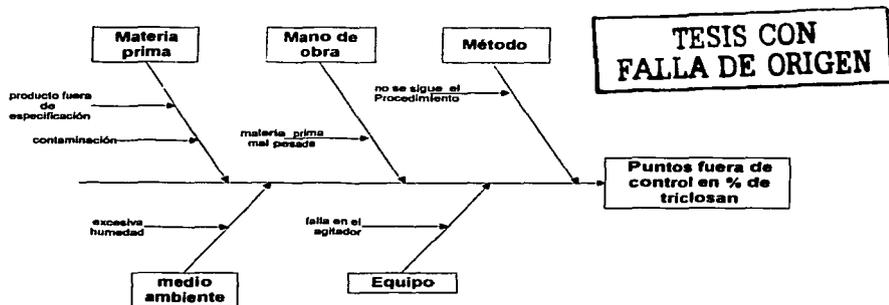


Con el fin de identificar las posibles causas que originaron el problema, se realizó un diagrama causa-efecto, que se muestra a continuación:

<sup>17</sup> Los datos graficados son: Número de batch vs porcentaje de Triclosán para el caso de la *Gráfica de Control* y porcentaje de Triclosán vs frecuencia para el *Histograma de Frecuencias*.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

**Figura 2.- Diagrama de causa Causa-Efecto.**



De acuerdo con el diagrama de causa-efecto, el grupo de trabajo formado por los diferentes responsables de las áreas de manufactura, control estadístico, investigación y laboratorio, decidió implementar el siguiente plan de acción:

1. Revisión de órdenes de manufactura para identificar variaciones en las pesadas, y determinar los lotes de materia prima empleados.
2. Estratificación de los resultados de acuerdo a la información obtenida en el punto número 1.
3. Verificar el comportamiento en otras cremas donde se haya empleado el mismo lote de materia prima.
4. Revisar los resultados de los análisis de materias primas (% de irgacare)

En la siguiente tabla se muestran los lotes de materia prima y números de remisión correspondientes a los números de lote que presentaron variación en la gráfica de control de la figura 1.

**Tabla 1.-Números de lote empleados en la crema TDB**

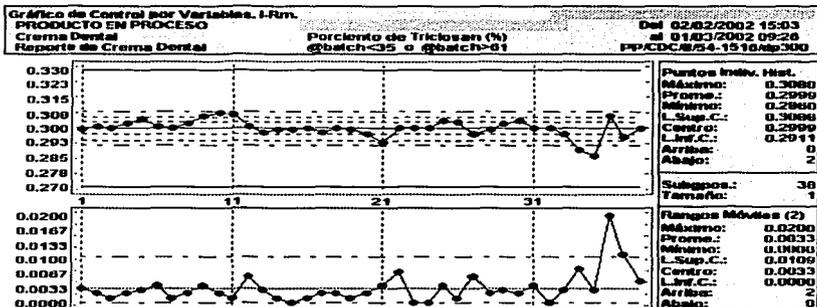
Número de lote.	Lote de materia prima	No.de remisión
1-4	107085DIC5	459210
5-34	109096DIC5	459484
35-61	109094DIC5	460458
62-65	109096DIC5	460724

De acuerdo con la tabla anterior, se puede observar que el lote 109094DIC fué el que aparentemente provocó el problema, con el fin de verificarlo, se realizó una

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

gráfica de control únicamente de los lotes 35 al 61 para observar si se presentaban valores fuera de los límites de control (figura 3).

Figura 3.- Gráfica de control correspondiente a los lotes manufacturados con el lote de materia prima 109096DICS.



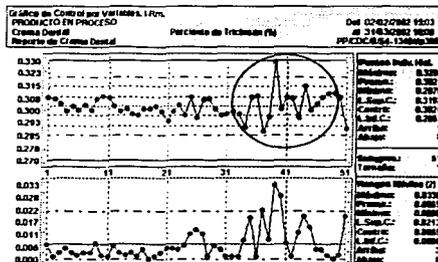
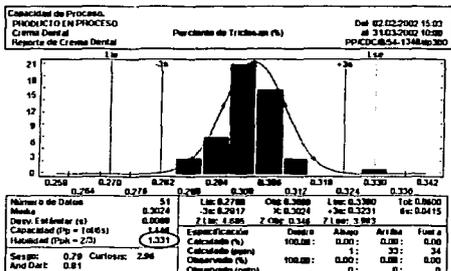
Evidentemente el cambio de lote de materia prima influyó negativamente en la habilidad del proceso.

Revisando las órdenes de manufactura de todas las fórmulas que emplean Irgacare, se encontró que la única que empleó el mismo lote y remisión fue la crema TLB, por lo que se procedió a analizar la gráfica correspondiente a los valores de porcentaje de triclosán obtenidos por esta crema, y verificar de esta manera, si se presentó alguna variación en los mismo. La gráfica correspondiente se muestra en la figura 4.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

Figura 4.- Distribución y gráfica de control para la crema TLB, los resultados dentro del círculo rojo corresponden al lote y remisión con el problema.



Aunque en este caso el  $C_{pk}$  es mayor de 1.33<sup>(18)</sup>, al observar la gráfica de control se nota una variación mayor durante el uso del lote problema.

### Conclusión:

Por todo lo anterior, se concluye que la materia prima (irgacare) está provocando una variación en el proceso, por lo que se recomienda realizar una auditoría al proveedor de dicha materia prima, con el fin de garantizar que la misma cumpla con las especificaciones requeridas por la empresa.

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

<sup>18</sup> El valor de  $C_{pk}$  se puede observar en la parte inferior izquierda del Histograma de Frecuencias.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

**Problema 2:** Cambio de especificaciones en las cremas dentales T1 y FS.

**Fecha:** Mayo, 2002

### **Situación:**

El grupo corporativo de control estadístico de proceso decidió trabajar en la implementación de un plan de acción que tiene como objetivo obtener un  $C_{pk}$  de 1.33 en los siguientes parámetros críticos:

- Fluoruro
- triclosán
- pH
- Gravedad específica

De acuerdo con los antecedentes presentados por el área de control estadístico, la habilidad de dichas cremas ha estado por arriba de 1.33, por lo que se sugiere un ajuste en los límites de especificación antes de optar por una modificación del proceso. Cabe mencionar que dicho ajuste puede llevarse a cabo ya que los límites establecidos por la Secretaría de Salud son mayores que los utilizados por la empresa. Para realizar dicha actividad, el área de control estadístico desarrolló un plan de acción tomando en cuenta las expectativas de los siguientes estándares:

**020 (Diseño del producto)** "Los productos deben tener especificaciones de liberación basadas tanto en los requerimientos del producto como en las capacidades del proceso".

**031 (Control de cambios)** "Todos los cambios que afecten la calidad deben evaluarse en su totalidad con el fin de que se aprueben formalmente y se implemente adecuadamente"

**022 (Control de proceso)** "Deben definirse e implementarse los procedimientos para identificar las fuentes de variación de proceso así como vigilar y controlar su impacto durante la fabricación"

**032 (Capacidad de proceso)** " Deben emplearse medidas estadísticas de conformidad con las especificaciones de producto y parámetros de control de proceso, efectuar correcciones y planear mejoras basándose en estos resultados.

### **Plan de acción**

Como resultado de estos análisis se detectaron fuentes de variación atribuibles que afectaban directamente el desempeño del proceso. Con el fin de atacar dichas causas, se elaboró el presente Plan de Acción con el que se pretende eliminar dichas fuentes de variación y de esta manera alcanzar el objetivo del corporativo de obtener un  $C_{pk}$  de 1.33.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

### **1.- pH.**

Históricamente los mejores resultados en cuanto a  $C_{pk}$ 's se tienen en el pH, no obstante puede obtenerse una considerable mejora llevando a cabo las siguientes actividades:

- Identificación de especificaciones óptimas de acuerdo al comportamiento del proceso.
- Seguimiento de investigaciones de falla (se han encontrado casos en donde se demuestra que la variabilidad con la que se reciben algunas materias primas están provocando variabilidad excesiva en el producto final p.e. pH de Zeodent 165)
- Implementación del procedimiento MAN-CAL-003-01<sup>(19)</sup> para los análisis de materias primas.

### **2.- Peso específico.**

Para el caso de peso específico se ha encontrado que para cremas que se manufacturan en diferentes equipos se tienen distribuciones diferentes lo que provoca que el desempeño de la fórmula sea bajo debido al incremento en la variabilidad, las actividades que nos ayudaran a incrementar los indicadores de desempeño se describen a continuación:

- Identificación de especificaciones óptimas de acuerdo al comportamiento del proceso
- Incluir en las órdenes de manufactura y en SUPERCEP<sup>20</sup> un espacio para capturar el equipo de vacío empleado para llevar a cabo un análisis de estratificación y correlación, ya que algunas cremas han demostrado ser más sensibles a cambios en el vacío.
- Instalación de 3 nuevas bombas de vacío Nash para mejorar el desempeño de los equipos.

### **3.- PPM Flúor.**

De acuerdo con los resultados del análisis de indicadores de desempeño se observó que para el caso de ppm de flúor se tiene un bajo desempeño en este parámetro y las actividades propuestas son las siguientes:

- Identificación de especificaciones óptimas de acuerdo al comportamiento del proceso.
- Verificación del seguimiento del procedimiento de manufactura mediante el muestreo y análisis de 30 lotes en las fórmulas seleccionadas.
- Correr experimentación en la fórmula T1 tomando 3 muestras por lotes en 30 lotes continuos con el fin de conocer la variabilidad.

<sup>19</sup> Procedimiento para la determinación del pH de las materias primas.

<sup>20</sup> SUPERCEP: Software utilizado para la elaboración de gráficos de control, histogramas de frecuencia y cálculo de habilidades y desempeño de procesos.

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

- Análisis y seguimiento de causas especiales de variación en reuniones de calidad donde intervienen las áreas de Calidad, Manufactura, Analítica, Transferencia de Tecnología y CEP.

### **4.- % de triclosán.**

Para el caso de triclosán al igual que en el caso anterior, se tiene un bajo desempeño debido a que aún se tienen causas especiales que no han sido identificadas plenamente, se proponen las siguientes actividades:

- Identificación de especificaciones óptimas de acuerdo al comportamiento del proceso.
- Verificación del seguimiento del procedimiento de manufactura mediante el muestreo y análisis de 30 lotes en las fórmulas seleccionadas.
- Correr experimentación en la fórmula T1 tomando 3 muestras por lote en 30 lotes continuos con el fin de conocer la variabilidad.
- Análisis y seguimiento de causas especiales de variación en reuniones de calidad donde intervienen las áreas de Calidad, Manufactura, Analítica, Transferencia de Tecnología y CEP.

### ***Optimización de límites de especificación.***

El presente reporte fue elaborado con la finalidad de incrementar los valores de  $C_{pk}$  buscando las especificaciones óptimas para cada parámetro controlado. En resumen las actividades llevadas a cabo se describen a continuación:

- Análisis estadístico (comportamiento histórico) para identificar patrones de comportamiento anormales.
- Selección de fórmulas que muestren comportamiento estable con adhesión a alguno de los límites, lo cual permita una reubicación de la especificación sin alterar el rango.

Después de realizar las actividades mencionadas anteriormente, surge la siguiente propuesta de cambio de especificación:

### **Emisión de propuesta de especificación.**

#### **Marco teórico**

Se sabe que un proceso está en Control Estadístico cuando no es afectado por causas especiales de variación. Si las variaciones que se presentan son debidas sólo a causas comunes, el proceso está bajo "Control Estadístico". Si en el proceso se presentan causas especiales de variación se dice que está "fuera de control".

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

En términos de las Gráficas de Control podemos concluir que para que un proceso esté en control, todos los puntos deben caer dentro de los Límites de Control y deben estar dispersos al azar con respecto a la Línea Central.

Para evaluar si el proceso se encuentra dentro de control estadístico, debemos buscar evidencia de variaciones extremas, desviaciones y tendencias. La presencia de cualquier indicación de una causa especial debe garantizar una investigación en el proceso. La ausencia de estas señales nos dan la seguridad de que nuestros datos representan correctamente las posibilidades del proceso.

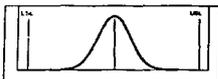
Solo cuando nuestros datos son de un sistema de causas comunes podemos pensar que se justifica comparar los resultados del proceso con las condiciones impuestas por las especificaciones.

De acuerdo con lo anterior el primer paso para evaluar si en un proceso es aplicable un ajuste en los límites de especificación es evaluar la habilidad del proceso.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Como se ve, el índice  $C_p$  permite calificar la variabilidad tanto del producto como del proceso, siendo mayor la capacidad de cumplir con la especificación, mientras mayor es el valor de  $C_p$ .

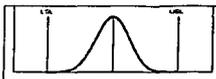
Una vez evaluada la habilidad del proceso para cada uno de los parámetros y para todas las formulas se procede a analizar cada uno tomando en cuenta los siguientes casos posibles:



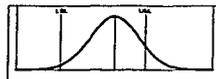
A: Proceso altamente hábil



A: Proceso potencialmente hábil



A: Proceso marginal



A: Proceso no hábil

$C_p > 1.0$

$C_p = 1.0$

$C_p = 1.0$

$C_p < 1.0$

$C_{pk} > 1.0$

$C_{pk} < 1.0$

$C_{pk} = 1.0$

$C_{pk} < 1.0$

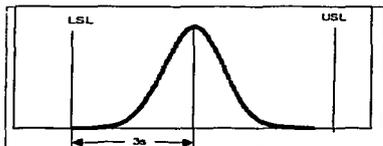
**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## **CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL**

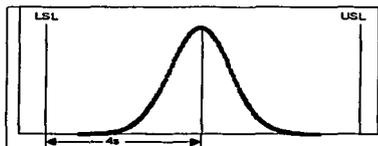
Como ya se mencionó anteriormente el objetivo del corporativo es alcanzar valores de  $C_{pk}$  de 1.33 con lo que se tiene una probabilidad de 99.994% de obtener resultados dentro de los límites de especificación.

Las figuras a) y b) muestran la distribución de un proceso controlado en  $3\sigma$  y  $4\sigma$  respectivamente.

a)



b)



Una vez que se han identificado y eliminado las causas especiales de variación y que el proceso muestra ser potencialmente hábil se procede a simular especificaciones en SUPERCEP<sup>(21)</sup>, hasta obtener una habilidad de proceso superior a 1.33, para posteriormente evaluar el desempeño del proceso empleando las siguientes fórmulas:

$$C_{pk\ Ise} = \frac{\text{Especificación Superior} - \text{Promedio}}{3 \text{ veces la desviación estándar}} = \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma}$$

$$C_{pk\ lie} = \frac{\text{Promedio} - \text{Especificación Inferior}}{3 \text{ veces la desviación estándar}} = \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma}$$

De los valores que se obtengan, se toma en cuenta el que resulte más bajo.

$$C_{pk} = \text{Min}(C_{pk\ lie}, C_{pk\ Ise})$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

<sup>21</sup> SUPERCEP: Software utilizado para elaboración de gráficas y cálculos estadísticos.

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

Después de realizar la simulación, las especificaciones propuestas son las siguientes:

### **Propuesta de Especificaciones**

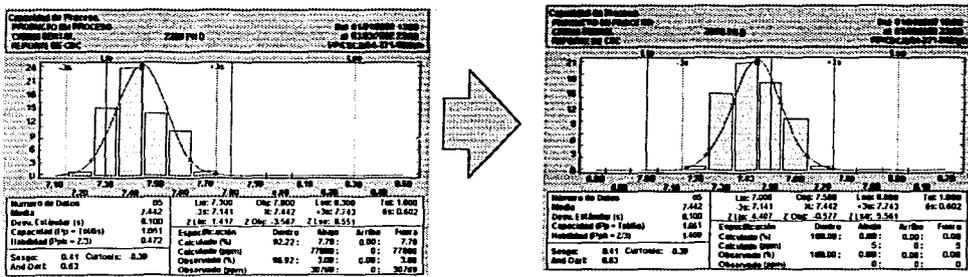
La siguiente tabla (tabla 1), muestra las especificaciones actuales vs las especificaciones sugeridas de la característica pH para la crema dental FSV. En la figura 1 se observa la simulación correspondiente.

**Tabla 1.- Especificaciones actuales vs especificaciones sugeridas para la característica pH.**

Fórmula: FSV	Característica: pH	
	<i>Especificación actual</i>	<i>Especificación sugerida</i>
<i>Límite superior de especificación</i>	8.3	8.0
<i>Límite inferior de especificación</i>	7.3	7.0
<i>Rango</i>	1.0	1.0

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

**Figura 1.-Ajuste en el centro de especificación para FSV (pH).**



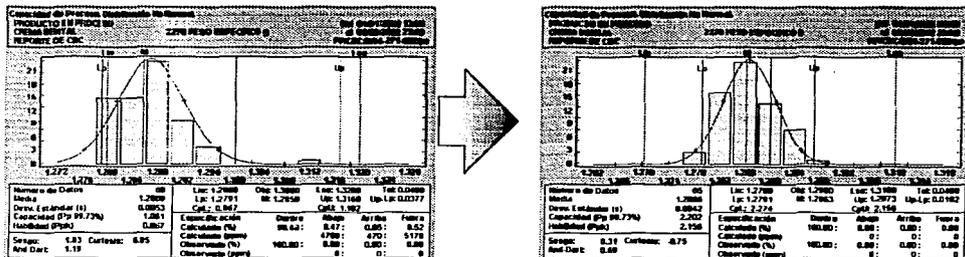
En la tabla 2 se muestran las especificaciones actuales vs las especificaciones sugeridas de la característica *Peso Específico* para las crema dentales FSV y T1. En las figuras 2 y 3 se observan las simulaciones correspondientes.

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

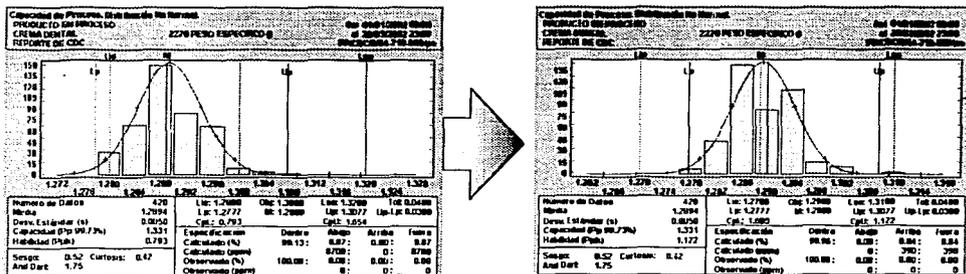
**Tabla 2.- Especificaciones actuales vs especificaciones sugeridas para la característica Peso Específico.**

Fórmula: FSV/ T1			Característica: peso específico	
			Especificación actual	Especificación sugerida
Limite superior de especificación	de	1.32		1.31
Limite inferior de especificación	de	1.28		1.27
Rango		0.04		0.04

**Figura 2.-Ajuste en el centro de especificación para FSV (Peso Específico).**



**Figura 3.- Ajuste en el centro de especificación para T1 (Peso Específico).**



**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

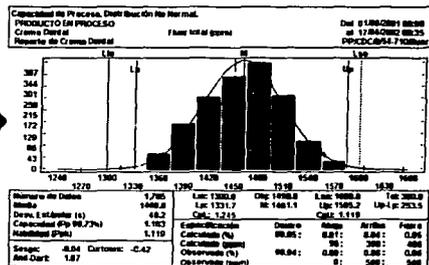
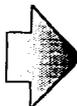
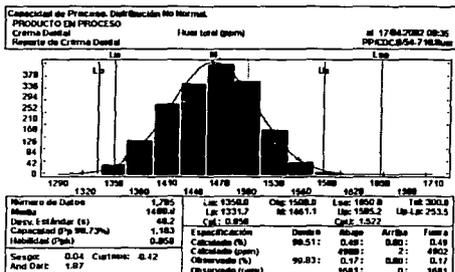
## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

En la tabla 3 se muestran las especificaciones actuales vs las especificaciones sugeridas de la característica *PPM de Flúor* para las crema dentales FSV y T1. En las figuras 4 y 5 se observan las simulaciones correspondientes.

**Tabla 3.- Especificaciones actuales vs especificaciones sugeridas para la característica PPM de Flúor.**

<b>Fórmula: T1 / FSV</b>		<b>Característica: ppm flúor</b>	
<i>Límite superior</i>	<i>de</i>	<b>Especificación actual</b>	<b>Especificación sugerida</b>
		1650	1600
<i>Límite inferior</i>	<i>de</i>	1350	1300
<i>Rango</i>		300	300

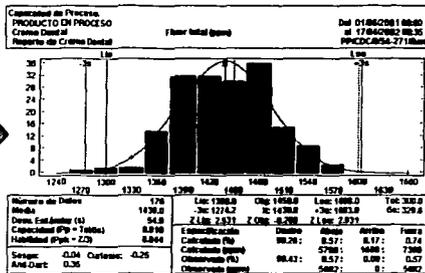
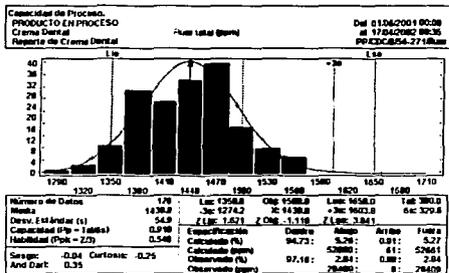
**Figura 4.- Ajuste de especificación para T1 (PPM de Flúor).**



FALLA DE ORIGEN

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

Figura 5.-Ajuste de especificación para FSV.



En la siguiente tabla (tabla 4), se muestran las especificaciones actuales vs las especificaciones sugeridas de la característica % de Triclosán para las crema dentales FSV y T1. En las figuras 6 y 7 se observan las simulaciones correspondientes.

Tabla 4.- Especificaciones actuales vs especificaciones sugeridas para la característica % de Triclosán.

**Fórmula: CDC T1 / FSV**

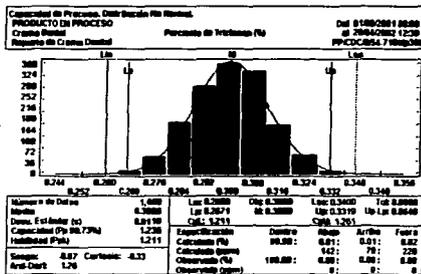
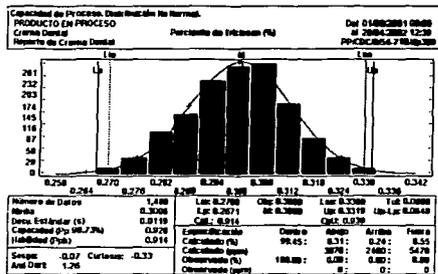
**Característica: % de triclosan**

	Especificación actual		Especificación sugerida
Límite superior de especificación	0.33	0.34	
Límite inferior de especificación	0.27	0.26	
Rango	0.06	0.08	

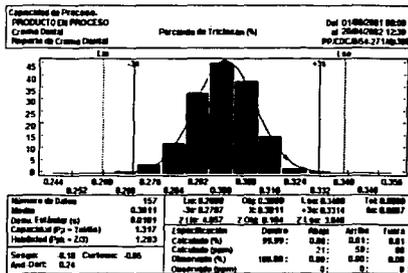
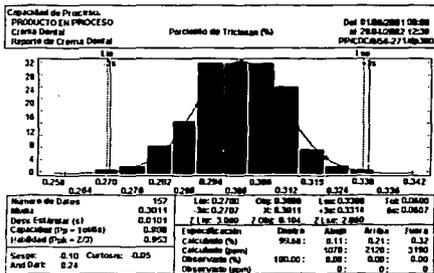
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CONTROL ESTADÍSTICO PARA UN PROCESO DE MANUFACTURA DE CREMA DENTAL

**Figura 6.-Ajuste de especificaciones para T1(% de Triclosán)**



**Figura 7.-Ajuste de especificaciones para FSV(% de Triclosán)**



### CONCLUSIONES:

De acuerdo con las gráficas obtenidas en la simulación, es evidente que al cambiar las especificaciones se obtiene un aumento en los valores de  $C_p$  y  $C_{pk}$  ya que la media del proceso se centra al mover los límites, tal situación se ve reflejada directamente en el valor de dichos índices, por lo tanto, se concluye que el plan de acción resultante por el área de control estadístico fue el adecuado.

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

## **6. CONCLUSIONES GENERALES**

Con base a los resultados obtenidos en el presente trabajo se tienen las siguientes conclusiones:

- La estadística es el medio más económico y eficaz para el control de procesos, ya que los recursos utilizados se encuentran generalmente en cualquier tipo de planta y de no ser así, la inversión para la implementación de esta actividad es mínima comparada con los beneficios obtenidos.
- Los beneficios del Control Estadístico se reflejan en un incremento de la productividad, reducción de costos, mejoramiento constante del producto, y por lo tanto, en la satisfacción del cliente; esto se debe a que al identificar las causas de variación en el proceso, disminuye notablemente la presencia de productos defectuosos, disminuyendo de esta manera el costo total del producto y aumentando la calidad del mismo.
- Como se observó en los ejemplos de aplicación, es necesaria la participación de las diferentes áreas involucradas en el proceso, para la identificación y resolución de problemas de calidad. Otro aspecto de suma importancia es la capacitación del personal, el cual debe ser capaz de interpretar los datos, los diagramas y las gráficas obtenidos en la aplicación de las herramientas del CEP, con el fin de identificar situaciones anormales en el comportamiento del proceso.
- La Habilidad del Proceso y el Desempeño del Proceso, son dos herramientas estadísticas que junto con las herramientas básicas del CEP, proporcionan la información necesaria para saber si el proceso utilizado es el óptimo para cumplir con las especificaciones requeridas.
- Al aumentar la calidad de los productos, la satisfacción del cliente se ve reflejada en el aumento de las ventas y la disminución de las quejas de consumidor, por lo tanto, elaborar productos de buena calidad es fundamental si se pretende ocupar un puesto líder en el mercado.

ANNEYS

115-A

**ANEXO I. DATOS DE PPM DE FLUOR OBTENIDOS DURANTE UN MES DE PRODUCCIÓN**

LOTE	PPM FLUOR	ORDEN CRECIENTE
6122	1018	905
6123	1011	910
6124	1051	911
6125	1013	912
6126	1002	919
6127	1048	919
6128	1010	919
6129	1019	919
6130	963	920
6131	974	920
6132	978	920
6133	971	920
6134	979	922
6135	972	923
6136	999	923
6137	1049	925
6138	1023	926
6139	1050	926
6140	1011	927
6141	991	928
6142	1058	929
6143	972	929
6144	1003	929
6145	1018	930
6146	1010	932
6147	1048	932
6148	973	932
6149	978	932
6150	971	934
6151	978	935
6152	965	935
6153	952	935
6154	905	935
6155	929	935
6156	950	935
6157	1020	936
6158	994	936
6159	1020	937
6160	963	937
6161	975	938
6162	978	938
6163	965	939
6164	951	940
6165	910	942
6166	930	942
6167	951	944
6168	1021	944
6169	964	945
6170	1001	946
6171	1000	946
6172	972	946
6173	998	946
6174	1049	946
6175	1023	946
6176	1050	946
6177	1011	946
6178	991	947
6179	1056	947
6180	972	947
6181	1004	947
6182	1018	948
6183	1010	948
6184	1048	949
6185	998	949
6186	1018	949
6187	1012	949
6188	1051	949

LOTE	PPM FLUOR	ORDEN CRECIENTE
6189	1015	949
6190	1002	950
6191	1052	950
6192	1010	950
6193	1037	950
6194	962	950
6195	974	950
6196	964	950
6197	963	951
6198	1069	951
6199	1028	951
6200	1020	951
6201	1065	951
6202	1024	951
6203	1046	951
6204	1029	951
6205	1015	951
6206	1017	951
6207	1030	952
6208	1082	952
6209	1020	952
6210	1050	952
6211	1020	952
6212	1024	952
6213	984	953
6214	1074	953
6215	1001	953
6216	1012	953
6217	1007	953
6218	1018	953
6219	975	954
6220	994	954
6221	1023	954
6222	967	954
6223	1029	954
6224	982	954
6225	1021	954
6226	1001	955
6227	957	955
6228	1027	956
6229	1048	956
6230	1051	956
6231	968	956
6232	952	956
6233	1044	957
6234	1002	957
6235	979	957
6236	981	957
6237	1004	957
6238	972	957
6239	958	957
6240	919	958
6241	946	958
6242	935	958
6243	1021	958
6244	932	958
6245	1000	958
6246	1016	958
6247	998	959
6248	973	959
6249	1005	959
6250	985	959
6251	925	960
6252	1020	960
6253	992	960
6254	986	960
6255	996	960

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

ANEXO I. DATOS DE PPM DE FLUOR OBTENIDOS DURANTE UN MES DE PRODUCCIÓN (CONTINUACIÓN)

SERIE	LOTE	PPM FLUOR	ORDEN CRECIENTE
	8256	962	961
	8257	962	961
	8258	1001	961
	8259	919	961
	8260	987	961
	8261	1013	962
	8262	983	962
	8263	987	962
	8264	976	962
	8265	978	962
	8266	972	962
	8267	1002	962
	8268	966	962
	8269	977	962
	8270	1015	962
	8271	988	962
	8272	1002	963
	8273	971	963
	8274	971	963
	8275	962	963
	8276	968	963
	8277	952	964
	8278	972	964
	8279	973	964
	8280	959	964
	8281	952	964
	8282	992	965
	8283	954	965
	8284	993	965
	8285	954	965
	8286	967	965
	8287	972	965
	8288	978	965
	8289	992	966
	8290	1038	966
	8291	947	966
	8292	980	966
	8293	963	966
	8294	953	966
	8295	973	966
	8296	974	967
	8297	958	967
	8298	960	967
	8299	988	967
	8300	988	967
	8301	994	967
	8302	967	967
	8303	957	968
	8304	972	968
	8305	972	968
	8306	1044	968
	8307	1001	968
	8308	982	968
	8309	982	968
	8310	1004	968
	8311	974	968
	8312	969	969
	8313	920	969
	8314	978	969
	8315	935	969
	8316	976	969
	8317	932	970
	8318	980	970
	8319	982	970
	8320	1004	970
	8321	972	970
	8322	1007	970
	8323	1044	970
	8324	1001	970
	8325	958	970
	8326	920	970
	8327	1021	970
	8328	933	971
	8329	948	971

SERIE	LOTE	PPM FLUOR	ORDEN CRECIENTE
	8330	935	971
	8331	1027	971
	8332	1048	971
	8333	1051	971
	8334	970	971
	8335	1006	971
	8336	1044	971
	8337	1031	971
	8338	979	971
	8339	981	971
	8340	1034	972
	8341	980	972
	8342	968	972
	8343	920	972
	8344	1002	972
	8345	979	972
	8346	981	972
	8347	1004	972
	8348	980	972
	8349	1023	972
	8340	1020	972
	8341	978	972
	8342	966	972
	8343	993	972
	8344	994	972
	8345	974	972
	8346	950	972
	8347	979	972
	8348	960	972
	8349	1001	972
	8350	1018	972
	8351	988	973
	8352	988	973
	8353	987	973
	8354	990	973
	8355	1008	973
	8356	975	973
	8357	1037	973
	8358	988	973
	8359	988	973
	8360	973	973
	8361	973	973
	8362	992	973
	8363	987	973
	8364	987	974
	8365	970	974
	8366	975	974
	8367	1037	974
	8368	988	974
	8369	988	974
	8370	992	974
	8371	991	974
	8372	987	974
	8373	970	974
	8374	970	974
	8375	978	975
	8376	992	975
	8377	984	975
	8378	987	975
	8379	954	975
	8380	983	975
	8381	967	975
	8382	1009	975
	8383	953	975
	8384	988	975
	8385	989	975
	8386	973	975
	8387	992	976
	8388	988	976
	8389	987	976
	8390	970	976
	8391	978	976
	8392	992	977

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ANEXO I. DATOS DE PPM DE FLUOR OBTENIDOS DURANTE UN MES DE PRODUCCIÓN (CONTINUACIÓN)

LOTE	PPM FLUOR	ORDEN CRECIMIENTO
6393	986	977
6394	997	977
6397	974	977
6396	998	977
6397	986	977
6398	996	977
6399	961	977
6400	953	977
6401	1000	978
6402	919	978
6403	997	978
6404	1013	978
6405	982	978
6406	997	978
6407	976	978
6408	978	978
6409	972	978
6410	1001	978
6411	925	978
6412	998	978
6413	1015	978
6414	984	978
6415	1000	979
6416	986	979
6417	1020	979
6418	989	979
6419	1003	979
6420	985	979
6421	1015	979
6422	995	979
6423	1009	979
6424	982	980
6425	992	980
6426	970	980
6427	952	980
6428	954	980
6429	970	980
6430	980	980
6431	971	980
6432	992	980
6433	969	980
6434	961	980
6435	995	980
6436	974	980
6437	920	981
6438	972	981
6439	968	981
6440	984	981
6441	919	981
6442	929	981
6443	998	981
6444	960	981
6445	947	982
6446	987	982
6447	923	982
6448	978	982
6449	954	982
6450	953	982
6451	942	982
6452	964	982
6453	951	982
6454	951	982
6455	990	982
6456	970	982
6457	983	982
6458	950	982
6459	960	983
6460	937	983
6461	1009	983
6462	982	983
6463	946	983

LOTE	PPM FLUOR	ORDEN CRECIMIENTO
6464	989	983
6465	962	983
6466	990	983
6467	957	984
6468	992	984
6469	957	984
6470	958	984
6471	986	984
6472	927	984
6473	966	984
6474	945	984
6475	987	984
6476	950	984
6477	966	984
6478	993	984
6479	992	984
6480	977	984
6481	991	984
6482	1003	984
6483	1015	984
6484	1028	984
6485	964	985
6486	1029	985
6487	1041	985
6488	1013	985
6489	1020	985
6490	1007	985
6491	984	985
6492	1006	985
6493	983	985
6494	985	985
6495	968	986
6496	986	986
6497	968	986
6498	1014	986
6499	1003	986
6500	956	986
6501	981	986
6502	984	986
6503	983	986
6504	952	986
6505	976	986
6506	985	986
6507	987	986
6508	990	986
6509	1020	987
6510	990	987
6511	999	987
6512	988	987
6513	1001	987
6514	1012	987
6515	982	987
6516	982	987
6517	971	987
6518	950	987
6519	975	987
6520	980	987
6521	982	987
6522	974	988
6523	1006	988
6524	984	988
6525	1000	988
6526	958	988
6527	977	988
6528	959	988
6529	948	988
6530	964	988
6531	985	988
6532	959	988
6533	989	988
6534	967	988

TRIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ANEXO I. DATOS DE PPM DE FLUOR OBTENIDOS DURANTE UN MES DE PRODUCCIÓN (CONTINUACIÓN)

LOTE	PPM FLUOR	ORDEN CEMENTO
6535	987	958
6536	987	958
6537	976	958
6538	949	958
6539	946	958
6540	981	959
6541	964	959
6542	1018	959
6543	1004	959
6544	1010	958
6545	985	959
6546	1037	959
6547	988	959
6548	1003	959
6549	1030	958
6550	977	958
6551	1019	958
6552	1014	958
6553	1039	958
6554	956	958
6555	995	958
6556	992	958
6557	1027	958
6558	1037	958
6559	1017	958
6560	963	958
6561	1021	958
6562	1003	958
6563	970	958
6564	973	958
6565	966	958
6566	970	958
6567	955	958
6568	972	958
6569	972	958
6570	1002	958
6571	984	958
6572	1027	958
6573	968	958
6574	1011	958
6575	1038	958
6576	987	958
6577	995	958
6578	971	958
6579	951	958
6580	1004	958
6581	989	958
6582	996	958
6583	975	958
6584	1012	958
6585	1011	958
6586	980	958
6587	975	958
6588	988	958
6589	980	958
6590	960	958
6591	967	958
6592	1013	958
6593	988	958
6594	986	958
6595	951	958
6596	1021	958
6597	954	958
6598	984	958
6599	998	958
6600	1049	958
6601	957	958
6602	946	958
6603	955	958
6604	955	958
6605	1019	958
6606	972	958
6607	978	958
6608	984	958
6609	1041	958
6610	1003	958

LOTE	PPM FLUOR	ORDEN CEMENTO
6611	989	958
6612	977	958
6613	987	958
6614	985	958
6615	987	958
6616	948	958
6617	985	958
6618	984	958
6619	1022	957
6620	1044	957
6621	1010	957
6622	1037	957
6623	1013	957
6624	982	957
6625	1011	958
6626	951	958
6627	979	958
6628	971	958
6629	980	958
6630	986	958
6631	1007	958
6632	1034	958
6633	985	958
6634	977	958
6635	988	958
6636	1014	958
6637	986	958
6638	949	958
6639	958	958
6640	960	958
6641	982	1000
6642	988	1000
6643	973	1000
6644	984	1000
6645	1038	1000
6646	950	1000
6647	956	1000
6648	1037	1000
6649	1004	1000
6650	1010	1000
6651	971	1001
6652	1003	1001
6653	1028	1001
6654	989	1001
6655	992	1001
6656	1021	1001
6657	984	1001
6658	982	1001
6659	980	1001
6660	977	1001
6661	950	1001
6662	946	1001
6663	940	1002
6664	951	1002
6665	972	1002
6666	976	1002
6667	987	1002
6668	983	1002
6669	974	1002
6670	974	1002
6671	950	1002
6672	974	1002
6673	974	1002
6674	983	1003
6675	971	1003
6676	975	1003
6677	977	1003
6678	976	1003
6679	1003	1003
6680	1010	1003
6681	971	1003
6682	950	1003
6683	978	1003
6684	984	1004
6685	939	1004
6686	935	1004

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ANEXO I. DATOS DE PPM DE FLUOR OBTENIDOS DURANTE UN MES DE PRODUCCIÓN (CONTINUACIÓN)

LOTE	PPM FLUOR	ORDEN CRECIENTE
6687	668	1004
6688	989	1004
6689	920	1004
6690	979	1004
6691	969	1004
6692	935	1004
6693	986	1004
6694	967	1004
6695	972	1004
6696	953	1005
6697	942	1005
6698	1006	1025
6699	1001	1025
6700	997	1025
6701	1013	1006
6702	987	1006
6703	1000	1006
6704	967	1006
6705	1000	1006
6706	1005	1006
6707	1010	1006
6708	1012	1007
6709	996	1007
6710	989	1007
6711	1019	1007
6712	1019	1007
6713	1012	1007
6714	996	1007
6715	1002	1008
6716	1007	1008
6717	1011	1008
6718	1034	1008
6719	1031	1008
6720	1011	1009
6721	984	1009
6722	981	1009
6723	997	1009
6724	989	1010
6725	974	1010
6726	934	1010
6727	984	1010
6728	984	1010
6729	936	1010
6730	950	1010
6731	975	1010
6732	1010	1010
6733	982	1010
6734	961	1010
6735	1015	1010
6736	985	1011
6737	999	1011
6738	1008	1011
6739	989	1011
6740	993	1011
6741	967	1011
6742	959	1011
6743	1016	1011
6744	921	1011
6745	952	1011
6746	960	1012
6747	971	1012
6748	972	1012
6749	911	1012
6750	1038	1000
6751	990	1000
6752	966	1000
6753	966	1000
6754	1037	1000
6755	1004	1000
6756	1010	1000
6757	1011	1001
6758	971	1001
6759	1019	1001
6760	980	1001
6761	967	1001
6762	967	1001
6763	944	1001
6764	901	1001
6765	901	1001
6766	901	1001
6767	901	1001
6768	901	1001
6769	901	1001
6770	901	1001
6771	901	1001
6772	901	1001
6773	901	1001
6774	901	1001
6775	901	1001
6776	901	1001
6777	901	1001
6778	901	1001
6779	901	1001
6780	901	1001
6781	901	1001
6782	901	1001
6783	901	1001
6784	901	1001
6785	901	1001
6786	901	1001
6787	901	1001
6788	901	1001
6789	901	1001
6790	901	1001
6791	901	1001
6792	901	1001
6793	901	1001
6794	901	1001
6795	901	1001
6796	901	1001
6797	901	1001
6798	901	1001
6799	901	1001
6800	901	1001

LOTE	PPM FLUOR	ORDEN CRECIENTE
6858	980	1001
6859	972	1001
6860	960	1001
6861	959	1001
6862	948	1001
6863	948	1001
6864	951	1002
6865	962	1002
6866	972	1002
6867	976	1002
6868	987	1002
6869	983	1002
6870	974	1002
6871	964	1002
6872	974	1002
6873	975	1003
6874	983	1003
6875	971	1003
6876	975	1003
6877	967	1003
6878	976	1003
6879	1000	1003
6880	1010	1003
6881	971	1003
6882	960	1003
6883	978	1003
6884	956	1004
6885	939	1004
6886	935	1004
6887	969	1004
6888	969	1004
6889	950	1004
6890	978	1004
6891	955	1004
6892	935	1004
6893	953	1004
6894	952	1004
6895	972	1004
6896	953	1005
6897	942	1005
6898	968	1005
6899	1001	1005
6900	987	1005
6901	986	1005
6902	987	1006
6903	1000	1006
6904	981	1006
6905	1003	1006
6906	1003	1006
6907	1010	1006
6908	1005	1006
6909	1005	1006
6910	1010	1006
6911	1006	1006
6912	1012	1006
6913	1007	1006
6914	1012	1006
6915	1012	1006
6916	1012	1006
6917	1012	1006
6918	1012	1006
6919	1012	1006
6920	1012	1006
6921	1012	1006
6922	1012	1006
6923	1012	1006
6924	1012	1006
6925	1012	1006
6926	1012	1006
6927	1012	1006
6928	1012	1006
6929	1012	1006
6930	1012	1006
6931	1012	1006
6932	1012	1006
6933	1012	1006
6934	1012	1006
6935	1012	1006
6936	1012	1006
6937	1012	1006
6938	1012	1006
6939	1012	1006
6940	1012	1006
6941	1012	1006
6942	1012	1006
6943	1012	1006
6944	1012	1006
6945	1012	1006
6946	1012	1006
6947	1012	1006
6948	1012	1006
6949	1012	1006
6950	1012	1006
6951	1012	1006
6952	1012	1006
6953	1012	1006
6954	1012	1006
6955	1012	1006
6956	1012	1006
6957	1012	1006
6958	1012	1006
6959	1012	1006
6960	1012	1006
6961	1012	1006
6962	1012	1006
6963	1012	1006
6964	1012	1006
6965	1012	1006
6966	1012	1006
6967	1012	1006
6968	1012	1006
6969	1012	1006
6970	1012	1006
6971	1012	1006
6972	1012	1006
6973	1012	1006
6974	1012	1006
6975	1012	1006
6976	1012	1006
6977	1012	1006
6978	1012	1006
6979	1012	1006
6980	1012	1006
6981	1012	1006
6982	1012	1006
6983	1012	1006
6984	1012	1006
6985	1012	1006
6986	1012	1006
6987	1012	1006
6988	1012	1006
6989	1012	1006
6990	1012	1006
6991	1012	1006
6992	1012	1006
6993	1012	1006
6994	1012	1006
6995	1012	1006
6996	1012	1006
6997	1012	1006
6998	1012	1006
6999	1012	1006
7000	1012	1006

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ANEXO I. DATOS DE PPM DE FLUOR OBTENIDOS DURANTE UN MES DE PRODUCCIÓN (CONTINUACIÓN)

LOTE	PPM FLUOR	ORDEN CRECIENTE
6734	861	1010
6730	1013	1020
6736	982	1011
6737	999	1013
6738	1038	1013
6739	989	1011
6740	993	1011
6741	987	1011
6742	959	1011
6743	1016	1013
6744	960	1011
6745	1011	1013
6746	990	1012
6747	971	1012
6748	972	1012
6749	911	1012
6750	984	1012
6751	981	1012
6752	1008	1012
6753	988	1013
6754	970	1013
6755	995	1013
6756	990	1013
6757	982	1013
6758	1002	1013
6759	990	1013
6760	951	1014
6761	960	1014
6762	1019	1014
6763	975	1015
6764	958	1015
6765	998	1015
6766	993	1015
6767	991	1015
6768	987	1015
6769	988	1015
6770	1012	1015
6771	959	1016
6772	982	1016
6773	1021	1017
6774	1017	1017
6775	974	1017
6776	974	1017
6777	1015	1018
6778	977	1018
6779	983	1018
6780	970	1018
6781	985	1018
6782	979	1018
6783	1026	1018
6784	946	1018
6785	958	1018
6786	947	1019
6787	990	1019
6788	957	1019
6789	1006	1019
6790	983	1019
6791	1019	1019
6792	1022	1020
6793	988	1020
6794	993	1020
6795	1011	1020
6796	1047	1020
6797	1004	1020
6798	1060	1020
6799	1006	1020
6800	1003	1020
6801	1039	1020
6802	1007	1021
6803	1000	1021
6804	1024	1021
6805	1025	1021
6806	1027	1021
6807	972	1021
6808	1000	1021

LOTE	PPM FLUOR	ORDEN CRECIENTE
6809	1035	1021
6810	1010	1022
6811	960	1022
6812	1037	1023
6813	966	1023
6814	995	1023
6815	982	1023
6816	938	1023
6817	963	1024
6818	1002	1024
6819	1018	1024
6820	995	1026
6821	1033	1026
6822	1009	1026
6823	977	1027
6824	950	1027
6825	991	1027
6826	992	1027
6827	951	1027
6828	948	1028
6829	949	1028
6830	951	1029
6831	977	1029
6832	949	1029
6833	977	1029
6834	1023	1030
6835	1008	1031
6836	1008	1033
6837	981	1035
6838	982	1037
6839	987	1037
6840	982	1037
6841	984	1037
6842	977	1037
6843	957	1037
6844	927	1037
6845	938	1038
6846	923	1038
6847	944	1041
6848	948	1041
6849	985	1044
6850	986	1044
6851	987	1044
6852	956	1044
6853	936	1044
6854	943	1046
6855	912	1048
6856	937	1048
6857	978	1048
6858	937	1048
6859	1026	1048
6860	981	1049
6861	992	1049
6862	993	1049
6863	1031	1049
6864	991	1050
6865	981	1050
6866	984	1050
6867	1011	1051
6868	985	1051
6869	995	1051
6870	989	1051
6871	1039	1052
6872	979	1056
6873	974	1056
6874	954	1060
6875	970	1063
6876	1010	1074
6877	954	1083

TESIS CON  
PALLA DE ORIGEN

## ANEXO II

## CONSTANTES PARA LOS LÍMITES DE LAS GRÁFICAS DE CONTROL

n	$A_2$	$D_3$	$D_4$	$d_2$
2	1.8806	0.0000	3.2686	1.128
3	1.0231	0.0000	2.5735	1.693
4	0.7285	0.0000	2.2822	2.059
5	0.5768	0.0000	2.1144	2.326
6	0.4833	0.0000	2.0039	2.534
7	0.4193	0.0758	1.9242	2.704
8	0.3726	0.1359	1.8641	2.847
9	0.3367	0.1838	1.8162	2.97
10	0.3082	0.2232	1.7768	3.078
11	0.2851	0.2559	1.7441	3.173
12	0.2658	0.2836	1.7164	3.258
13	0.2494	0.3076	1.6924	3.336
14	0.2353	0.3281	1.6719	3.407
15	0.2231	0.3468	1.6532	3.472
16	0.2123	0.3630	1.637	3.532
17	0.2028	0.3779	1.6221	3.588
18	0.1943	0.3907	1.6091	3.64
19	0.1866	0.4031	1.5969	3.689
20	0.1796	0.4145	1.5855	3.735
21	0.1733	0.4251	1.5749	3.778
22	0.1675	0.4344	1.5656	3.819
23	0.1621	0.4432	1.5568	3.858
24	0.1572	0.4516	1.5484	3.895
25	0.1526	0.4597	1.5403	3.931

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

ANEXO III CÁLCULOS PARA EL EJEMPLO DE ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Muestra	Vacío (cm Hg)	Peso Específico	$x^2$	$xy$	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	$y - \bar{y}$	$(x - \bar{x})(y - \bar{y})$
1	48.00	1.406	2304.0000	67.5840	-2.696333333	8.400336111	-0.064766667	0.245682056
2	48.20	1.417	2323.2400	68.2994	-2.696333333	7.281002778	-0.075766667	0.204443722
3	48.40	1.421	2342.5600	68.7764	-2.496333333	6.241669444	-0.071766667	0.179297056
4	48.60	1.430	2361.9600	69.4980	-2.296333333	5.282336111	-0.063766667	0.144258722
5	48.80	1.435	2381.4400	70.0280	-2.096333333	4.403002778	-0.057766667	0.121213722
6	49.00	1.445	2401.0000	70.8050	-1.896333333	3.603669444	-0.047766667	0.090677056
7	49.20	1.449	2420.6400	71.2908	-1.696333333	2.894336111	-0.043766667	0.074330389
8	49.40	1.460	2440.3600	72.1240	-1.496333333	2.245002778	-0.032766667	0.049095389
9	49.60	1.467	2460.1600	72.7632	-1.296333333	1.685669444	-0.025766667	0.033453722
10	49.80	1.474	2480.0400	73.4052	-1.096333333	1.206336111	-0.018766667	0.020612056
11	50.00	1.478	2500.0000	73.9000	-0.896333333	0.807002778	-0.014766667	0.013265389
12	50.20	1.490	2520.0400	74.7980	-0.696333333	0.487669444	-0.002766667	0.001932056
13	50.37	1.490	2537.1369	75.0513	-0.528333333	0.279136111	-0.002766667	0.001461722
14	50.58	1.496	2558.3364	75.6677	-0.318333333	0.101336111	-0.003233333	-0.001029278
15	50.80	1.499	2580.6400	76.1492	-0.098333333	0.009669444	0.006233333	-0.000612944
16	51.00	1.501	2601.0000	76.5510	0.101666667	0.010336111	0.008233333	0.000837056
17	51.20	1.510	2621.4400	77.3120	0.301666667	0.091002778	0.017233333	0.005196722
18	51.40	1.512	2641.9600	77.7168	0.501666667	0.251669444	0.019233333	0.009548722
19	51.60	1.522	2662.5600	78.5352	0.701666667	0.492336111	0.029233333	0.020512056
20	51.80	1.522	2683.2400	78.8396	0.901666667	0.813002778	0.029233333	0.026358722
21	52.00	1.525	2704.0000	79.3000	1.101666667	1.213669444	0.032233333	0.035510389
22	52.20	1.525	2724.8400	79.6050	1.301666667	1.694336111	0.032233333	0.041957056
23	52.40	1.528	2745.7600	80.0672	1.501666667	2.255002778	0.035233333	0.052908722
24	52.60	1.536	2766.7600	80.7936	1.701666667	2.895669444	0.043233333	0.073568722
25	52.80	1.532	2787.8400	80.8896	1.901666667	3.616336111	0.039233333	0.074608722
26	53.00	1.536	2809.0000	81.4080	2.101666667	4.417002778	0.043233333	0.090620556
27	53.20	1.544	2830.2400	82.1408	2.301666667	5.297669444	0.051233333	0.117922056
28	53.40	1.551	2851.5600	82.8234	2.501666667	6.258336111	0.056233333	0.145680389
29	53.60	1.540	2872.9600	82.5440	2.701666667	7.299002778	0.047233333	0.127608722
30	53.80	1.540	2894.4400	82.8520	2.901666667	8.419669444	0.047233333	0.137055389
$\sum =$	1526.95	44.783	77809.1533	2281.5184		89.94321667		2.138316333
$\bar{x} =$	50.90							
$\bar{y} =$	1.493							

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

ANEXO IV DISTRIBUCIÓN JI-CUADRADA

gl	$\chi^2_{0.0005}$	$\chi^2_{0.005}$	$\chi^2_{0.01}$	$\chi^2_{0.025}$	$\chi^2_{0.05}$	$\chi^2_{0.10}$	$\chi^2_{0.20}$	$\chi^2_{0.30}$	$\chi^2_{0.40}$
1	0.00000393	0.00003927	0.00015709	0.00098207	0.00393	0.0158	0.0642	0.1465	0.275
2	0.001	0.01	0.0201	0.0506	0.1026	0.2107	0.4463	0.7133	1.0217
3	0.0153	0.0717	0.1148	0.2158	0.3518	0.5844	1.0052	1.4237	1.8692
4	0.0639	0.207	0.2971	0.4844	0.7107	1.0636	1.6488	2.1947	2.7528
5	0.1581	0.4118	0.5543	0.8312	1.1455	1.6103	2.3428	2.9989	3.6555
6	0.2994	0.6757	0.8721	1.2373	1.6354	2.2041	3.0701	3.8276	4.5702
7	0.4849	0.9893	1.239	1.6899	2.1673	2.8331	3.8223	4.6713	5.4932
8	0.7104	1.3444	1.6465	2.1797	2.7326	3.4895	4.5936	5.5274	6.4226
9	0.97118	1.7349	2.0879	2.7004	3.3251	4.1682	5.3801	6.3933	7.357
10	1.2651	2.1558	2.5582	3.247	3.9403	4.4652	6.1791	7.2672	8.2955
11	1.587	2.6032	3.0535	3.8157	4.5748	5.5778	6.9887	8.1479	9.2373
12	1.9345	3.0738	3.5706	4.4038	5.226	6.3038	7.8073	9.0343	10.182
13	2.3049	3.565	4.1069	5.0087	5.8919	7.0415	8.6339	9.9257	11.1291
14	2.6966	4.0747	4.6604	5.6287	6.5706	7.07895	9.4673	10.8215	12.0785
15	3.1073	4.6009	5.2294	6.2621	7.2609	8.5468	10.307	11.7212	13.0296
16	3.5357	5.1422	5.8122	6.9077	7.9616	9.3122	11.1521	12.6249	13.9827
17	3.98	5.6973	6.4077	7.5642	8.6718	10.0852	12.0023	13.5307	14.9373
18	4.4391	6.2648	7.0149	8.2307	9.3904	10.8649	12.857	14.4399	15.8932
19	4.9125	6.8439	7.6327	8.9065	10.117	11.6509	13.7158	15.3517	16.8504
20	5.3978	7.4338	8.2604	9.5908	10.8508	12.4426	14.5784	16.2659	17.8088
21	5.8954	8.0336	8.8972	10.2829	11.5913	13.2396	15.4446	17.1823	18.7683
22	6.4041	8.6427	9.5425	10.9823	12.338	14.0415	16.314	18.1007	19.7288
23	6.924	9.2604	10.1957	11.6885	13.0905	14.848	17.1865	19.0211	20.6902
24	7.4528	9.8862	10.8563	12.4011	13.8484	15.6587	18.0618	19.9432	21.6525
25	7.9905	10.5196	11.524	13.1197	14.6114	16.4734	18.9397	20.867	22.6156
26	8.5374	11.1602	12.1982	13.8439	16.3792	17.2919	19.8202	21.7924	23.5794
27	9.0929	11.8077	12.8785	14.5734	16.1514	18.1139	20.703	22.7192	24.544
28	9.6558	12.4613	13.5647	15.3078	16.9279	18.9392	21.588	23.6475	25.5092
29	10.2266	13.1211	14.2564	16.0471	17.7084	19.7677	22.4451	24.577	26.4751
30	10.804	13.7867	14.9535	16.7908	18.4927	20.5992	23.3641	25.5078	27.4416
31	11.3883	14.4577	15.6565	17.5387	19.2806	21.4336	24.2351	26.4397	28.4087
32	11.9798	15.134	16.3622	18.2908	20.0719	22.2706	25.1478	27.3728	29.3763
33	12.5764	15.8152	17.0735	19.0467	20.8665	23.1102	26.0422	28.3069	30.3444
34	13.1797	16.5013	17.7891	19.8062	21.6643	23.9522	26.9383	29.2421	31.313

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

ANEXO IV. DISTRIBUCIÓN Ji-CUADRADA (Continuación)

gf	$\chi^2_{0.0005}$	$\chi^2_{0.0005}$	$\chi^2_{0.001}$	$\chi^2_{0.005}$	$\chi^2_{0.01}$	$\chi^2_{0.02}$	$\chi^2_{0.05}$	$\chi^2_{0.10}$	$\chi^2_{0.20}$	$\chi^2_{0.30}$	$\chi^2_{0.40}$
35	13.7879	17.1917	18.5089	20.5694	22.465	24.7966	27.8359	30.1782	32.2821		
40	16.9058	20.7056	22.1642	24.4331	26.5093	29.0505	32.3449	34.8719	37.134		
45	20.1361	24.3111	25.9012	28.3662	30.6123	33.3504	36.8844	39.5847	41.965		
50	23.4511	27.9908	29.7067	32.3574	34.7642	37.6886	41.4492	44.3133	46.8668		
55	26.865	31.7349	33.5705	36.3981	38.9581	42.0596	46.0356	49.0554	51.7391		
60	30.3393	35.5344	37.4848	40.4817	43.188	46.4589	50.6406	53.8091	56.62		
65	33.8762	39.3832	41.4436	44.603	47.4496	20.8829	55.262	58.5731	61.5059		
70	37.4671	43.2753	45.4417	48.7575	51.7393	55.3289	59.8978	63.346	66.3961		
75	41.1074	47.2061	49.4751	52.4919	56.0541	59.7946	64.5466	68.127	71.2903		
80	44.7917	51.1719	53.54	57.1532	60.3915	64.2778	69.207	72.9153	76.1879		
85	48.5141	55.1695	57.6339	61.3888	64.7494	68.7771	73.8779	77.7102	81.0886		
90	52.2768	59.1963	61.754	65.6456	69.126	73.2911	78.5584	82.5111	85.9925		
95	56.0711	63.2495	65.8925	69.9249	73.5198	77.8184	83.2478	87.3175	90.899		
100	59.8946	67.3275	70.065	74.2219	77.9294	83.3581	87.9453	92.9451	95.8078		
105	63.7512	71.4281	74.2521	78.45364	82.3537	86.9093	92.6504	96.9451	100.719		
110	67.6311	75.5498	78.4582	82.8671	86.7916	91.471	97.3524	101.7656	105.6322		
115	71.5364	79.6914	82.6825	87.2128	91.2422	96.0427	101.081	106.5902	110.5475		
120	75.4654	83.8517	86.9633	91.5726	95.7046	100.6236	106.8056	111.4186	115.4646		
125	79.4188	88.0289	91.1798	95.9458	100.1782	105.2132	111.536	116.2505	120.3833		
130	83.389	92.2226	95.451	100.3313	107.6622	109.811	116.2717	121.0858	125.3037		
135	87.3798	96.4316	99.7361	104.7285	109.1561	114.4165	121.0125	125.8243	130.2257		
140	91.3894	100.6547	104.0343	109.1368	113.6594	119.0293	125.758	130.7657	135.1491		
145	95.4185	104.8919	108.3451	113.5557	118.1713	123.6489	130.2081	135.6099	140.0738		
150	99.4617	109.1423	112.6676	117.9846	122.6916	128.275	135.2625	140.4569	144.9988		
155	103.5244	113.4047	117.0013	122.4227	127.2202	132.9074	140.021	145.3064	149.9271		
160	107.5993	117.6791	121.3457	126.87	131.756	137.5457	144.7834	150.1583	154.8565		
165	111.6862	121.965	125.7002	131.326	136.2992	142.1896	149.5494	155.0125	159.7851		
170	115.788	126.2613	130.0644	135.79	140.8492	146.8339	154.319	159.8689	164.7157		
175	119.9052	130.5678	134.4379	140.2618	145.4058	151.4933	159.092	164.7274	169.6473		
180	124.0323	134.8843	138.8205	144.7413	149.9687	156.1526	163.8682	169.5879	174.5799		
185	128.1714	139.2103	143.2112	149.2279	154.5377	160.8167	168.6475	174.4504	179.5135		
190	132.3253	143.5453	147.6103	153.7213	159.1125	165.4852	173.4298	179.3147	184.4479		
195	136.4853	147.8899	152.0174	158.2214	163.6929	170.1582	178.2149	184.1808	189.3832		
200	140.6591	152.2408	156.4321	162.728	168.2785	174.8353	183.0028	189.0486	194.3193		

**TESTS CON  
FALLA DE ORIGEN**

ANEXO IV. DISTRIBUCIÓN JI-CUADRADA (Continuación)

$g$	$\chi^2_{0.95}$	$\chi^2_{0.90}$	$\chi^2_{0.85}$	$\chi^2_{0.80}$	$\chi^2_{0.75}$	$\chi^2_{0.70}$	$\chi^2_{0.65}$	$\chi^2_{0.60}$	$\chi^2_{0.55}$	$\chi^2_{0.50}$	$\chi^2_{0.45}$	$\chi^2_{0.40}$	$\chi^2_{0.35}$	$\chi^2_{0.30}$	$\chi^2_{0.25}$	$\chi^2_{0.20}$	$\chi^2_{0.15}$	$\chi^2_{0.10}$
1	0.4549	0.7083	1.0742	1.6424	2.7055	3.8415	5.0239	6.6349	7.8794	12.1153								
2	1.3863	1.8326	2.4079	3.2189	4.6052	5.9915	7.3778	9.2104	10.5965	15.2014								
3	2.3662	2.9462	3.6649	4.6416	6.2514	7.8147	9.3404	11.3400	12.8381	17.7311								
4	3.3567	4.0446	4.8784	5.9886	7.7794	9.4877	11.1433	13.2767	14.8602	19.9977								
5	4.3515	5.1319	6.0644	7.2893	9.2363	11.0705	12.8325	15.0863	16.7496	22.1057								
6	5.3481	6.2108	7.2311	8.5581	10.6446	12.5916	14.4494	16.8119	18.5475	24.1016								
7	6.3458	7.2832	8.3834	9.8032	12.017	14.0671	16.0128	18.4753	20.2777	26.0179								
8	7.3441	8.3505	9.5245	11.0301	13.3616	15.5073	17.5345	20.0902	21.9549	27.8674								
9	8.3428	9.4136	10.6564	12.2421	14.6837	16.919	19.0228	21.666	23.5893	29.6668								
10	9.3418	10.4732	11.7807	13.442	15.9872	18.307	20.4832	23.2093	25.1861	31.4195								
11	10.341	11.5298	12.8987	14.6314	17.275	19.6752	21.92	24.725	26.7569	33.1862								
12	11.3403	12.5838	14.0111	15.812	18.5493	21.0261	23.3367	26.217	28.2997	34.8211								
13	12.3398	13.6356	15.1187	16.9848	19.8119	22.362	24.7356	27.6982	29.8193	36.4768								
14	13.3393	14.6853	16.2221	18.1508	21.0641	23.6848	26.1189	29.1415	31.3194	38.1085								
15	14.3389	15.7332	17.3217	19.3107	22.3071	24.9958	27.4884	30.578	32.8015	39.7173								
16	15.3385	16.7795	18.4179	20.4651	23.5418	26.2962	28.8453	31.9999	34.2671	41.3077								
17	16.3382	17.8244	19.511	21.6146	24.79	27.5871	30.191	33.4087	35.7184	42.8808								
18	17.3379	18.8679	20.6014	22.7595	25.9894	28.8693	31.5264	34.8052	37.1564	44.4337								
19	18.3376	19.9102	21.6891	23.9004	27.2036	30.1435	32.8523	36.1908	38.5621	45.9738								
20	19.3374	20.9514	22.7745	25.0375	28.412	31.4104	34.1696	37.5663	39.9869	47.4977								
21	20.3372	21.9915	23.8578	26.1711	29.6151	32.6706	35.4789	38.9322	41.4009	49.0096								
22	21.337	23.0307	24.939	27.3015	30.8133	33.9245	36.7807	40.2894	42.7957	50.5105								
23	22.3369	24.0688	26.0184	28.4288	32.0069	35.1725	38.0756	41.6383	44.1814	51.9995								
24	23.3367	25.1064	27.096	29.5533	33.1962	36.415	39.3641	42.9798	45.5884	53.4776								
25	24.3366	26.143	28.1719	30.6752	34.3816	37.6526	40.6465	44.314	46.928	54.9475								
26	25.3365	27.1789	29.243	31.7946	35.632	38.8851	41.9231	45.5416	48.2896	56.4068								
27	26.3363	28.2141	30.3193	32.9117	36.7412	40.1133	43.1945	46.9326	49.645	57.8556								
28	27.3362	29.2486	31.3909	34.0266	37.8159	41.3372	44.4608	48.2782	50.9936	59.299								
29	28.3361	30.2825	32.4612	35.1394	39.0875	42.5569	45.7223	49.5878	52.3355	60.7342								
30	29.336	31.3159	33.5302	36.25	40.256	43.773	46.9792	50.8922	53.6719	62.16								
31	30.3359	32.3486	34.5981	37.3591	41.4217	44.9853	48.2319	52.1914	55.0025	63.5813								
32	31.3359	33.3809	35.6649	38.4663	42.5847	46.1942	49.4804	53.4857	53.328	64.9936								
33	32.3358	34.4126	36.7307	39.5718	43.7452	47.3999	50.7251	54.7754	57.6483	66.4013								
34	33.3357	35.4438	37.7954	40.6756	4.903	48.6024	51.966	56.0609	58.9637	67.8042								

Fuente: Dos Santos, M. J., Estadística Básica en enfoque no Paramétrico.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ANEXO IV. DISTRIBUCIÓN JI-CUADRADA (Continuación)

g'	$\chi^2_{.95}$	$\chi^2_{.90}$	$\chi^2_{.85}$	$\chi^2_{.80}$	$\chi^2_{.75}$	$\chi^2_{.70}$	$\chi^2_{.65}$	$\chi^2_{.60}$	$\chi^2_{.55}$	$\chi^2_{.50}$	$\chi^2_{.45}$	$\chi^2_{.40}$	$\chi^2_{.35}$	$\chi^2_{.30}$
35	34.356	36.4746	38.5891	41.778	46.0588	49.8018	53.2033	57.342	60.2746	69.1975				
40	39.353	41.6222	44.1649	47.2685	51.805	55.7585	59.3417	63.6908	66.766	76.0363				
45	44.3351	46.7606	49.4517	52.7288	57.5053	61.6562	65.4101	69.9569	73.166	82.8734				
50	49.3349	51.8916	54.7228	58.1638	63.1671	67.5048	71.4202	76.1538	79.4898	89.5597				
55	54.3348	57.016	59.9804	63.5772	68.7962	73.1115	77.3804	82.292	85.7491	96.1607				
60	59.3347	62.1348	65.2265	68.9721	74.397	79.082	83.2977	88.3794	91.9518	102.6711				
65	64.3346	67.2488	70.4624	74.3506	79.973	84.8206	89.1772	94.422	98.1049	109.1628				
70	69.3345	72.3583	75.6893	79.7147	85.527	90.5313	95.0231	100.4251	104.2148	115.5766				
75	74.3344	77.464	80.9081	85.0658	91.0615	96.2167	100.8393	106.3929	110.2854	121.9407				
80	79.3343	82.5663	86.1197	90.4053	96.5782	101.8795	106.6285	112.3288	116.3209	128.2636				
85	84.3343	87.6653	91.3247	95.7343	102.0789	107.5217	112.3933	118.2356	122.3244	134.5401				
90	89.3342	92.7614	96.5238	101.0537	107.565	113.1452	118.1359	124.1162	128.2987	140.7804				
95	94.3342	97.8549	101.7173	106.3643	113.0377	118.7516	123.858	129.9725	134.2466	146.9898				
100	99.3341	102.9456	106.9058	111.667	118.498	124.3421	129.5613	135.8069	140.1697	153.1638				
105	104.3341	108.0347	112.0895	116.9616	123.9469	129.9179	135.247	141.6203	146.0693	159.3126				
110	109.3341	113.1214	117.269	122.2495	129.3852	135.4802	140.9165	147.4143	151.9482	165.4356				
115	114.334	118.2061	122.4443	127.531	134.8135	141.0297	146.571	153.1904	157.8076	171.529				
120	119.334	123.289	127.6159	132.8063	140.2326	146.5673	152.2113	158.95	163.6485	177.6006				
125	124.334	128.3701	132.7839	138.0759	145.6429	152.0938	157.8394	164.6939	169.4712	183.6521				
130	129.3339	133.4497	137.9466	143.3401	151.0452	157.6099	163.4531	170.413	175.2781	189.68				
135	134.3339	138.5277	143.1101	148.5993	156.4397	163.116	169.056	176.1382	181.0685	195.6863				
140	139.3339	143.6043	148.2686	153.8537	161.827	168.613	174.6478	181.8405	186.8465	201.6804				
145	144.3339	148.6795	153.4243	159.1036	167.2074	174.101	180.2291	187.5299	192.6102	207.656				
150	149.3339	153.7535	158.5774	164.3492	172.5812	179.5086	185.8004	193.2075	198.3599	213.6135				
155	154.3338	158.8262	163.7279	169.5907	177.9489	185.0523	191.3623	198.8741	204.0976	219.5522				
160	159.3338	163.8977	168.8759	174.8283	183.3106	190.5164	196.9152	204.53	209.8236	225.4774				
165	164.3338	168.9681	174.0217	180.0622	188.6667	195.9734	202.4593	210.1758	215.5398	231.3926				
170	169.3338	174.0375	179.1653	185.2926	194.0174	201.4234	207.9955	215.6116	221.2421	237.2915				
175	174.3338	179.1058	184.3067	190.5197	199.363	206.8668	213.5236	221.4383	226.9363	243.1718				
180	179.3338	184.1732	189.4462	195.7434	204.7036	212.3039	219.0442	227.0563	232.6198	249.049				
185	184.3338	189.2396	194.5837	200.9641	210.0396	217.7349	224.5577	232.6654	238.294	254.9067				
190	189.3338	194.3052	199.7194	206.1818	215.371	223.1602	230.0645	238.2863	243.959	260.7585				
195	194.3337	199.3698	204.8532	211.3967	220.6981	228.5528	235.5644	243.8596	249.6163	266.5922				
200	199.3337	204.4337	209.9654	216.6088	226.021	233.9942	241.0578	249.4452	255.2638	272.422				

Fuente: Dos Santos, M. J., Estadística Básica en enfoque no Paramétrico.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ANEXO V DISTRIBUCIÓN DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

$n$	$\alpha=0.20$	$\alpha=0.10$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.02$	$\alpha=0.01$
1	900	950	675	990	995
2	684	776	842	900	929
3	565	636	708	785	829
4	403	565	624	689	134
5	447	309	563	627	669
6	410	468	519	577	617
7	391	436	483	538	578
8	359	410	454	507	542
9	339	387	430	480	513
10	323	369	409	457	486
11	308	352	391	437	468
12	298	338	375	419	449
13	285	325	361	404	432
14	275	314	349	390	418
15	266	304	338	377	404
16	258	295	327	366	392
17	250	286	318	355	381
18	244	279	309	346	371
19	237	271	301	337	361
20	232	265	294	329	352
21	226	269	287	321	344
22	221	263	281	314	337
23	216	247	275	307	330
24	212	242	269	301	323
25	208	238	264	295	317
26	204	233	259	290	311
27	200	229	254	284	305
28	197	225	250	279	300
29	193	221	246	275	295
30	190	218	242	270	290
35	177	202	224	251	269
40	165	189	210	235	252
45	156	179	198	222	238
50	148	170	188	211	223
55	142	162	180	201	216
60	136	155	172	193	207
65	131	149	166	185	199
70	128	144	160	179	192
75	122	139	154	173	185
80	118	135	150	167	179
85	114	131	145	162	174
90	111	127	141	158	169
95	108	124	137	154	165
100	106	121	134	150	161
Aproximación para $n$ grande	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.52}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ANEXO VI.1 DISTRIBUCIÓN DE ANDERSON-DARLING, CASO 0

CASO 0

$\alpha$	$1-\alpha$	$\alpha$	$1-\alpha$	$\alpha$	$1-\alpha$
0.025	0.0000	1.300	0.7677	3.070	0.9750
0.050	0.0000	1.350	0.7833	3.100	0.9756
0.075	0.0000	1.400	0.7973	3.150	0.9770
0.100	0.0000	1.450	0.8111	3.200	0.9783
0.125	0.0003	1.500	0.8235	3.250	0.9795
0.150	0.0014	1.550	0.8350	3.300	0.9807
0.175	0.0042	1.600	0.8457	3.350	0.9818
0.200	0.0096	1.510	0.8500	3.400	0.9828
0.225	0.0180	1.650	0.8556	3.450	0.9837
0.250	0.0296	1.700	0.8648	3.500	0.9846
0.275	0.0443	1.750	0.8734	3.550	0.9855
0.300	0.0618	1.800	0.8814	3.600	0.9863
0.325	0.0817	1.850	0.8888	3.650	0.9870
0.350	0.1036	1.900	0.8957	3.700	0.9878
0.375	0.1469	1.933	0.9000	3.750	0.9884
0.400	0.1513	1.950	0.9021	3.800	0.9881
0.425	0.1764	2.000	0.9082	3.850	0.9897
0.450	0.2019	2.050	0.9138	3.857	0.9900
0.475	0.2276	2.100	0.9190	3.900	0.9902
0.500	0.2532	2.150	0.9239	3.950	0.9908
0.525	0.2786	2.200	0.9285	4.000	0.9913
0.550	0.3036	2.250	0.9328	4.050	0.9917
0.575	0.3281	2.300	0.9368	4.100	0.9922
0.600	0.3520	2.350	0.9405	4.150	0.9926
0.625	0.3753	2.400	0.9441	4.200	0.9930
0.650	0.3930	2.450	0.9474	4.250	0.9934
0.675	0.4199	2.492	0.9500	4.300	0.9938
0.700	0.4412	2.500	0.9504	4.350	0.9941
0.750	0.4815	2.550	0.9534	4.400	0.9944
0.800	0.5190	2.600	0.9561	4.500	0.9950
0.850	0.5537	2.650	0.9586	4.600	0.9955
0.900	0.5858	2.700	0.9610	4.700	0.9960
0.950	0.6154	2.750	0.9633	4.800	0.9964
1.000	0.6427	2.800	0.9654	4.900	0.9968
1.050	0.6680	2.850	0.9674	5.000	0.9971
1.100	0.6912	2.900	0.9692	5.500	0.9983
1.150	0.7127	2.950	0.9710	6.000	0.9990
1.200	0.7324	3.000	0.9726	7.000	0.9997
1.248	0.7500	3.050	0.9742	8.000	0.9999
1.250	0.7503				

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

ANEXO VI.II DISTRIBUCIÓN DE ANDERSON DARLING, CASOS 1, 2 Y 3.

DISTRIBUCIÓN DE ANDERSON-DARLING, CASOS 1 Y 2

Caso	Nivel de significancia $\alpha$							
	0.25	0.15	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001
1	0.644	0.782	0.894	1.087	1.285	1.551	1.756	1.964
2	1.072	1.430	1.743	2.308	2.898	3.702	4.324	4.954

DISTRIBUCIÓN DE ANDERSON-DARLING, CASO 3

$\alpha$	0.500	0.250	0.150	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
$A^2 = \left(1 + \frac{0.75}{n} + \frac{2.25}{n^2}\right)$	0.341	0.470	0.561	0.631	0.752	0.873	1.035	1.159

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

ANEXO VII EJEMPLO DE PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE LA JI CUADRADA

H<sub>0</sub>=La distribución es normal

H<sub>1</sub>=La distribución no es normal

MEDIA= 965.946

DESV. EST.= 28.3143

N= 765

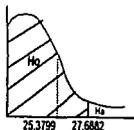
$F_i - F_e$	$m_i$	$F_o$	$Z(x_i - 965.946)/(28.314)$	ÁREA ACUMULADA	$p$	$F_e$	$F_o$	$(\frac{F_o - F_e}{F_e})^2$
904.5 - 913.5	909	4	-2.558654269	0.005253937	0.0052539	4.0192616	9.5775684	17.545397
913.5 - 922.5	918	9	-2.240793247	0.012519697	0.0072658	5.5583068		
922.5 - 931.5	927	11	-1.922932225	0.027244219	0.0147245	11.264259	10.74194	
931.5 - 940.5	936	19	-1.605071203	0.054239077	0.0269949	20.651066	17.48097	
940.5 - 949.5	945	25	-1.28721018	0.099010608	0.0447715	34.250221	34.250221	18.248057
949.5 - 958.5	954	57	-0.969349159	0.166185535	0.0671749	51.388819	51.388819	63.22387
958.5 - 967.5	963	55	-0.651488136	0.2573657	0.0911802	69.752826	69.752826	43.367410
967.5 - 976.5	972	99	-0.333627114	0.369330606	0.1119649	85.653153	85.653153	114.42561
976.5 - 985.5	981	103	-0.015766091	0.49371054	0.1243799	95.150649	95.150649	114.49687
985.5 - 994.5	990	104	0.302094931	0.618710162	0.1249996	95.624711	113.10884	
994.5 - 1003.5	999	85	0.619955953	0.732356733	0.1136465	86.939629	86.939629	83.103645
1003.5 - 1012.5	1008	69	0.937816975	0.825830838	0.0934741	71.507689	71.507689	66.580253
1012.5 - 1021.5	1017	57	1.252677998	0.895383608	0.0695228	53.207868	53.207868	61.062397
1021.5 - 1030.5	1026	25	1.57353902	0.942202993	0.0468154	35.81683	35.81683	17.449897
1030.5 - 1039.5	1035	12	1.891400042	0.970714602	0.0285116	21.811381	21.811381	6.6020578
1039.5 - 1048.5	1044	13	2.209261064	0.986421813	0.0157072	12.016016	12.016016	14.064562
1048.5 - 1057.5	1053	14	2.527122087	0.994249909	0.0078281	5.9844935		
1057.5 - 1066.5	1062	2	2.844983109	0.997779249	0.0035293	2.6999456		
1066.5 - 1075.5	1071	1	3.162844131	0.999218755	0.0014395	1.1012219		
1075.5 - 1084.5	1080	1	3.480705153	0.999749907	0.0005312	0.4053309		

SUMA= 0.9997499

SUMA= 790.371995

$\chi^2 = 790.3719949 - 765 = 25.3719949$

De anexo IV tenemos  $\chi^2_{(n-1)} = 27.6882$



Conclusión: No se rechaza H<sub>0</sub> y se concluye que los datos provienen de una distribución normal.

TESIS CON FALTA DE ORIGEN

**ANEXO VIII. EJEMPLO PARA LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE NORMAL DE KOLMOGOROV-SMIRNOV**

Hipótesis:

$H_0: F_m(X) = F_r(X)$  para todos los valores de  $X$ .  
 $H_a: F_m(X) \neq F_r(X)$  para algún valor de  $X$  por lo menos.

**PRODUCTO EN PROCESO**

Crema Dental  
 Reporte de Crema Dental  
 CDC Doble Fluoruro ( 10/15/2 )

MEDIA=985,946

DESVIACIÓN ESTANDAR=28.314

a) Cálculo de  $F_m(X)$  y  $F_r(X)$ :

X	FRECUENCIA	FRECUENCIA ACUMULADA	$F_m(X)$ (FRECUENCIA ACUMULADA RELATIVA)	$Z = (X - 985,946) / (28,314)$	$F_r(X)$ (PROBABILIDADES ACUMULADAS)
905	1	1	0.0013	-2.86	0.00213
910	1	2	0.0026	-2.68	0.00366
911	1	3	0.0039	-2.65	0.00406
912	1	4	0.0052	-2.61	0.00451
919	4	8	0.0105	-2.36	0.00903
920	4	12	0.0157	-2.33	0.00993
922	1	13	0.0170	-2.26	0.01196
923	2	15	0.0196	-2.22	0.01310
925	1	16	0.0209	-2.15	0.01568
926	2	18	0.0235	-2.12	0.01712
927	1	19	0.0248	-2.08	0.01868
928	1	20	0.0261	-2.05	0.02035
929	3	23	0.0301	-2.01	0.02215
930	1	24	0.0314	-1.98	0.02408
932	4	28	0.0366	-1.91	0.02837
934	1	29	0.0379	-1.83	0.03328
935	6	35	0.0458	-1.80	0.03598
936	2	37	0.0484	-1.76	0.03887
937	2	39	0.0510	-1.73	0.04193
938	2	41	0.0536	-1.69	0.04519
939	1	42	0.0549	-1.66	0.04865
940	1	43	0.0562	-1.62	0.05232
942	2	45	0.0588	-1.55	0.06032
944	2	47	0.0614	-1.48	0.06924
945	1	48	0.0627	-1.45	0.07407
946	8	56	0.0732	-1.41	0.07915
947	4	60	0.0784	-1.36	0.08449
948	2	62	0.0810	-1.34	0.09009
949	6	68	0.0889	-1.30	0.09597
950	7	75	0.0980	-1.27	0.10212

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

ANEXO VIII PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE NORMAL DE KOLMOGOROV-SMIRNOV (Continuación)

X	FRECUENCIA	FRECUENCIA ACUMULADA	Fm(X) (FRECUENCIA ACUMULADA RELATIVA)	Z=(X-985.948)/ (28.314)	F(X) (PROBABILIDADES ACUMULADAS)
951	10	85	0.1111	-1.23	0.10856
952	6	91	0.1190	-1.20	0.11528
953	6	97	0.1258	-1.16	0.12229
954	6	103	0.1346	-1.13	0.12960
955	3	106	0.1386	-1.09	0.13721
956	5	111	0.1451	-1.06	0.14511
957	7	118	0.1542	-1.02	0.15331
958	7	125	0.1634	-0.99	0.16182
959	4	129	0.1686	-0.95	0.17063
960	5	134	0.1752	-0.92	0.17974
961	5	139	0.1817	-0.88	0.18915
962	11	150	0.1961	-0.85	0.19885
963	4	154	0.2013	-0.81	0.20885
964	5	159	0.2078	-0.78	0.21914
965	7	166	0.2170	-0.74	0.22972
966	7	173	0.2261	-0.70	0.24057
967	7	180	0.2353	-0.67	0.25170
968	9	189	0.2471	-0.63	0.26310
969	4	193	0.2523	-0.60	0.27475
970	12	205	0.2680	-0.56	0.28880
971	12	217	0.2837	-0.53	0.29880
972	21	238	0.3111	-0.49	0.31117
973	12	250	0.3268	-0.46	0.32375
974	12	262	0.3425	-0.42	0.33654
975	11	273	0.3569	-0.39	0.34953
976	6	279	0.3647	-0.35	0.36269
977	9	288	0.3765	-0.32	0.37602
978	14	302	0.3948	-0.28	0.38949
979	9	311	0.4065	-0.25	0.40310
980	13	324	0.4235	-0.21	0.41683
981	8	332	0.4340	-0.17	0.43066
982	14	346	0.4523	-0.14	0.44458
983	8	354	0.4627	-0.10	0.45857
984	18	372	0.4863	-0.07	0.47260
985	10	382	0.4993	-0.03	0.48667
986	13	395	0.5163	0.00	0.50076
987	14	409	0.5346	0.04	0.51485
988	16	425	0.5556	0.07	0.52892
989	11	436	0.5599	0.11	0.54295
990	11	447	0.5843	0.14	0.55693
991	9	456	0.5961	0.18	0.57083
992	16	472	0.6170	0.21	0.58465
993	6	478	0.6248	0.25	0.59837
994	8	486	0.6353	0.28	0.61197
995	9	495	0.6471	0.32	0.62543
996	9	504	0.6588	0.36	0.63874
997	8	512	0.6693	0.39	0.65188
998	12	524	0.6850	0.43	0.66485
999	4	528	0.6902	0.46	0.67762
1000	10	538	0.7033	0.50	0.69018
1001	12	550	0.7190	0.53	0.70253

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**ANEXO VIII PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE NORMAL DE KOLMOGOROV-SMIRNOV (Continuación)**

X	FRECUENCIA	FRECUENCIA ACUMULADA	Fm(X) (FRECUENCIA ACUMULADA RELATIVA)	Z=(X-985.948)/(28.314)	F(X) (PROBABILIDADES ACUMULADAS)
1002	10	560	0.7320	0.57	0.71464
1003	11	571	0.7464	0.60	0.72652
1004	12	583	0.7621	0.64	0.73814
1005	4	587	0.7673	0.67	0.74951
1006	8	595	0.7778	0.71	0.76061
1007	7	602	0.7869	0.74	0.77144
1008	4	606	0.7922	0.78	0.78198
1009	5	611	0.7987	0.81	0.79224
1010	12	623	0.8144	0.85	0.80221
1011	10	633	0.8275	0.88	0.81188
1012	7	640	0.8366	0.92	0.82126
1013	7	647	0.8458	0.96	0.83034
1014	3	650	0.8497	0.99	0.83911
1015	8	658	0.8601	1.03	0.84759
1016	2	660	0.8627	1.06	0.85576
1017	4	664	0.8680	1.10	0.86363
1018	9	673	0.8797	1.13	0.87120
1019	6	679	0.8876	1.17	0.87848
1020	10	689	0.9007	1.20	0.88546
1021	8	697	0.9111	1.24	0.89215
1022	2	699	0.9137	1.27	0.89856
1023	5	704	0.9203	1.31	0.90468
1024	3	707	0.9242	1.34	0.91053
1026	3	710	0.9281	1.41	0.92141
1026	5	715	0.9346	1.45	0.92646
1027	2	717	0.9373	1.49	0.93126
1028	4	721	0.9425	1.52	0.93582
1029	1	722	0.9438	1.56	0.94014
1031	1	723	0.9451	1.59	0.94422
1033	1	724	0.9464	1.66	0.95173
1035	1	725	0.9477	1.73	0.95841
1037	7	732	0.9569	1.80	0.96432
1038	2	734	0.9595	1.84	0.96700
1041	2	736	0.9621	1.94	0.97408
1044	5	741	0.9686	2.05	0.97984
1046	1	742	0.9699	2.12	0.98304
1048	5	747	0.9765	2.19	0.98580
1049	4	751	0.9817	2.23	0.98702
1050	3	754	0.9856	2.26	0.98816
1051	4	758	0.9908	2.30	0.98921
1052	1	759	0.9922	2.33	0.99017
1056	2	761	0.9948	2.47	0.99332
1060	1	762	0.9961	2.62	0.99554
1065	1	763	0.9974	2.79	0.99738
1074	1	764	0.9987	3.11	0.99906
1082	1	765	1.0000	3.39	0.99955

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

ANEXO VII. PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE NORMAL DE KOLMOGOROV-SMIRNOV (Continuación)

b) Cálculo del Supremo:

$$D = \sup(\text{abs}(F_m(X) - F(x)))$$

X	F <sub>m</sub> (X) (FRECUENCIA ACUMULADA RELATIVA)	F <sub>m</sub> (X) (PROBABILIDADES ACUMULADAS)	abs(F <sub>m</sub> (X)-F <sub>m</sub> (X))	abs[(F <sub>m</sub> (X)-F <sub>m</sub> (X-1))]
905	0.0013	0.00213	0.000819	0.002126
910	0.0026	0.00366	0.001042	0.002349
911	0.0039	0.00406	0.000139	0.001447
912	0.0052	0.00451	0.000723	0.000584
919	0.0105	0.00903	0.001428	0.003801
920	0.0157	0.00993	0.005759	0.000531
922	0.0170	0.01196	0.005035	0.003728
923	0.0196	0.01310	0.006505	0.003890
925	0.0209	0.01568	0.005236	0.003929
926	0.0235	0.01712	0.006407	0.003793
927	0.0248	0.01888	0.006159	0.004852
928	0.0261	0.02035	0.005793	0.004485
929	0.0301	0.02215	0.007915	0.003993
930	0.0314	0.02408	0.007290	0.005983
932	0.0366	0.02837	0.008229	0.003001
934	0.0379	0.03328	0.004629	0.003322
935	0.0458	0.03598	0.009768	0.001925
936	0.0484	0.03887	0.009500	0.006886
937	0.0510	0.04193	0.009048	0.006433
938	0.0536	0.04519	0.008402	0.005788
939	0.0549	0.04865	0.006248	0.004941
940	0.0562	0.05232	0.003886	0.052323
942	0.0588	0.06032	0.001496	0.004111
944	0.0614	0.06924	0.007804	0.010419
945	0.0627	0.07407	0.011324	0.012831
946	0.0732	0.07915	0.005846	0.018404
947	0.0784	0.08449	0.006056	0.025664
948	0.0810	0.09009	0.009047	0.011661
949	0.0889	0.09597	0.007080	0.014923
950	0.0980	0.10212	0.004084	0.013234
951	0.1111	0.10856	0.002553	0.010519
952	0.1190	0.11528	0.003873	0.004170
953	0.1268	0.12229	0.004503	0.003340
954	0.1346	0.12960	0.005039	0.002804
955	0.1386	0.13721	0.001356	0.002566
956	0.1451	0.14511	0.000012	0.006548
957	0.1542	0.15331	0.000934	0.008216
958	0.1634	0.16182	0.001578	0.007572
959	0.1686	0.17063	0.002001	0.007230
960	0.1752	0.17874	0.004574	0.011110
961	0.1817	0.18915	0.007446	0.013982
962	0.1961	0.19885	0.002773	0.017152
963	0.2013	0.20885	0.007545	0.012773
964	0.2078	0.21914	0.011299	0.017835
965	0.2170	0.22972	0.012725	0.021875
966	0.2261	0.24057	0.014430	0.023581
967	0.2353	0.25170	0.016409	0.025560
968	0.2471	0.26310	0.016040	0.027805
969	0.2523	0.27475	0.022465	0.027893
970	0.2680	0.28665	0.018681	0.034387

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

ANEXO VIII. PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE NORMAL DE KOLMOGOROV-SMIRNOV (Continuación)

X	Fm(X) (FRECUENCIA ACUMULADA RELATIVA)	Fm(X) (PROBABILIDADES ACUMULADAS)	abs(F(X)-Fm(X))	abs[(F(X)-Fm(X)) <sup>1/3</sup> ]
971	0.2837	0.29880	0.015136	0.030822
972	0.3111	0.31117	0.000055	0.027508
973	0.3268	0.32375	0.003044	0.012642
974	0.3425	0.33654	0.005939	0.009747
975	0.3569	0.34953	0.007334	0.007045
976	0.3647	0.36269	0.002015	0.005828
977	0.3705	0.37502	0.000453	0.011312
978	0.3948	0.38949	0.005277	0.013023
979	0.4065	0.40310	0.003432	0.008333
980	0.4235	0.41683	0.006696	0.010297
981	0.4340	0.43066	0.003323	0.007135
982	0.4523	0.44458	0.007707	0.010594
983	0.4627	0.45857	0.004179	0.006278
984	0.4863	0.47250	0.013672	0.009857
985	0.4993	0.48587	0.012673	0.000399
986	0.5163	0.50076	0.015579	0.001414
987	0.5346	0.51485	0.019793	0.001492
988	0.5556	0.52892	0.026640	0.005725
989	0.5699	0.54295	0.026987	0.012608
990	0.5843	0.55893	0.027388	0.013009
991	0.5961	0.57083	0.025244	0.013480
992	0.6170	0.58465	0.032339	0.011424
993	0.6248	0.59837	0.026465	0.018622
994	0.6353	0.61197	0.023326	0.012868
995	0.6471	0.62543	0.021630	0.009865
996	0.6588	0.63874	0.020085	0.008320
997	0.6693	0.65188	0.017399	0.006941
998	0.6850	0.66485	0.020121	0.004435
999	0.6902	0.67792	0.012580	0.007351
1000	0.7033	0.69189	0.013087	0.000018
1001	0.7190	0.70253	0.016428	0.000742
1002	0.7320	0.71464	0.017384	0.004312
1003	0.7464	0.72652	0.019887	0.005508
1004	0.7621	0.73814	0.023947	0.008261
1005	0.7673	0.74951	0.017809	0.012580
1006	0.7778	0.76061	0.017166	0.006709
1007	0.7869	0.77144	0.015480	0.006340
1008	0.7922	0.78198	0.010174	0.004945
1009	0.7987	0.79224	0.006450	0.000086
1010	0.8144	0.80221	0.012168	0.003518
1011	0.8275	0.81188	0.015566	0.002494
1012	0.8366	0.82126	0.015340	0.006190
1013	0.8458	0.83034	0.015414	0.006264
1014	0.8497	0.83911	0.010561	0.006639
1015	0.8601	0.84759	0.012545	0.002087
1016	0.8627	0.85576	0.006987	0.004373
1017	0.8680	0.86363	0.004344	0.000884
1018	0.8797	0.87120	0.008537	0.003228
1019	0.8876	0.87848	0.009105	0.001261
1020	0.9007	0.88546	0.015195	0.002123
1021	0.9111	0.89215	0.018961	0.006503
1022	0.9137	0.89856	0.015170	0.012556
1023	0.9203	0.90468	0.015583	0.009047
1024	0.9242	0.91053	0.013657	0.009736
1026	0.9281	0.92141	0.006692	0.002771
1027	0.9346	0.92646	0.008178	0.001640
1028	0.9373	0.93126	0.005991	0.003376
1029	0.9425	0.93582	0.006665	0.001436

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

**ANEXO VIII. PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE NORMAL DE KOLMOGOROV-SMIRNOV (Continuación)**

X	Fm(X) (FRECUENCIA ACUMULADA RELATIVA)	Fm(X) (PROBABILIDADES ACUMULADAS)	abs(F(X)-Fm(X))	abs{(F(X)-Fm(X-1))}
1030	0.9438	0.94014	0.003656	0.002349
1031	0.9451	0.94422	0.000877	0.000430
1033	0.9464	0.95173	0.005325	0.006632
1035	0.9477	0.95841	0.010695	0.012003
1037	0.9569	0.96432	0.007454	0.016604
1038	0.9595	0.96700	0.007525	0.010146
1041	0.9621	0.97408	0.011985	0.014600
1044	0.9686	0.97984	0.011208	0.017744
1046	0.9699	0.98304	0.013105	0.014412
1048	0.9765	0.98580	0.009327	0.015863
1049	0.9817	0.98702	0.005326	0.010554
1050	0.9856	0.98816	0.002539	0.006460
1051	0.9908	0.98921	0.001642	0.003587
1052	0.9922	0.99017	0.001983	0.000676
1056	0.9948	0.99332	0.001448	0.001166
1060	0.9961	0.99554	0.000534	0.000773
1065	0.9974	0.99738	0.000004	0.001303
1074	0.9987	0.99906	0.000371	0.001679
1082	1.0000	0.99965	0.000346	0.000961

Valor crítico: para  $\alpha=0.01$  y  $n=765$ , el valor teórico de tablas (anexo V) es 0.0589.

Conclusión: como  $D=0.03437$  es menor que el valor teórico de 0.0589 no se rechaza  $H_0$ ,  
y por lo tanto, se afirma que la muestra proviene de una distribución normal.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

ANEXO IX. EJEMPLO PARA LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE ANDERSON-DARLING

Ho: "Los datos se ajustan a una distribución normal"

Ha: "Los datos no se ajustan a una distribución normal"

Estadístico de prueba:  $A_2 = n^{1/3} [ \sum_{i=1}^n (2i-1) L_n(p_i) / (2n+1-2i) L_n(1-p_i) ]$

PRODUCTO EN PROCESO

Crema Dental

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.01$

Media: 985.94g

Desviación estándar: 28.314

Número	batch	Floor	X	$z((k-m)/s)$	Probabilidad acumulada	$L_n(p_i)$	$2i-1$	$2n+1-2i$	$L_n(1-p_i)$	$(2i-1)L_n(p_i)$	$(2n+1-2i)L_n(1-p_i)$	$(2i-1)L_n(p_i) + (2n+1-2i)L_n(1-p_i)$
1	6122	1018	905	-2.858668404	0.00212584	-6.15358136	1	1529	-0.0021281	-6.15358136	-3.25386984	-8.40747729
2	6123	1011	910	-2.682277319	0.00365188	-5.611334318	3	1527	-0.0036629	-16.8300295	-5.593228634	-22.42723253
3	6124	1051	911	-2.646959102	0.004061	-5.506325953	5	1525	-0.0040683	-27.53182971	-6.205934564	-33.73726433
4	6125	1013	912	-2.611640884	0.004505478	-5.402451206	7	1523	-0.0045157	-37.722844	-6.877348097	-44.69465785
5	6126	1022	919	-2.364413364	0.0092931	-4.707279289	9	1521	-0.0090703	-42.36551361	-13.79699197	-56.16147278
6	6127	1048	919	-2.364413364	0.0092931	-4.707279289	11	1519	-0.0090703	-51.78007216	-13.77781853	-65.55786071
7	6128	1010	919	-2.364413364	0.0092931	-4.707279289	13	1517	-0.0090703	-61.19463076	-13.75967789	-74.95430865
8	6129	1019	919	-2.364413364	0.0092931	-4.707279289	15	1515	-0.0090703	-70.60918534	-13.74153724	-84.35072958
9	6130	983	920	-2.329095147	0.0092699	-4.612497953	17	1513	-0.0090703	-78.4124662	-13.72342557	-93.52074777
10	6131	974	920	-2.329095147	0.0092699	-4.612497953	19	1511	-0.0090703	-87.6374611	-13.70526236	-102.7120905
11	6132	976	920	-2.329095147	0.0092699	-4.612497953	21	1509	-0.0090703	-96.86245701	-13.68710333	-111.9171332
12	6133	971	920	-2.329095147	0.0092699	-4.612497953	23	1507	-0.0090703	-106.0874529	-13.66894523	-121.1221759
13	6134	979	922	-2.258458713	0.0119565	-4.426312927	25	1505	-0.0120306	-116.3124523	-13.65078003	-128.1378437
14	6135	972	923	-2.223140496	0.01310319	-4.334904951	27	1503	-0.0131897	-117.4024337	-13.63261483	-135.03896586
15	6136	999	923	-2.223140496	0.01310319	-4.334904951	29	1501	-0.0131897	-125.7123436	-13.61444963	-142.0490473
16	6137	1049	925	-2.152504062	0.01567878	-4.155446975	31	1499	-0.0158003	-128.8186562	-13.59628453	-149.0591286
17	6138	1023	926	-2.117185844	0.017121978	-4.067392377	33	1497	-0.0172703	-134.2239484	-13.57811933	-156.0692099
18	6139	1050	926	-2.117185844	0.017121978	-4.067392377	35	1495	-0.0172703	-142.5387332	-13.55995413	-163.0792912
19	6140	1011	927	-2.081667627	0.018671216	-3.980456882	37	1493	-0.0188538	-147.9530266	-13.54178893	-170.0893725
20	6141	991	928	-2.04654941	0.020351105	-3.894620054	39	1491	-0.020561	-151.8901821	-13.52362374	-177.0994538
21	6142	1056	929	-2.012131193	0.022150452	-3.809897394	41	1489	-0.0223995	-156.2079322	-13.50545855	-184.1095351
22	6143	972	929	-2.012131193	0.022150452	-3.809897394	43	1487	-0.0223995	-163.825586	-13.48729336	-191.1196164
23	6144	1003	929	-2.012131193	0.022150452	-3.809897394	45	1485	-0.0223995	-171.4433827	-13.46913817	-198.1297077
24	6145	1018	930	-1.975912976	0.024082247	-3.726180349	47	1483	-0.024377	-175.1519784	-13.45098298	-205.1397990
25	6146	1010	932	-1.905278542	0.028371999	-3.562352594	49	1481	-0.0287823	-174.5525796	-13.43282879	-212.1498803
26	6147	1048	932	-1.905278542	0.028371999	-3.562352594	51	1479	-0.0287823	-181.6799808	-13.41466860	-219.1599616
27	6148	973	932	-1.905278542	0.028371999	-3.562352594	53	1477	-0.0287823	-188.8064859	-13.39650841	-226.1699429
28	6149	978	932	-1.905278542	0.028371999	-3.562352594	55	1475	-0.0287823	-195.9329391	-13.37834822	-233.1799242
29	6150	971	934	-1.834640107	0.033279457	-3.402814992	57	1473	-0.0338458	-193.9804546	-13.36018803	-240.1899055
30	6151	978	935	-1.79932189	0.035983835	-3.234685464	59	1471	-0.0356472	-196.1564424	-13.34202784	-247.1998868
31	6152	965	935	-1.79932189	0.035983835	-3.234685464	61	1469	-0.0356472	-202.8058133	-13.32386765	-254.2098681
32	6153	952	935	-1.79932189	0.035983835	-3.234685464	63	1467	-0.0356472	-208.551842	-13.30570746	-261.2198494
33	6154	905	935	-1.79932189	0.035983835	-3.234685464	65	1465	-0.0356472	-214.1455511	-13.28754727	-268.2298307
34	6155	929	935	-1.79932189	0.035983835	-3.234685464	67	1463	-0.0356472	-219.7352601	-13.26938708	-275.2398120
35	6156	950	935	-1.79932189	0.035983835	-3.234685464	69	1461	-0.0356472	-225.3249691	-13.25122689	-282.2497933

**TRES CON FALLA DE ORIGEN**

ANEXO IX. EJEMPLO PARA LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE ANDERSON-DARLING (Continuación)

Número	batch	Floor	X	$z[(H)(X-m)_s]$	Probabilidad acumulada	$L_n(p(i))$	Z-i	Z+1-Z	$L_1(-P(i))$	$(Z-1)L_n(p(i))$	$(Z+1)Z^*$	$(L_1(-P(i))L_n(p(i)))$	$(Z-1)(L_n(p(i)) + (Z+1)Z^*L_1(-P(i)))$
36	6157	1020	936	-1.764003673	0.03866534	-3.247844864	71	1459	-0.0396411	-230.5827853	-57.0363076	-288.4190507	
37	6158	984	936	-1.764003673	0.03866534	-3.247844864	73	1457	-0.0398411	-237.0780751	-57.78102564	-294.8350127	
38	6159	1020	937	-1.726884646	0.041932665	-3.171890171	75	1455	-0.0428372	-243.8767828	-58.220814931	-300.220814931	
39	6160	963	937	-1.726884646	0.041932665	-3.171890171	77	1453	-0.0428372	-244.2201432	-58.24474887	-306.4625816	
40	6161	975	938	-1.693367239	0.045192764	-3.095818219	79	1451	-0.0462458	-248.6486649	-57.02566477	-311.7513086	
41	6162	978	938	-1.693367239	0.045192764	-3.095818219	81	1449	-0.0462458	-250.8428215	-57.01071175	-311.8524546	
42	6163	965	939	-1.658049022	0.048537873	-3.023026649	83	1447	-0.0498772	-250.9111821	-57.17232257	-322.0436447	
43	6164	961	940	-1.622730905	0.052223470	-2.950310202	85	1445	-0.0537421	-250.7763672	-57.65726332	-323.4336005	
44	6165	930	942	-1.55205437	0.060319835	-2.800942396	87	1443	-0.0622157	-244.3042037	-59.77721173	-334.0814751	
45	6166	920	942	-1.55205437	0.060319835	-2.800942396	89	1441	-0.0622157	-246.9203923	-59.65283898	-339.573223	
46	6167	951	944	-1.481457936	0.069242326	-2.670142961	91	1439	-0.0717563	-242.9830094	-60.25734596	-346.2403553	
47	6168	1021	944	-1.481457936	0.069242326	-2.670142961	93	1437	-0.0717563	-245.3232954	-60.13136332	-351.4371295	
48	6169	994	945	-1.446139719	0.074069005	-2.602757507	95	1435	-0.0789556	-247.2181923	-60.11043084	-356.1938696	
49	6170	1001	946	-1.410821502	0.079148676	-2.536427218	97	1433	-0.0824567	-246.0234401	-60.11043084	-361.0918106	
50	6171	1000	946	-1.410821502	0.079148676	-2.536427218	99	1431	-0.0824567	-251.1062946	-60.11043084	-366.1938696	
51	6172	972	946	-1.410821502	0.079148676	-2.536427218	101	1429	-0.0824567	-256.1919149	-60.11043084	-371.0918106	
52	6173	998	946	-1.410821502	0.079148676	-2.536427218	103	1427	-0.0824567	-261.2520034	-60.11043084	-376.1938696	
53	6174	1049	946	-1.410821502	0.079148676	-2.536427218	105	1425	-0.0824567	-266.3248579	-60.11043084	-381.2562338	
54	6175	1023	946	-1.410821502	0.079148676	-2.536427218	107	1423	-0.0824567	-271.3977122	-60.11043084	-386.3286000	
55	6176	1060	946	-1.410821502	0.079148676	-2.536427218	109	1421	-0.0824567	-276.4705667	-60.11043084	-391.4415159	
56	6177	1011	946	-1.410821502	0.079148676	-2.536427218	111	1419	-0.0824567	-281.5434212	-60.11043084	-396.5445747	
57	6178	991	947	-1.375503285	0.084487791	-2.471148246	113	1417	-0.0882716	-279.2387518	-60.11043084	-401.6475335	
58	6179	1056	947	-1.375503285	0.084487791	-2.471148246	115	1415	-0.0882716	-284.3204843	-60.11043084	-406.7504923	
59	6180	972	947	-1.375503285	0.084487791	-2.471148246	117	1413	-0.0882716	-289.4032448	-60.11043084	-411.8534511	
60	6181	1004	947	-1.375503285	0.084487791	-2.471148246	119	1411	-0.0882716	-294.4860043	-60.11043084	-416.9564100	
61	6182	1018	948	-1.340185067	0.090092654	-2.406911649	121	1409	-0.0941125	-291.2369145	-60.11043084	-422.0593688	
62	6183	1010	948	-1.340185067	0.090092654	-2.406911649	123	1407	-0.0941125	-296.3200747	-60.11043084	-427.1623276	
63	6184	1048	948	-1.30485668	0.095699616	-2.340728359	125	1405	-0.1008918	-292.9606486	-60.11043084	-432.2652864	
64	6185	958	949	-1.30485668	0.095699616	-2.340728359	127	1403	-0.1008918	-297.6535053	-60.11043084	-437.3682452	
65	6186	1018	949	-1.30485668	0.095699616	-2.340728359	129	1401	-0.1008918	-302.3463620	-60.11043084	-442.4712040	
66	6187	1012	949	-1.30485668	0.095699616	-2.340728359	131	1399	-0.1008918	-307.0392189	-60.11043084	-447.5741628	
67	6188	1051	949	-1.30485668	0.095699616	-2.340728359	133	1397	-0.1008918	-311.7320757	-60.11043084	-452.6771216	
68	6189	1015	949	-1.30485668	0.095699616	-2.340728359	135	1395	-0.1008918	-316.4249322	-60.11043084	-457.7800804	
69	6190	1002	950	-1.269548633	0.101212794	-2.281579327	137	1393	-0.107722	-312.5753878	-60.11043084	-462.8830392	
70	6191	1062	950	-1.269548633	0.101212794	-2.281579327	139	1391	-0.107722	-317.2682447	-60.11043084	-467.9859980	
71	6192	1010	950	-1.269548633	0.101212794	-2.281579327	141	1389	-0.107722	-321.9611016	-60.11043084	-473.0889568	
72	6193	1017	950	-1.269548633	0.101212794	-2.281579327	143	1387	-0.107722	-326.6539585	-60.11043084	-478.1919156	
73	6194	962	950	-1.269548633	0.101212794	-2.281579327	145	1385	-0.107722	-331.3468154	-60.11043084	-483.2948744	
74	6195	974	950	-1.269548633	0.101212794	-2.281579327	147	1383	-0.107722	-336.0396723	-60.11043084	-488.3978332	
75	6196	984	950	-1.269548633	0.101212794	-2.281579327	149	1381	-0.107722	-339.9535197	-60.11043084	-493.5007920	
76	6197	983	951	-1.234230416	0.106558593	-2.220465225	151	1379	-0.1149156	-335.2902489	-60.11043084	-498.6037508	
77	6198	1009	951	-1.234230416	0.106558593	-2.220465225	153	1377	-0.1149156	-339.7317194	-60.11043084	-503.7067096	
78	6199	1028	951	-1.234230416	0.106558593	-2.220465225	155	1375	-0.1149156	-344.1721089	-60.11043084	-508.8096684	
79	6200	1020	951	-1.234230416	0.106558593	-2.220465225	157	1373	-0.1149156	-348.6134903	-60.11043084	-513.9126272	
80	6201	1065	951	-1.234230416	0.106558593	-2.220465225	159	1371	-0.1149156	-353.0549707	-60.11043084	-519.0155860	
81	6202	1024	951	-1.234230416	0.106558593	-2.220465225	161	1369	-0.1149156	-357.4964012	-60.11043084	-524.1185448	
82	6203	1046	951	-1.234230416	0.106558593	-2.220465225	163	1367	-0.1149156	-361.9378317	-60.11043084	-529.2214936	
83	6204	1079	951	-1.234230416	0.106558593	-2.220465225	165	1365	-0.1149156	-366.3792622	-60.11043084	-534.3244524	
84	6205	1015	951	-1.234230416	0.106558593	-2.220465225	167	1363	-0.1149156	-370.8196927	-60.11043084	-539.4274112	
85	6206	1017	951	-1.234230416	0.106558593	-2.220465225	169	1361	-0.1149156	-375.2611232	-60.11043084	-544.5303700	
86	6207	1030	952	-1.198912199	0.115281105	-2.16038174	171	1359	-0.1224853	-369.4257775	-60.11043084	-549.6333288	
87	6208	1082	952	-1.198912199	0.115281105	-2.16038174	173	1357	-0.1224853	-373.7650411	-60.11043084	-554.7362876	

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ANEXO IX. EJEMPLO PARA LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE ANDERSON-DARLING (Continuación)

Número	batch	Floor	X	$z(i)=(K-m)y_i$	Probabilidad acumulada	$L_n(p(i))$	Z-1	$Zn+1-Zi$	$L_n(p(i))$	$(Zi-1)L_n(p(i))$	$(Zn+1-Zi)L_n(p(i))$	$(Zi-1)L_n(p(i))$ $\times (Zn+1-Zi)L_n(p(i))$
88	6209	1020	952	-1.198912199	0.115281105	-2.16038174	175	1355	-0.1224853	-378.0668044	-165.9676052	-544.0344097
89	6210	1050	952	-1.198912199	0.115281105	-2.16038174	177	1353	-0.1224853	-382.3875679	-165.7226346	-548.1102025
90	6211	1020	952	-1.198912199	0.115281105	-2.16038174	179	1351	-0.1224853	-386.7083314	-165.477664	-552.185965
91	6212	1024	952	-1.198912199	0.115281105	-2.16038174	181	1349	-0.1224853	-391.0290649	-165.2326933	-556.2617882
92	6213	994	953	-1.163593982	0.122294352	-2.101324422	183	1347	-0.130444	-384.5423693	-175.7080586	-560.2504291
93	6214	1074	953	-1.163593982	0.122294352	-2.101324422	185	1345	-0.130444	-388.7450182	-175.4471718	-564.192119
94	6215	1001	953	-1.163593982	0.122294352	-2.101324422	187	1343	-0.130444	-392.947667	-175.1962338	-568.1336908
95	6216	1012	953	-1.163593982	0.122294352	-2.101324422	189	1341	-0.130444	-397.1503258	-174.9252956	-572.0791771
96	6217	1007	953	-1.163593982	0.122294352	-2.101324422	191	1339	-0.130444	-401.3529847	-174.6654078	-576.0174725
97	6218	1018	953	-1.163593982	0.122294352	-2.101324422	193	1337	-0.130444	-405.5556135	-174.4036199	-579.9529234
98	6219	975	954	-1.128275765	0.129601786	-2.043288716	196	1335	-0.1380045	-398.4412996	-165.3039469	-583.7452465
99	6200	954	954	-1.128275765	0.129601786	-2.043288716	197	1333	-0.1380045	-402.578717	-165.026338	-587.594215
100	6221	1023	954	-1.128275765	0.129601786	-2.043288716	199	1331	-0.1380045	-406.7144564	-164.7487291	-591.3631033
101	6222	967	954	-1.128275765	0.129601786	-2.043288716	201	1329	-0.1380045	-410.9102019	-164.4111202	-595.172152
102	6223	1029	954	-1.128275765	0.129601786	-2.043288716	203	1327	-0.1380045	-415.0787993	-164.1935112	-599.0811205
103	6224	962	954	-1.128275765	0.129601786	-2.043288716	206	1325	-0.1380045	-419.2478187	-163.9159023	-602.9900891
104	6225	1021	955	-0.092957548	0.137206258	-1.986269951	207	1323	-0.1475796	-411.1578799	-163.2478344	-606.4057143
105	6226	1001	955	-0.092957548	0.137206258	-1.986269951	209	1321	-0.1475796	-415.304198	-162.9625752	-610.037143
106	6227	970	955	-0.092957548	0.137206258	-1.986269951	211	1319	-0.1475796	-419.429597	-162.6781756	-613.7604756
107	6228	1027	956	-0.05763933	0.145109979	-1.930263346	213	1317	-0.1567824	-411.1460927	-162.4024855	-617.4825702
108	6229	1048	956	-0.05763933	0.145109979	-1.930263346	216	1315	-0.1567824	-415.0066193	-162.1089206	-621.17584
109	6230	1051	956	-0.05763933	0.145109979	-1.930263346	217	1313	-0.1567824	-418.867146	-161.8555557	-624.9270153
110	6231	968	956	-0.05763933	0.145109979	-1.930263346	219	1311	-0.1567824	-422.7276727	-161.5641706	-628.6984635
111	6232	1007	958	-0.05763933	0.145109979	-1.930263346	221	1309	-0.1567824	-426.5881994	-161.2728259	-632.4925619
112	6233	1044	967	-0.022321113	0.153314486	-1.875264002	223	1307	-0.1664259	-418.1838724	-161.0157134	-636.2206619
113	6234	1002	967	-0.022321113	0.153314486	-1.875264002	225	1305	-0.1664259	-421.9344004	-160.7650615	-639.9202619
114	6235	978	967	-0.022321113	0.153314486	-1.875264002	227	1303	-0.1664259	-425.6849284	-160.5130096	-643.5376708
115	6236	981	967	-0.022321113	0.153314486	-1.875264002	229	1301	-0.1664259	-429.4354564	-160.2615577	-647.1655614
116	6237	1004	967	-0.022321113	0.153314486	-1.875264002	231	1299	-0.1664259	-433.1859844	-160.0103559	-650.7932002
117	6238	972	967	-0.022321113	0.153314486	-1.875264002	233	1297	-0.1664259	-436.9365174	-159.7574339	-654.4206693
118	6239	958	967	-0.022321113	0.153314486	-1.875264002	236	1295	-0.1664259	-440.6870404	-159.5042852	-658.0486466
119	6240	919	958	-0.987002896	0.161820611	-1.821269602	237	1293	-0.1762311	-433.6422568	-159.2544101	-661.6731535
120	6241	946	958	-0.987002896	0.161820611	-1.821269602	239	1291	-0.1762311	-437.3927896	-159.0031769	-665.2981681
121	6242	935	958	-0.987002896	0.161820611	-1.821269602	241	1289	-0.1762311	-441.1433234	-158.7519319	-668.9232026
122	6243	1021	958	-0.987002896	0.161820611	-1.821269602	243	1287	-0.1762311	-444.8938562	-158.5016874	-672.5481714
123	6244	932	958	-0.987002896	0.161820611	-1.821269602	246	1285	-0.1762311	-448.644389	-158.2504431	-676.1730286
124	6245	1000	958	-0.987002896	0.161820611	-1.821269602	247	1283	-0.1762311	-452.3949218	-158.0001988	-679.8001626
125	6246	1016	958	-0.987002896	0.161820611	-1.821269602	249	1281	-0.1762311	-456.1454546	-157.7500545	-683.4271512
126	6247	998	959	-0.951684679	0.170628447	-1.768266906	251	1279	-0.187087	-443.8349939	-157.5001232	-687.0541306
127	6248	973	959	-0.951684679	0.170628447	-1.768266906	253	1277	-0.187087	-447.5855276	-157.2500889	-690.6811659
128	6249	1005	959	-0.951684679	0.170628447	-1.768266906	256	1275	-0.187087	-451.3360614	-157.0000546	-694.3082016
129	6250	985	959	-0.951684679	0.170628447	-1.768266906	257	1273	-0.187087	-455.0865954	-156.7500203	-697.9352363
130	6251	962	960	-0.916366462	0.179737333	-1.716258758	259	1271	-0.1981307	-444.5110182	-156.5000861	-701.5622019
131	6252	1002	960	-0.916366462	0.179737333	-1.716258758	261	1269	-0.1981307	-448.2615512	-156.2501514	-705.1891741
132	6253	992	960	-0.916366462	0.179737333	-1.716258758	263	1267	-0.1981307	-452.0120842	-156.0002161	-708.8161463
133	6254	986	960	-0.916366462	0.179737333	-1.716258758	266	1265	-0.1981307	-455.7626172	-155.7502808	-712.4431025
134	6255	996	960	-0.916366462	0.179737333	-1.716258758	267	1263	-0.1981307	-459.5131502	-155.5003454	-716.0700681
135	6256	982	961	-0.881048245	0.189145813	-1.665237062	269	1261	-0.209667	-447.9487696	-155.2504102	-719.6970336
136	6257	963	961	-0.881048245	0.189145813	-1.665237062	271	1259	-0.209667	-451.799379	-155.000475	-723.3240001
137	6258	1001	961	-0.881048245	0.189145813	-1.665237062	273	1257	-0.209667	-455.6500084	-154.7505398	-726.9509666
138	6259	919	961	-0.881048245	0.189145813	-1.665237062	276	1255	-0.209667	-459.5006378	-154.5006046	-730.5779331
139	6260	997	961	-0.881048245	0.189145813	-1.665237062	277	1253	-0.209667	-463.3512671	-154.2506694	-734.2048986

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

ANEXO IX. EJEMPLO PARA LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE ANDERSON-DARLING (Continuación)

Número	batch	Fluor	X	$Z[(X-\mu)/\sigma]$	Probabilidad acumulada	$\ln(p[i])$	Zi-1	$2n+1-2i$	$\ln(-p[i])$	$Z[-1-\ln(p[i])]$	$Z[1-\ln(p[i])]$	$Z[1-2i^*]$	$Z[-1-2i^*]$	$Z[1-\ln(p[i])]$	$Z[-1-2i^*]$	$Z[1-\ln(p[i])]$	$Z[-1-2i^*]$
140	6261	1013	962	-0.84573028	0.198251632	-1.615196302	278	1251	-0.2217091	-460.6301668	-277.3581092	-727.9978776					
141	6262	983	962	-0.84573028	0.198251632	-1.615196302	281	1249	-0.2217091	-463.8701626	-276.9146619	-730.1948519					
142	6263	997	962	-0.84573028	0.198251632	-1.615196302	283	1247	-0.2217091	-467.1055535	-276.4172727	-733.5718263					
143	6264	976	962	-0.84573028	0.198251632	-1.615196302	285	1245	-0.2217091	-470.3399462	-275.9339642	-736.9588006					
144	6265	978	962	-0.84573028	0.198251632	-1.615196302	287	1243	-0.2217091	-473.5743388	-275.4526263	-740.3475775					
145	6266	972	962	-0.84573028	0.198251632	-1.615196302	289	1241	-0.2217091	-476.8087314	-274.9713110	-743.7423744					
146	6267	1002	962	-0.84573028	0.198251632	-1.615196302	291	1239	-0.2217091	-480.0431240	-274.4900058	-747.1371723					
147	6268	966	962	-0.84573028	0.198251632	-1.615196302	293	1237	-0.2217091	-483.2775166	-274.0087002	-750.5318725					
148	6269	977	962	-0.84573028	0.198251632	-1.615196302	295	1235	-0.2217091	-486.5119092	-273.5273949	-753.9263726					
149	6270	1015	962	-0.84573028	0.198251632	-1.615196302	297	1233	-0.2217091	-489.7463018	-273.0460894	-757.3208727					
150	6271	968	962	-0.84573028	0.198251632	-1.615196302	299	1231	-0.2217091	-492.9806944	-272.5647838	-760.7153728					
151	6273	1002	962	-0.81041181	0.208851704	-1.56613063	301	1229	-0.2342698	-471.4053797	-287.917545	-759.3230244					
152	6274	971	963	-0.81041181	0.208851704	-1.56613063	303	1227	-0.2342698	-474.576414	-287.4891053	-762.5131806					
153	6275	962	963	-0.81041181	0.208851704	-1.56613063	305	1225	-0.2342698	-477.747453	-287.0605656	-765.7033368					
154	6276	968	963	-0.81041181	0.208851704	-1.56613063	307	1223	-0.2342698	-480.918492	-286.6320259	-768.8934930					
155	6277	952	964	-0.77593593	0.219142109	-1.51803486	309	1221	-0.2473621	-469.0727716	-302.0291265	-771.1019001					
156	6278	972	964	-0.77593593	0.219142109	-1.51803486	311	1219	-0.2473621	-472.108413	-301.5344603	-774.2919563					
157	6279	984	964	-0.77593593	0.219142109	-1.51803486	313	1217	-0.2473621	-475.144911	-301.0398601	-777.4820125					
158	6280	958	964	-0.77593593	0.219142109	-1.51803486	315	1215	-0.2473621	-478.1814098	-300.5452559	-780.6720687					
159	6281	952	964	-0.77593593	0.219142109	-1.51803486	317	1213	-0.2473621	-481.2179085	-300.0506217	-783.8621251					
160	6282	992	965	-0.73975736	0.228718078	-1.47890247	319	1211	-0.2609687	-469.2178881	-316.0942438	-787.0521719					
161	6283	984	965	-0.73975736	0.228718078	-1.47890247	321	1209	-0.2609687	-472.159693	-315.5474264	-790.2422283					
162	6284	993	965	-0.73975736	0.228718078	-1.47890247	323	1207	-0.2609687	-475.101498	-315.0524299	-793.4322847					
163	6285	964	965	-0.73975736	0.228718078	-1.47890247	325	1205	-0.2609687	-478.0433029	-314.5504316	-796.6223401					
164	6286	967	965	-0.73975736	0.228718078	-1.47890247	327	1203	-0.2609687	-480.9851078	-314.0534432	-799.8123955					
165	6287	972	965	-0.73975736	0.228718078	-1.47890247	329	1201	-0.2609687	-483.9269128	-313.5564548	-803.0024509					
166	6288	978	965	-0.73975736	0.228718078	-1.47890247	331	1199	-0.2609687	-486.8687177	-313.0594664	-806.1925063					
167	6289	992	966	-0.70457159	0.246573986	-1.424727601	333	1197	-0.2751924	-474.2347424	-329.4052744	-809.3825616					
168	6290	1028	966	-0.70457159	0.246573986	-1.424727601	335	1195	-0.2751924	-477.2703464	-328.9084896	-812.5726170					
169	6291	947	966	-0.70457159	0.246573986	-1.424727601	337	1193	-0.2751924	-480.3059167	-328.4113016	-815.7626724					
170	6292	980	966	-0.70457159	0.246573986	-1.424727601	339	1191	-0.2751924	-483.3414868	-327.9143049	-818.9527278					
171	6293	968	966	-0.70457159	0.246573986	-1.424727601	341	1189	-0.2751924	-486.3770572	-327.4173153	-822.1427832					
172	6294	953	966	-0.70457159	0.246573986	-1.424727601	343	1187	-0.2751924	-489.4126276	-326.9203256	-825.3328386					
173	6295	973	966	-0.70457159	0.246573986	-1.424727601	345	1185	-0.2751924	-492.4481980	-326.4253360	-828.5228940					
174	6296	974	967	-0.66913842	0.251703355	-1.379504048	347	1183	-0.2899558	-478.6878047	-343.0177929	-831.7129342					
175	6297	958	967	-0.66913842	0.251703355	-1.379504048	349	1181	-0.2899558	-481.7234124	-342.5207941	-834.9029895					
176	6298	960	967	-0.66913842	0.251703355	-1.379504048	351	1179	-0.2899558	-484.7589209	-342.0238255	-838.0930449					
177	6299	996	967	-0.66913842	0.251703355	-1.379504048	353	1177	-0.2899558	-487.8044938	-341.5268271	-841.2831003					
178	6300	986	967	-0.66913842	0.251703355	-1.379504048	355	1175	-0.2899558	-490.8500667	-341.0298286	-844.4731557					
179	6301	994	967	-0.66913842	0.251703355	-1.379504048	357	1173	-0.2899558	-493.8956396	-340.5328301	-847.6632111					
180	6302	984	967	-0.66913842	0.251703355	-1.379504048	359	1171	-0.2899558	-496.9412125	-340.0358316	-850.8532665					
181	6303	957	968	-0.633820725	0.26309885	-1.335225462	361	1169	-0.3050315	-482.016392	-356.0947474	-854.0433219					
182	6304	972	968	-0.633820725	0.26309885	-1.335225462	363	1167	-0.3050315	-485.0619649	-355.5976473	-857.2333773					
183	6305	978	968	-0.633820725	0.26309885	-1.335225462	365	1165	-0.3050315	-488.1085374	-355.1005472	-860.4234327					
184	6306	1044	968	-0.633820725	0.26309885	-1.335225462	367	1163	-0.3050315	-491.1551100	-354.6035477	-863.6134881					
185	6307	1001	968	-0.633820725	0.26309885	-1.335225462	369	1161	-0.3050315	-494.2016825	-354.1065482	-866.8035435					
186	6308	979	968	-0.633820725	0.26309885	-1.335225462	371	1159	-0.3050315	-497.2482550	-353.6095487	-870.0035989					
187	6309	982	968	-0.633820725	0.26309885	-1.335225462	373	1157	-0.3050315	-500.2948275	-353.1125492	-873.2036543					
188	6310	1004	968	-0.633820725	0.26309885	-1.335225462	375	1155	-0.3050315	-503.3414000	-352.6155497	-876.4037097					
189	6311	973	968	-0.633820725	0.26309885	-1.335225462	377	1153	-0.3050315	-506.3879725	-352.1185502	-879.6037651					
190	6312	960	969	-0.598502508	0.274752291	-1.291886348	379	1151	-0.3212142	-489.6245468	-369.7495589	-882.8038205					
191	6313	920	969	-0.598502508	0.274752291	-1.291886348	381	1149	-0.3212142	-492.6710175	-369.2527049	-886.0038759					

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

ANEXO IX. EJEMPLO PARA LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE ANDERSON-DARLING (Continuación)

Número	batch	Fluor	X	$z(i)=(X-m)/s$	Probabilidad acumulada	$\ln(p(i))$	Z-1	$Zn+1-2i$	$\ln(p(i))$	$(2i-1)\ln(p(i))$	$(2n+1-2i)^{-1}(\ln(p(i)))$	$(2i-1)\ln(p(i)) + (2n+1-2i)\ln(p(i))$
192	6314	946	969	-0.598502508	0.274753291	-1.291885340	383	1147	-0.321242	-494.1920682	-358.4649800	-853.2566791
193	6315	935	969	-0.594850250	0.274753291	-1.291885340	385	1145	-0.322247	-497.3758599	-367.8221068	-865.1719857
194	6316	1021	970	-0.56318429	0.286654662	-1.249477057	387	1143	-0.3377896	-485.5476211	-386.9035475	-869.6419766
195	6317	932	970	-0.56318429	0.286654662	-1.249477057	389	1141	-0.3377896	-485.5476211	-386.9035475	-869.6419766
196	6318	980	970	-0.56318429	0.286654662	-1.249477057	391	1139	-0.3377896	-485.5476211	-386.9035475	-869.6419766
197	6319	962	970	-0.56318429	0.286654662	-1.249477057	393	1137	-0.3377896	-485.5476211	-386.9035475	-869.6419766
198	6320	1004	970	-0.56318429	0.286654662	-1.249477057	395	1135	-0.3377896	-485.5476211	-386.9035475	-869.6419766
199	6321	972	970	-0.56318429	0.286654662	-1.249477057	397	1133	-0.3377896	-485.5476211	-386.9035475	-869.6419766
200	6322	1007	970	-0.56318429	0.286654662	-1.249477057	399	1131	-0.3377896	-485.5476211	-386.9035475	-869.6419766
201	6323	1044	970	-0.56318429	0.286654662	-1.249477057	401	1129	-0.3377896	-485.5476211	-386.9035475	-869.6419766
202	6324	1001	970	-0.56318429	0.286654662	-1.249477057	403	1127	-0.3377896	-485.5476211	-386.9035475	-869.6419766
203	6325	958	970	-0.56318429	0.286654662	-1.249477057	405	1125	-0.3377896	-485.5476211	-386.9035475	-869.6419766
204	6326	1021	970	-0.56318429	0.286654662	-1.249477057	407	1123	-0.3377896	-485.5476211	-386.9035475	-869.6419766
205	6327	1021	970	-0.56318429	0.286654662	-1.249477057	409	1121	-0.3377896	-485.5476211	-386.9035475	-869.6419766
206	6328	932	971	-0.527866073	0.290796126	-1.207993791	411	1119	-0.3549566	-498.4854481	-397.1964067	-893.5816584
207	6329	946	971	-0.527866073	0.290796126	-1.207993791	413	1117	-0.3549566	-498.4854481	-397.1964067	-893.5816584
208	6330	935	971	-0.527866073	0.290796126	-1.207993791	415	1115	-0.3549566	-498.4854481	-397.1964067	-893.5816584
209	6331	1027	971	-0.527866073	0.290796126	-1.207993791	417	1113	-0.3549566	-498.4854481	-397.1964067	-893.5816584
210	6332	1049	971	-0.527866073	0.290796126	-1.207993791	419	1111	-0.3549566	-498.4854481	-397.1964067	-893.5816584
211	6333	1051	971	-0.527866073	0.290796126	-1.207993791	421	1109	-0.3549566	-498.4854481	-397.1964067	-893.5816584
212	6334	970	971	-0.527866073	0.290796126	-1.207993791	423	1107	-0.3549566	-498.4854481	-397.1964067	-893.5816584
213	6335	1006	971	-0.527866073	0.290796126	-1.207993791	425	1105	-0.3549566	-498.4854481	-397.1964067	-893.5816584
214	6336	1044	971	-0.527866073	0.290796126	-1.207993791	427	1103	-0.3549566	-498.4854481	-397.1964067	-893.5816584
215	6337	1001	971	-0.527866073	0.290796126	-1.207993791	429	1101	-0.3549566	-498.4854481	-397.1964067	-893.5816584
216	6338	979	971	-0.527866073	0.290796126	-1.207993791	431	1099	-0.3549566	-498.4854481	-397.1964067	-893.5816584
217	6339	981	971	-0.527866073	0.290796126	-1.207993791	433	1097	-0.3549566	-498.4854481	-397.1964067	-893.5816584
218	6340	1004	972	-0.492547856	0.311166048	-1.167428594	435	1095	-0.3727555	-507.8314382	-408.1661736	-915.9980210
219	6341	980	972	-0.492547856	0.311166048	-1.167428594	437	1093	-0.3727555	-507.8314382	-408.1661736	-915.9980210
220	6342	968	972	-0.492547856	0.311166048	-1.167428594	439	1091	-0.3727555	-507.8314382	-408.1661736	-915.9980210
221	6343	920	972	-0.492547856	0.311166048	-1.167428594	441	1089	-0.3727555	-507.8314382	-408.1661736	-915.9980210
222	6344	1002	972	-0.492547856	0.311166048	-1.167428594	443	1087	-0.3727555	-507.8314382	-408.1661736	-915.9980210
223	6345	979	972	-0.492547856	0.311166048	-1.167428594	445	1085	-0.3727555	-507.8314382	-408.1661736	-915.9980210
224	6346	981	972	-0.492547856	0.311166048	-1.167428594	447	1083	-0.3727555	-507.8314382	-408.1661736	-915.9980210
225	6347	1004	972	-0.492547856	0.311166048	-1.167428594	449	1081	-0.3727555	-507.8314382	-408.1661736	-915.9980210
226	6348	980	972	-0.492547856	0.311166048	-1.167428594	451	1079	-0.3727555	-507.8314382	-408.1661736	-915.9980210
227	6349	1023	972	-0.492547856	0.311166048	-1.167428594	453	1077	-0.3727555	-507.8314382	-408.1661736	-915.9980210
228	6340	1020	972	-0.492547856	0.311166048	-1.167428594	455	1075	-0.3727555	-507.8314382	-408.1661736	-915.9980210
229	6341	979	972	-0.492547856	0.311166048	-1.167428594	457	1073	-0.3727555	-507.8314382	-408.1661736	-915.9980210
230	6342	966	972	-0.492547856	0.311166048	-1.167428594	459	1071	-0.3727555	-507.8314382	-408.1661736	-915.9980210
231	6343	993	972	-0.492547856	0.311166048	-1.167428594	461	1069	-0.3727555	-507.8314382	-408.1661736	-915.9980210
232	6344	984	972	-0.492547856	0.311166048	-1.167428594	463	1067	-0.3727555	-507.8314382	-408.1661736	-915.9980210
233	6345	974	972	-0.492547856	0.311166048	-1.167428594	465	1065	-0.3727555	-507.8314382	-408.1661736	-915.9980210
234	6346	1050	972	-0.492547856	0.311166048	-1.167428594	467	1063	-0.3727555	-507.8314382	-408.1661736	-915.9980210
235	6347	979	972	-0.492547856	0.311166048	-1.167428594	469	1061	-0.3727555	-507.8314382	-408.1661736	-915.9980210
236	6348	960	972	-0.492547856	0.311166048	-1.167428594	471	1059	-0.3727555	-507.8314382	-408.1661736	-915.9980210
237	6349	1001	972	-0.492547856	0.311166048	-1.167428594	473	1057	-0.3727555	-507.8314382	-408.1661736	-915.9980210
238	6350	1018	972	-0.492547856	0.311166048	-1.167428594	475	1055	-0.3727555	-507.8314382	-408.1661736	-915.9980210
239	6351	988	973	-0.457296399	0.323753016	-1.127774382	477	1053	-0.3911969	-547.4594632	-411.9303441	-949.3807096
240	6352	988	973	-0.457296399	0.323753016	-1.127774382	479	1051	-0.3911969	-547.4594632	-411.9303441	-949.3807096
241	6353	987	973	-0.457296399	0.323753016	-1.127774382	481	1049	-0.3911969	-547.4594632	-411.9303441	-949.3807096
242	6354	990	973	-0.457296399	0.323753016	-1.127774382	483	1047	-0.3911969	-547.4594632	-411.9303441	-949.3807096
243	6355	1006	973	-0.457296399	0.323753016	-1.127774382	485	1045	-0.3911969	-547.4594632	-411.9303441	-949.3807096

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

ANEXO IX. EJEMPLO PARA LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE ANDERSON-DARLING (Continuación)

Número	batch	Fluor	X	$z(i)=\frac{(X-m)_s}{s}$	Probabilidad acumulada	$L_n(p(i))$	Zi-1	Zn+1-Zi	$L_n(-p(i))$	$Zi-1 \times L_n(p(i))$	$Zn+1-Zi \times L_n(-p(i))$	$Zi-1 \times L_n(p(i)) + (Zn+1-Zi) \times L_n(-p(i))$
244	6356	975	973	-0.457229639	0.32753016	1.127774352	487	1043	-0.3911969	-549.2261093	-406.0183751	-957.2444843
245	6357	1037	973	-0.457229639	0.32753016	1.127774352	488	1041	-0.3911969	-551.4818588	-407.2598162	-958.7173832
246	6358	988	973	-0.457229639	0.32753016	1.127774352	491	1039	-0.3911969	-553.7372067	-406.8653874	-960.1907941
247	6359	969	973	-0.457229639	0.32753016	1.127774352	493	1037	-0.3911969	-555.9927354	-405.6171936	-961.6534939
248	6360	973	973	-0.457229639	0.32753016	1.127774352	495	1035	-0.3911969	-558.2483041	-404.8887996	-963.1371039
249	6361	992	973	-0.457229639	0.32753016	1.127774352	497	1033	-0.3911969	-560.5038528	-404.1064066	-964.6102586
250	6362	998	973	-0.457229639	0.32753016	1.127774352	499	1031	-0.3911969	-562.7594015	-403.2401122	-966.0834136
251	6363	987	974	-0.421911422	0.336544872	1.089023791	501	1029	-0.4102941	-545.6091893	-422.1829306	-967.7930929
252	6364	970	974	-0.421911422	0.336544872	1.089023791	503	1027	-0.4102941	-547.7786669	-421.3719995	-969.1508624
253	6365	975	974	-0.421911422	0.336544872	1.089023791	505	1025	-0.4102941	-549.9570145	-420.5514074	-970.5084219
254	6366	1037	974	-0.421911422	0.336544872	1.089023791	507	1023	-0.4102941	-552.1360921	-419.7308163	-971.8568419
255	6367	988	974	-0.421911422	0.336544872	1.089023791	509	1021	-0.4102941	-554.3131097	-418.9102312	-973.2334048
256	6368	985	974	-0.421911422	0.336544872	1.089023791	511	1019	-0.4102941	-556.4911572	-418.0896341	-974.5868003
257	6369	973	974	-0.421911422	0.336544872	1.089023791	513	1017	-0.4102941	-558.6692048	-417.2690549	-975.9382598
258	6370	992	974	-0.421911422	0.336544872	1.089023791	515	1015	-0.4102941	-560.8472524	-416.4484668	-977.2957182
259	6371	998	974	-0.421911422	0.336544872	1.089023791	517	1013	-0.4102941	-563.0253253	-415.6278787	-978.6517987
260	6372	987	974	-0.421911422	0.336544872	1.089023791	519	1011	-0.4102941	-565.2033476	-414.8072906	-980.0180362
261	6373	970	974	-0.421911422	0.336544872	1.089023791	521	1009	-0.4102941	-567.3813951	-413.9867075	-981.3800878
262	6374	970	974	-0.421911422	0.336544872	1.089023791	523	1007	-0.4102941	-569.5594427	-413.1661144	-982.7455571
263	6375	978	975	-0.386593205	0.349528745	-1.051169475	525	1005	-0.4300562	-551.8639741	-432.204862	-984.0740616
264	6376	992	975	-0.386593205	0.349528745	-1.051169475	527	1003	-0.4300562	-553.9663131	-431.3483457	-985.3146587
265	6377	985	975	-0.386593205	0.349528745	-1.051169475	529	1001	-0.4300562	-556.066652	-430.4882133	-986.5568813
266	6378	997	975	-0.386593205	0.349528745	-1.051169475	531	999	-0.4300562	-558.1709991	-429.628113	-987.7991033
267	6379	954	975	-0.386593205	0.349528745	-1.051169475	533	997	-0.4300562	-560.2732399	-428.7679996	-989.0412626
268	6380	983	975	-0.386593205	0.349528745	-1.051169475	535	995	-0.4300562	-562.3766889	-427.9078803	-990.2836492
269	6381	997	975	-0.386593205	0.349528745	-1.051169475	537	993	-0.4300562	-564.4780778	-427.0477639	-991.5257718
270	6382	1005	975	-0.386593205	0.349528745	-1.051169475	539	991	-0.4300562	-566.5803468	-426.1876476	-992.7699944
271	6383	953	975	-0.386593205	0.349528745	-1.051169475	541	989	-0.4300562	-568.6826857	-425.3275133	-994.0102127
272	6384	988	975	-0.386593205	0.349528745	-1.051169475	543	987	-0.4300562	-570.7850247	-424.4674149	-995.2524396
273	6385	989	975	-0.386593205	0.349528745	-1.051169475	545	985	-0.4300562	-572.8873636	-423.6072996	-996.4946622
274	6386	973	976	-0.351274988	0.36269109	-1.014203799	547	983	-0.4505008	-554.7694787	-442.8422821	-997.6117603
275	6387	992	976	-0.351274988	0.36269109	-1.014203799	549	981	-0.4505008	-556.7788865	-441.8418955	-998.7591963
276	6388	998	976	-0.351274988	0.36269109	-1.014203799	551	979	-0.4505008	-558.8292334	-440.8412695	-999.9065731
277	6389	987	976	-0.351274988	0.36269109	-1.014203799	553	977	-0.4505008	-560.8547071	-439.8421789	-1000.9693978
278	6390	976	976	-0.351274988	0.36269109	-1.014203799	555	975	-0.4505008	-562.8811096	-438.8437122	-1002.021284
279	6391	978	976	-0.351274988	0.36269109	-1.014203799	557	973	-0.4505008	-564.911162	-437.8277612	-1003.074078
280	6392	992	977	-0.315967711	0.37617726	-0.978118994	559	971	-0.4716333	-546.7685178	-458.955612	-1004.774469
281	6393	986	977	-0.315967711	0.37617726	-0.978118994	561	969	-0.4716333	-548.7247557	-457.9216846	-1005.737344
282	6394	997	977	-0.315967711	0.37617726	-0.978118994	563	967	-0.4716333	-550.6890997	-456.8941979	-1006.700279
283	6395	954	977	-0.315967711	0.37617726	-0.978118994	565	965	-0.4716333	-552.6372317	-455.8261513	-1007.763305
284	6396	998	977	-0.315967711	0.37617726	-0.978118994	567	963	-0.4716333	-554.5934697	-454.8182847	-1008.826354
285	6397	986	977	-0.315967711	0.37617726	-0.978118994	569	961	-0.4716333	-556.5497077	-453.829819	-1009.889235
286	6398	996	977	-0.315967711	0.37617726	-0.978118994	571	959	-0.4716333	-558.5059457	-452.8206514	-1010.952071
287	6399	961	977	-0.315967711	0.37617726	-0.978118994	573	957	-0.4716333	-560.4621837	-451.8330047	-1012.015268
288	6400	953	978	-0.280638553	0.389493883	-0.942907118	575	955	-0.4934867	-546.4182127	-450.8906811	-1013.082812
289	6401	1000	978	-0.280638553	0.389493883	-0.942907118	577	953	-0.4934867	-548.4507403	-449.9274046	-1014.151426
290	6402	919	978	-0.280638553	0.389493883	-0.942907118	579	951	-0.4934867	-549.9432215	-449.0780846	-1015.220306
291	6403	997	978	-0.280638553	0.389493883	-0.942907118	581	949	-0.4934867	-547.8790356	-448.2001507	-1016.289186
292	6404	1013	978	-0.280638553	0.389493883	-0.942907118	583	947	-0.4934867	-549.7147485	-447.3321768	-1017.358067
293	6405	982	978	-0.280638553	0.389493883	-0.942907118	585	945	-0.4934867	-551.6006842	-446.4626232	-1018.426947
294	6406	997	978	-0.280638553	0.389493883	-0.942907118	587	943	-0.4934867	-553.4864785	-445.5934946	-1019.495827
295	6407	976	978	-0.280638553	0.389493883	-0.942907118	589	941	-0.4934867	-555.3722727	-444.7252415	-1020.564706

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

ANEXO IX. EJEMPLO PARA LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE ANDERSON-DARLING (Continuación)

Número	batch	Fuor	X	$z_i = (X_i - m_j)$	Probabilidad acumulada	$L_n(p(i))$	2-1	2n+1-2i	$L_n(1-p(i))$	$(2i-1)L_n(p(i))$	$(2n+1-2i)L_n(1-p(i))$	$(2i-1)L_n(p(i)) + (2n+1-2i)L_n(1-p(i))$
296	6408	978	978	-0.280638553	0.389493883	-0.942907118	591	939	-0.493467	-557.2581069	-463.365481	-1020.623588
297	6409	972	978	-0.280638553	0.389493883	-0.942907118	593	937	-0.493467	-559.1439212	-462.3785471	-1021.522468
298	6410	981	978	-0.280638553	0.389493883	-0.942907118	595	935	-0.493467	-561.2972354	-461.3915322	-1022.421349
299	6411	959	978	-0.280638553	0.389493883	-0.942907118	597	933	-0.493467	-563.1550497	-460.4046732	-1023.320232
300	6412	968	978	-0.280638553	0.389493883	-0.942907118	599	931	-0.493467	-564.8013639	-459.4177653	-1024.219109
301	6413	1015	978	-0.280638553	0.389493883	-0.942907118	601	929	-0.493467	-566.5871781	-458.4308114	-1025.117985
302	6414	984	978	-0.280638553	0.389493883	-0.942907118	603	927	-0.493467	-568.5729324	-457.4438374	-1026.017019
303	6415	1000	979	-0.245320336	0.403104253	-0.908560658	605	925	-0.45160128	-549.8788349	-477.1318486	-1026.906684
304	6416	986	979	-0.245320336	0.403104253	-0.908560658	607	923	-0.45160128	-551.495695	-476.2379823	-1027.775778
305	6417	1020	979	-0.245320336	0.403104253	-0.908560658	609	921	-0.45160128	-553.130752	-475.2477757	-1028.596873
306	6418	969	979	-0.245320336	0.403104253	-0.908560658	611	919	-0.45160128	-555.3001953	-474.2571757	-1029.349691
307	6419	1003	979	-0.245320336	0.403104253	-0.908560658	613	917	-0.45160128	-556.9473154	-473.1831417	-1030.131082
308	6420	985	979	-0.245320336	0.403104253	-0.908560658	615	915	-0.45160128	-558.784335	-472.157205	-1030.918158
309	6421	1015	979	-0.245320336	0.403104253	-0.908560658	617	913	-0.45160128	-560.8515556	-471.119849	-1031.70125
310	6422	995	979	-0.245320336	0.403104253	-0.908560658	619	911	-0.45160128	-562.996757	-470.087693	-1032.486345
311	6423	1009	979	-0.245320336	0.403104253	-0.908560658	621	909	-0.45160128	-564.2157959	-469.0565436	-1033.271439
312	6424	982	980	-0.210002119	0.416833039	-0.875069524	623	907	-0.5392818	-545.168132	-489.1285482	-1034.239861
313	6425	992	980	-0.210002119	0.416833039	-0.875069524	625	905	-0.5392818	-546.819422	-488.0490947	-1035.192967
314	6426	970	980	-0.210002119	0.416833039	-0.875069524	627	903	-0.5392818	-548.6685913	-486.9714212	-1036.150012
315	6427	952	980	-0.210002119	0.416833039	-0.875069524	629	901	-0.5392818	-550.4187203	-485.892677	-1036.211588
316	6428	954	980	-0.210002119	0.416833039	-0.875069524	631	899	-0.5392818	-552.1686993	-484.8142942	-1036.365164
317	6429	920	980	-0.210002119	0.416833039	-0.875069524	633	897	-0.5392818	-553.9190084	-483.7353707	-1036.516739
318	6430	965	980	-0.210002119	0.416833039	-0.875069524	635	895	-0.5392818	-555.6691474	-482.6571672	-1036.62515
319	6431	971	980	-0.210002119	0.416833039	-0.875069524	637	893	-0.5392818	-557.4192865	-481.5786037	-1036.907879
320	6432	962	980	-0.210002119	0.416833039	-0.875069524	639	891	-0.5392818	-559.1694255	-480.5000402	-1037.368466
321	6433	949	980	-0.210002119	0.416833039	-0.875069524	641	889	-0.5392818	-560.9195646	-479.4214767	-1037.914041
322	6434	961	980	-0.210002119	0.416833039	-0.875069524	643	887	-0.5392818	-562.6697036	-478.3429132	-1038.454912
323	6435	965	980	-0.210002119	0.416833039	-0.875069524	645	885	-0.5392818	-564.4198427	-477.2643497	-1039.012617
324	6436	974	980	-0.210002119	0.416833039	-0.875069524	647	883	-0.5392818	-566.1699817	-476.1857962	-1039.576378
325	6437	926	981	-0.174683902	0.430664011	-0.84242705	649	881	-0.56328495	-548.7251553	-496.2589698	-1040.235676
326	6438	972	981	-0.174683902	0.430664011	-0.84242705	651	879	-0.56328495	-548.2020994	-495.1781008	-1040.900838
327	6439	968	981	-0.174683902	0.430664011	-0.84242705	653	877	-0.56328495	-550.1048635	-494.093395	-1041.547111
328	6440	994	981	-0.174683902	0.430664011	-0.84242705	655	875	-0.56328495	-551.2879176	-493.028627	-1042.173967
329	6441	919	981	-0.174683902	0.430664011	-0.84242705	657	873	-0.56328495	-553.1475717	-491.747336	-1042.792985
330	6442	929	981	-0.174683902	0.430664011	-0.84242705	659	871	-0.56328495	-555.1950258	-490.2802246	-1043.350246
331	6443	968	981	-0.174683902	0.430664011	-0.84242705	661	869	-0.56328495	-556.8442799	-489.0442555	-1043.836355
332	6444	960	981	-0.174683902	0.430664011	-0.84242705	663	867	-0.56328495	-558.5291334	-488.3689884	-1044.088882
333	6445	947	982	-0.139365685	0.444830565	-0.810623991	665	865	-0.5803317	-539.0549542	-508.647413	-1047.112385
334	6446	987	982	-0.139365685	0.444830565	-0.810623991	667	863	-0.5803317	-540.6862021	-507.4173878	-1048.157267
335	6447	923	982	-0.139365685	0.444830565	-0.810623991	669	861	-0.5803317	-542.3074501	-506.295304	-1049.082756
336	6448	978	982	-0.139365685	0.444830565	-0.810623991	671	859	-0.5803317	-543.9236981	-505.119241	-1049.047939
337	6449	954	982	-0.139365685	0.444830565	-0.810623991	673	857	-0.5803317	-545.5494611	-503.9431778	-1049.043124
338	6450	963	982	-0.139365685	0.444830565	-0.810623991	675	855	-0.5803317	-547.1711941	-502.7871414	-1049.036303
339	6451	984	982	-0.139365685	0.444830565	-0.810623991	677	853	-0.5803317	-548.7924421	-501.5915057	-1050.303493
340	6452	961	982	-0.139365685	0.444830565	-0.810623991	679	851	-0.5803317	-550.41369	-500.4146873	-1050.828877
341	6453	961	982	-0.139365685	0.444830565	-0.810623991	681	849	-0.5803317	-552.034938	-499.2389232	-1051.273282
342	6454	961	982	-0.139365685	0.444830565	-0.810623991	683	847	-0.5803317	-553.656186	-498.0628604	-1051.719046
343	6455	990	982	-0.139365685	0.444830565	-0.810623991	685	845	-0.5803317	-555.277434	-496.836797	-1052.164231
344	6456	976	982	-0.139365685	0.444830565	-0.810623991	687	843	-0.5803317	-556.898582	-495.610737	-1052.609416
345	6457	983	982	-0.139365685	0.444830565	-0.810623991	689	841	-0.5803317	-558.51993	-494.3346027	-1053.05466
346	6458	950	982	-0.139365685	0.444830565	-0.810623991	691	839	-0.5803317	-560.1411779	-493.0685671	-1053.499785
347	6459	936	983	-0.100407468	0.455856784	-0.779651521	693	837	-0.6125337	-540.2985043	-513.5277106	-1053.852715

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

ANEJO IX. EJEMPLO PARA LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE ANDERSON-DARLING (Continuación)

Número	batch	Fluor	X	$z(i)=(X-m)/s$	Probabilidad acumulada	$Ln(p(i))$	2i-1	2n+1-2i	$Ln(1-p(i))$	$(2i-1)(X(i)-p(i))$	$(2n+1-2i)(Ln(1-p(i)))$	$(2i-1)(X(i)-p(i)) + (2n+1-2i)(Ln(1-p(i)))$
348	6460	537	963	-0.104047468	0.458565784	-0.779651521	695	835	-0.6135337	-541.2574073	-512.3008432	-1054.158461
349	6461	1009	963	-0.104047468	0.458565784	-0.779651521	697	833	-0.6135337	-543.4171103	-511.073759	-1054.400866
350	6462	982	963	-0.104047468	0.458565784	-0.779651521	699	831	-0.6135337	-544.9784134	-509.8465004	-1054.822322
351	6463	946	963	-0.104047468	0.458565784	-0.779651521	701	829	-0.6135337	-546.5397164	-508.6191441	-1055.243783
352	6464	988	963	-0.104047468	0.458565784	-0.779651521	703	827	-0.6135337	-548.0991195	-507.3937263	-1055.665244
353	6465	962	963	-0.104047468	0.458565784	-0.779651521	705	825	-0.6135337	-549.6584225	-506.1683002	-1056.086705
354	6466	950	963	-0.104047468	0.458565784	-0.779651521	707	823	-0.6135337	-551.2176256	-504.9432384	-1056.408166
355	6467	957	964	-0.068729251	0.472602497	-0.749500623	709	821	-0.6390027	-552.7369477	-503.7167477	-1056.729628
356	6468	952	964	-0.068729251	0.472602497	-0.749500623	711	819	-0.6390027	-554.2562497	-502.4902477	-1057.051090
357	6469	967	964	-0.068729251	0.472602497	-0.749500623	713	817	-0.6390027	-555.7755517	-501.2627477	-1057.372552
358	6470	958	964	-0.068729251	0.472602497	-0.749500623	715	815	-0.6390027	-557.2948537	-500.0352477	-1057.694014
359	6471	965	964	-0.068729251	0.472602497	-0.749500623	717	813	-0.6390027	-558.8141557	-498.8077477	-1058.015476
360	6472	927	964	-0.068729251	0.472602497	-0.749500623	719	811	-0.6390027	-560.3334577	-497.5802477	-1058.336938
361	6473	966	964	-0.068729251	0.472602497	-0.749500623	721	809	-0.6390027	-561.8527597	-496.3527477	-1058.658400
362	6474	945	964	-0.068729251	0.472602497	-0.749500623	723	807	-0.6390027	-563.3720617	-495.1252477	-1058.979862
363	6475	987	964	-0.068729251	0.472602497	-0.749500623	725	805	-0.6390027	-564.8913637	-493.8977477	-1059.301324
364	6476	950	964	-0.068729251	0.472602497	-0.749500623	727	803	-0.6390027	-566.4106657	-492.6702477	-1059.622786
365	6477	966	964	-0.068729251	0.472602497	-0.749500623	729	801	-0.6390027	-567.9299677	-491.4427477	-1059.944248
366	6478	993	964	-0.068729251	0.472602497	-0.749500623	731	799	-0.6390027	-569.4492697	-490.2152477	-1060.265710
367	6479	992	964	-0.068729251	0.472602497	-0.749500623	733	797	-0.6390027	-570.9685717	-488.9877477	-1060.587172
368	6480	977	964	-0.068729251	0.472602497	-0.749500623	735	795	-0.6390027	-572.4878737	-487.7602477	-1060.908634
369	6481	991	964	-0.068729251	0.472602497	-0.749500623	737	793	-0.6390027	-574.0071757	-486.5327477	-1061.230096
370	3482	1003	964	-0.068729251	0.472602497	-0.749500623	739	791	-0.6390027	-575.5264777	-485.3052477	-1061.551558
371	6483	1015	964	-0.068729251	0.472602497	-0.749500623	741	789	-0.6390027	-577.0457797	-484.0777477	-1061.873020
372	6484	1026	964	-0.068729251	0.472602497	-0.749500623	743	787	-0.6390027	-578.5650817	-482.8502477	-1062.194482
373	6485	964	935	-0.03411033	0.486673349	-0.720162122	745	785	-0.6668429	-538.520781	-523.418686	-1062.415944
374	6486	1029	965	-0.03411033	0.486673349	-0.720162122	747	783	-0.6668429	-539.961103	-522.187288	-1062.637406
375	6487	1041	965	-0.03411033	0.486673349	-0.720162122	749	781	-0.6668429	-541.401425	-520.955890	-1062.858868
376	6488	1013	965	-0.03411033	0.486673349	-0.720162122	751	779	-0.6668429	-542.841747	-519.724392	-1063.080330
377	6489	1020	965	-0.03411033	0.486673349	-0.720162122	753	777	-0.6668429	-544.282069	-518.492894	-1063.301792
378	6490	1007	965	-0.03411033	0.486673349	-0.720162122	755	775	-0.6668429	-545.722391	-517.261396	-1063.523254
379	6491	984	965	-0.03411033	0.486673349	-0.720162122	757	773	-0.6668429	-547.162713	-516.029898	-1063.744716
380	6492	1006	965	-0.03411033	0.486673349	-0.720162122	759	771	-0.6668429	-548.603035	-514.798400	-1063.966178
381	6493	963	965	-0.03411033	0.486673349	-0.720162122	761	769	-0.6668429	-550.043357	-513.566902	-1064.187640
382	6494	971	965	-0.03411033	0.486673349	-0.720162122	763	767	-0.6668429	-551.483679	-512.335404	-1064.409102
383	6495	968	965	0.50076086	-0.691626617	0.50076086	765	765	0.6946701	-529.0943617	-531.422594	-1064.518956
384	6496	966	965	0.001907184	0.50076086	-0.691626617	767	763	0.6946701	-530.4778149	-530.0322556	-1064.551810
385	6497	968	965	0.001907184	0.50076086	-0.691626617	769	761	0.6946701	-531.8612681	-528.6459158	-1064.584664
386	6498	1014	966	0.001907184	0.50076086	-0.691626617	771	759	0.6946701	-533.2447214	-527.2595757	-1064.617518
387	6499	1003	966	0.001907184	0.50076086	-0.691626617	773	757	0.6946701	-534.6281746	-525.8732346	-1064.650372
388	6500	956	966	0.001907184	0.50076086	-0.691626617	775	755	0.6946701	-536.0116278	-524.486892	-1064.683226
389	6501	981	966	0.001907184	0.50076086	-0.691626617	777	753	0.6946701	-537.3950811	-523.099553	-1064.716080
390	6502	984	966	0.001907184	0.50076086	-0.691626617	779	751	0.6946701	-538.7785343	-521.7122152	-1064.748934
391	6503	985	966	0.001907184	0.50076086	-0.691626617	781	749	0.6946701	-540.1619875	-520.3257751	-1064.781788
392	6504	962	966	0.001907184	0.50076086	-0.691626617	783	747	0.6946701	-541.5454407	-518.939435	-1064.814642
393	6505	976	966	0.001907184	0.50076086	-0.691626617	785	745	0.6946701	-542.928894	-517.5529149	-1064.847496
394	6506	965	966	0.001907184	0.50076086	-0.691626617	787	743	0.6946701	-544.3123472	-516.1663957	-1064.880350
395	6507	967	966	0.001907184	0.50076086	-0.691626617	789	741	0.6946701	-545.6958005	-514.7808765	-1064.913204
396	6508	980	967	0.037225401	0.514847417	-0.6638847	791	739	-0.7232918	-525.1279715	-538.4056269	-1064.946058
397	6509	1020	967	0.037225401	0.514847417	-0.6638847	793	737	-0.7232918	-526.5114247	-537.0203717	-1064.978912
398	6510	990	967	0.037225401	0.514847417	-0.6638847	795	735	-0.7232918	-527.8948779	-535.6338263	-1065.011766
399	6511	999	967	0.037225401	0.514847417	-0.6638847	797	733	-0.7232918	-529.2783311	-534.2472914	-1065.044620

TESTES CON FALLA DE ORIGEN

ANEXO IX. EJEMPLO PARA LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE ANDERSON-DARLING (Continuación)

Número	batch	Fluor	X	$z(j) = (X-m)/s$	Probabilidad acumulada	$L_n(p(j))$	Z-1	$2n+1-2j$	$L_n(1-p(j))$	$(2-1) \cdot  L_n(p(j)) $	$(2n+1-2j) \cdot  L_n(1-p(j)) $
400	6512	968	987	0.037225401	0.514847417	-0.6638847	799	731	-0.7232919	-530.4438751	-528.7263303
401	6513	1001	987	0.037225401	0.514847417	-0.6638847	801	729	-0.7232919	-531.7716445	-527.27197467
402	6514	1012	987	0.037225401	0.514847417	-0.6638847	803	727	-0.7232919	-533.0994139	-525.8331653
403	6515	992	987	0.037225401	0.514847417	-0.6638847	805	725	-0.7232919	-534.4271933	-524.3957048
404	6516	962	987	0.037225401	0.514847417	-0.6638847	807	723	-0.7232919	-535.7549527	-522.9582543
405	6517	971	987	0.037225401	0.514847417	-0.6638847	809	721	-0.7232919	-537.0827221	-521.5208038
406	6518	950	987	0.037225401	0.514847417	-0.6638847	811	719	-0.7232919	-538.4104915	-520.0833533
407	6519	975	987	0.037225401	0.514847417	-0.6638847	813	717	-0.7232919	-539.7382609	-518.6459028
408	6520	980	987	0.037225401	0.514847417	-0.6638847	815	715	-0.7232919	-541.0660303	-517.2084523
409	6521	980	987	0.037225401	0.514847417	-0.6638847	817	713	-0.7232919	-542.3937997	-515.7709018
410	6522	974	983	0.072543618	0.528615422	-0.636926742	819	711	-0.7527176	-521.8430021	-535.1870773
411	6523	1006	988	0.072543618	0.528615422	-0.636926742	821	709	-0.7527176	-523.1616556	-533.8182231
412	6524	1003	988	0.072543618	0.528615422	-0.636926742	823	707	-0.7527176	-524.4803090	-532.4494765
413	6525	1000	988	0.072543618	0.528615422	-0.636926742	825	705	-0.7527176	-525.7989625	-531.0807299
414	6526	966	988	0.072543618	0.528615422	-0.636926742	827	703	-0.7527176	-527.1176160	-529.7120834
415	6527	977	988	0.072543618	0.528615422	-0.636926742	829	701	-0.7527176	-528.4362695	-528.3433369
416	6528	969	988	0.072543618	0.528615422	-0.636926742	831	699	-0.7527176	-529.7549230	-526.9745904
417	6529	946	988	0.072543618	0.528615422	-0.636926742	833	697	-0.7527176	-530.5957765	-525.6058439
418	6530	994	988	0.072543618	0.528615422	-0.636926742	835	695	-0.7527176	-531.8338299	-524.2370974
419	6531	965	988	0.072543618	0.528615422	-0.636926742	837	693	-0.7527176	-533.0718834	-522.8683509
420	6532	959	988	0.072543618	0.528615422	-0.636926742	839	691	-0.7527176	-534.3103369	-521.5000044
421	6533	969	988	0.072543618	0.528615422	-0.636926742	841	689	-0.7527176	-535.5483904	-519.8227428
422	6534	967	988	0.072543618	0.528615422	-0.636926742	843	687	-0.7527176	-536.7864439	-517.1102112
423	6535	987	988	0.072543618	0.528615422	-0.636926742	845	685	-0.7527176	-538.0244974	-515.8115767
424	6536	961	988	0.072543618	0.528615422	-0.636926742	847	683	-0.7527176	-539.2625509	-514.1061415
425	6537	926	988	0.072543618	0.528615422	-0.636926742	849	681	-0.7527176	-540.5006044	-512.8007062
426	6538	940	988	0.107861835	0.542947407	-0.610742819	851	679	-0.7820568	-519.7421393	-511.6278756
427	6539	967	988	0.107861835	0.542947407	-0.610742819	853	677	-0.7820568	-520.9836249	-510.2693171
428	6540	981	988	0.107861835	0.542947407	-0.610742819	855	675	-0.7820568	-522.1851106	-508.9548844
429	6541	964	988	0.107861835	0.542947407	-0.610742819	857	673	-0.7820568	-523.3865923	-507.6396218
430	6542	1018	989	0.107861835	0.542947407	-0.610742819	859	671	-0.7820568	-524.5880740	-506.3243982
431	6543	1004	989	0.107861835	0.542947407	-0.610742819	861	669	-0.7820568	-525.7895557	-505.0091735
432	6544	1010	989	0.107861835	0.542947407	-0.610742819	863	667	-0.7820568	-526.9910374	-503.6939508
433	6545	985	989	0.107861835	0.542947407	-0.610742819	865	665	-0.7820568	-528.1925191	-502.3787281
434	6546	1037	989	0.107861835	0.542947407	-0.610742819	867	663	-0.7820568	-529.3940008	-501.0635054
435	6547	988	989	0.107861835	0.542947407	-0.610742819	869	661	-0.7820568	-530.5954825	-499.7482827
436	6548	1003	989	0.107861835	0.542947407	-0.610742819	871	659	-0.7820568	-531.7969642	-498.4330600
437	6549	1000	989	0.143180052	0.558626033	-0.585232843	873	657	-0.8140106	-510.9884166	-534.8101908
438	6550	977	980	0.143180052	0.558626033	-0.585232843	875	655	-0.8140106	-512.1574873	-533.1821357
439	6551	1019	980	0.143180052	0.558626033	-0.585232843	877	653	-0.8140106	-513.3265580	-531.5541165
440	6552	1014	980	0.143180052	0.558626033	-0.585232843	879	651	-0.8140106	-514.4956287	-529.9267094
441	6553	1009	980	0.143180052	0.558626033	-0.585232843	881	649	-0.8140106	-515.6646994	-528.2982423
442	6554	966	980	0.143180052	0.558626033	-0.585232843	883	647	-0.8140106	-516.8006700	-526.6700052
443	6555	995	980	0.143180052	0.558626033	-0.585232843	885	645	-0.8140106	-518.017157	-525.0419681
444	6556	982	980	0.143180052	0.558626033	-0.585232843	887	643	-0.8140106	-519.1813614	-523.4138031
445	6557	1027	980	0.143180052	0.558626033	-0.585232843	889	641	-0.8140106	-520.3500071	-521.7858366
446	6558	1037	990	0.143180052	0.558626033	-0.585232843	891	639	-0.8140106	-521.5225628	-520.1578658
447	6559	1017	980	0.143180052	0.558626033	-0.585232843	893	637	-0.8140106	-522.6951185	-518.5296197
448	6560	983	991	0.178498269	0.570834155	-0.560956559	895	635	-0.8459119	-501.7872022	-537.1540239
449	6561	1021	991	0.178498269	0.570834155	-0.560956559	897	633	-0.8459119	-502.9083333	-535.4622022
450	6562	1003	991	0.178498269	0.570834155	-0.560956559	899	631	-0.8459119	-504.0300464	-533.7703765
451	6563	970	991	0.178498269	0.570834155	-0.560956559	901	629	-0.8459119	-505.1515595	-532.0785528

FALLA DE ORIGEN  
 TESTES CON

ANEJO IX. EJEMPLO PARA LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE ANDERSON-DARLING (Continuación)

Número	batch	Floor	X	$z_i = [X - m_j]$	Probabilidad acumulada	$L_n(p_i)$	Z-1	2n+1-2i	$L_n(1-p_i)$	(2-1) $L_n(p_i)$	(2n+1-2i) $L_n(1-p_i)$	(2i-1) $L_n(p_i)$ +(2n+1-2i) $L_n(1-p_i)$
452	6564	973	991	0.17848269	0.57083155	-0.56065659	903	627	-0.8459118	-506.728726	-530.3867291	-1036.566022
453	6565	968	991	0.17848269	0.57083155	-0.56065659	905	625	-0.8459118	-507.3941838	-528.894054	-1036.086091
454	6566	970	991	0.17848269	0.57083155	-0.56065659	907	623	-0.8459118	-508.5154989	-527.0030817	-1035.518581
455	6567	995	991	0.17848269	0.57083155	-0.56065659	909	621	-0.8459118	-509.636812	-525.311258	-1034.946571
456	6568	972	991	0.17848269	0.57083155	-0.56065659	911	619	-0.8459118	-510.7581251	-523.919433	-1034.377559
457	6569	972	992	0.213816487	0.584654884	-0.536732548	913	617	-0.8786465	-490.0377295	-542.124723	-1023.162002
458	6570	1002	992	0.213816487	0.584654884	-0.536732548	915	615	-0.8786465	-491.117196	-540.366823	-1031.471878
459	6571	984	992	0.213816487	0.584654884	-0.536732548	917	613	-0.8786465	-492.184631	-538.809813	-1030.794034
460	6572	1022	992	0.213816487	0.584654884	-0.536732548	919	611	-0.8786465	-493.2521302	-536.8524003	-1030.110531
461	6573	968	992	0.213816487	0.584654884	-0.536732548	921	609	-0.8786465	-494.3215973	-535.0951903	-1029.476707
462	6574	1011	992	0.213816487	0.584654884	-0.536732548	923	607	-0.8786465	-495.4020644	-533.3781883	-1028.742883
463	6575	1008	992	0.213816487	0.584654884	-0.536732548	925	605	-0.8786465	-496.4785215	-531.8488272	-1028.058929
464	6576	967	992	0.213816487	0.584654884	-0.536732548	927	603	-0.8786465	-497.5519985	-529.8232363	-1027.372328
465	6577	996	992	0.213816487	0.584654884	-0.536732548	929	601	-0.8786465	-498.6254657	-528.0595453	-1026.691411
466	6578	973	992	0.213816487	0.584654884	-0.536732548	931	599	-0.8786465	-499.6989328	-526.306543	-1026.020587
467	6579	991	992	0.213816487	0.584654884	-0.536732548	933	597	-0.8786465	-500.7723999	-524.5513633	-1025.352183
468	6580	1004	992	0.213816487	0.584654884	-0.536732548	935	595	-0.8786465	-501.845867	-522.7940723	-1024.683619
469	6581	989	992	0.213816487	0.584654884	-0.536732548	937	593	-0.8786465	-502.9193341	-521.0261875	-1024.021515
470	6582	966	992	0.213816487	0.584654884	-0.536732548	939	591	-0.8786465	-503.9928012	-519.2749033	-1023.372292
471	6583	975	992	0.213816487	0.584654884	-0.536732548	941	589	-0.8786465	-505.0662683	-517.5221993	-1022.584646
472	6584	1012	992	0.213816487	0.584654884	-0.536732548	943	587	-0.8786465	-506.1397354	-515.7649033	-1021.904644
473	6585	1011	993	0.249134704	0.598371656	-0.513543221	945	585	-0.9122281	-485.2983434	-533.6534585	-1018.951082
474	6586	980	993	0.249134704	0.598371656	-0.513543221	947	583	-0.9122281	-486.3254299	-531.8290022	-1018.154432
475	6587	975	993	0.249134704	0.598371656	-0.513543221	949	581	-0.9122281	-487.3525163	-530.004646	-1017.357062
476	6588	984	993	0.249134704	0.598371656	-0.513543221	951	579	-0.9122281	-488.3796028	-528.180097	-1016.556692
477	6589	980	993	0.249134704	0.598371656	-0.513543221	953	577	-0.9122281	-489.4066892	-526.3556334	-1015.752323
478	6590	960	993	0.249134704	0.598371656	-0.513543221	955	575	-0.9122281	-490.4337757	-524.5311772	-1014.964963
479	6591	995	994	0.284452921	0.611968283	-0.491074822	957	573	-0.9466682	-469.5880651	-542.4408779	-1012.398483
480	6592	1013	994	0.284452921	0.611968283	-0.491074822	959	571	-0.9466682	-470.9407547	-540.5475451	-1011.446296
481	6593	988	994	0.284452921	0.611968283	-0.491074822	961	569	-0.9466682	-472.3229944	-538.6542025	-1010.577509
482	6594	966	994	0.284452921	0.611968283	-0.491074822	963	567	-0.9466682	-473.7052054	-536.7608887	-1009.665321
483	6595	991	994	0.284452921	0.611968283	-0.491074822	965	565	-0.9466682	-475.0872036	-534.8675323	-1008.754736
484	6596	1021	994	0.284452921	0.611968283	-0.491074822	967	563	-0.9466682	-476.4693533	-532.9741959	-1007.843549
485	6597	994	994	0.284452921	0.611968283	-0.491074822	969	561	-0.9466682	-477.8515029	-531.1808956	-1006.932802
486	6598	991	994	0.284452921	0.611968283	-0.491074822	971	559	-0.9466682	-479.2336526	-529.3875231	-1006.022586
487	6599	988	995	0.319771138	0.625429021	-0.469317432	973	557	-0.981974	-456.5436025	-548.8594975	-1003.605365
488	6600	1003	995	0.319771138	0.625429021	-0.469317432	975	555	-0.981974	-457.5844958	-547.0954498	-1002.794178
489	6601	1049	995	0.319771138	0.625429021	-0.469317432	977	553	-0.981974	-458.5233307	-545.3321802	-1001.980455
490	6602	997	995	0.319771138	0.625429021	-0.469317432	979	551	-0.981974	-459.4617555	-543.567372	-1001.155472
491	6603	995	995	0.319771138	0.625429021	-0.469317432	981	549	-0.981974	-460.4004004	-541.802637	-1000.529419
492	6604	965	995	0.319771138	0.625429021	-0.469317432	983	547	-0.981974	-461.3390383	-539.1037578	-999.8730781
493	6605	1019	995	0.319771138	0.625429021	-0.469317432	985	545	-0.981974	-462.2776701	-536.1758089	-999.4534801
494	6606	972	995	0.319771138	0.625429021	-0.469317432	987	543	-0.981974	-463.216305	-533.211862	-998.822187
495	6607	978	995	0.319771138	0.625429021	-0.469317432	989	541	-0.981974	-464.1549386	-531.247814	-998.4022536
496	6608	984	986	0.355089355	0.638738614	-0.448259963	991	539	-1.0181536	-442.2562228	-548.7847487	-997.0313718
497	6609	1041	986	0.355089355	0.638738614	-0.448259963	993	537	-1.0181536	-445.1221428	-546.7484417	-996.1705465
498	6610	1003	986	0.355089355	0.638738614	-0.448259963	995	535	-1.0181536	-447.8186627	-544.7121346	-995.3307073
499	6611	989	986	0.355089355	0.638738614	-0.448259963	997	533	-1.0181536	-449.5151826	-542.6782726	-994.5012762
500	6612	971	986	0.355089355	0.638738614	-0.448259963	999	531	-1.0181536	-447.8117005	-540.6326206	-993.6512231
501	6613	987	986	0.355089355	0.638738614	-0.448259963	1001	529	-1.0181536	-449.7082225	-538.6032135	-992.731438
502	6614	969	986	0.355089355	0.638738614	-0.448259963	1003	527	-1.0181536	-449.6047424	-536.5660585	-996.1718466
503	6615	980	986	0.355089355	0.638738614	-0.448259963	1005	525	-1.0181536	-450.5012023	-534.5305994	-995.0318817

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

ANEXO IX. EJEMPLO PARA LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE ANDERSON-DARLING (Continuación)

Número	batch	Floor	X	$z[(i-k)-m]s$	Probabilidad acumulada	$\text{Ln}(\hat{p}(i))$	Z-1	2n+1-2i	$\text{Ln}(\hat{p}(i))$	$(Z-1)\text{Ln}(\hat{p}(i))$	$(2n+1-2i)^{-1}(\text{Ln}(\hat{p}(i)))$	$(Z-1)\text{Ln}(\hat{p}(i))$ $\div (2n+1-2i)\text{Ln}(\hat{p}(i))$
504	6616	948	996	0.355089355	0.638738614	-0.448259963	1007	523	-1.0181533	-451.3971822	-532.4942924	-083.8920746
506	6617	985	997	0.390407572	0.651882356	-0.427891168	1009	521	-1.0552148	-431.7421888	-549.7659108	-061.5008966
508	6618	984	997	0.390407572	0.651882356	-0.427891168	1011	519	-1.0552148	-432.5797122	-560.2545482	-080.2545482
510	6620	1022	997	0.390407572	0.651882356	-0.427891168	1013	517	-1.0552148	-433.4573755	-545.5460516	-078.9980051
512	6621	1044	997	0.390407572	0.651882356	-0.427891168	1015	515	-1.0552148	-434.3095358	-543.4305262	-077.7451578
514	6622	1010	997	0.390407572	0.651882356	-0.427891168	1017	513	-1.0552148	-435.1653182	-541.3251924	-076.4805106
516	6623	1037	997	0.390407572	0.651882356	-0.427891168	1019	511	-1.0552148	-436.0121005	-539.2149728	-075.2390953
518	6623	1013	997	0.390407572	0.651882356	-0.427891168	1021	509	-1.0552148	-436.8768829	-537.1043332	-074.9812118
512	6624	962	997	0.390407572	0.651882356	-0.427891168	1023	507	-1.0552148	-437.7396652	-534.9938086	-073.7285890
513	6625	1011	998	0.425725769	0.664846133	-0.408199644	1026	505	-1.0931655	-418.6046354	-532.0480161	-070.4532337
514	6626	951	998	0.425725769	0.664846133	-0.408199644	1027	503	-1.0931655	-419.2110347	-549.8622705	-069.0830023
515	6627	979	998	0.425725769	0.664846133	-0.408199644	1029	501	-1.0931655	-420.0374349	-547.6759394	-068.3643441
516	6628	971	998	0.425725769	0.664846133	-0.408199644	1031	499	-1.0931655	-420.8583323	-545.5033772	-067.6475097
517	6629	980	998	0.425725769	0.664846133	-0.408199644	1033	497	-1.0931655	-421.6702326	-543.3023772	-066.9305779
518	6630	966	998	0.425725769	0.664846133	-0.408199644	1035	495	-1.0931655	-422.4866318	-541.1169491	-066.2230461
519	6631	1007	998	0.425725769	0.664846133	-0.408199644	1037	493	-1.0931655	-423.3030311	-538.930815	-065.5157172
520	6632	1004	998	0.425725769	0.664846133	-0.408199644	1039	491	-1.0931655	-424.1194304	-536.7442839	-064.8037143
521	6633	985	995	0.425725769	0.664846133	-0.408199644	1041	489	-1.0931655	-424.9358297	-534.5597825	-064.0937825
522	6634	977	998	0.425725769	0.664846133	-0.408199644	1043	487	-1.0931655	-425.752229	-532.3718217	-063.3841850
523	6635	989	998	0.425725769	0.664846133	-0.408199644	1045	485	-1.0931655	-426.5686283	-530.1852096	-062.6739187
524	6636	1014	998	0.425725769	0.664846133	-0.408199644	1047	483	-1.0931655	-427.3850276	-527.9969565	-061.9638771
525	6637	986	999	0.461044006	0.677819468	-0.389173832	1049	481	-1.1320134	-408.2433496	-544.4894216	-052.7417122
526	6638	949	999	0.461044006	0.677819468	-0.389173832	1051	479	-1.1320134	-409.0216973	-542.2349469	-051.2569021
527	6639	998	999	0.461044006	0.677819468	-0.389173832	1053	477	-1.1320134	-409.8000449	-539.8703682	-049.7704131
528	6640	869	999	0.461044006	0.677819468	-0.389173832	1055	475	-1.1320134	-410.5783824	-537.7064515	-048.2847314
529	6641	962	1000	0.496362224	0.690180568	-0.370820223	1057	473	-1.1717656	-391.3277384	-554.2451421	-046.8288055
530	6642	988	1000	0.496362224	0.690180568	-0.370820223	1059	471	-1.1717656	-392.1929425	-551.9018108	-046.5006533
531	6643	973	1000	0.496362224	0.690180568	-0.370820223	1061	469	-1.1717656	-393.0290465	-549.5508798	-046.1780281
532	6644	984	1000	0.496362224	0.690180568	-0.370820223	1063	467	-1.1717656	-394.0285508	-547.2145483	-045.8770989
533	6645	1038	1000	0.496362224	0.690180568	-0.370820223	1065	465	-1.1717656	-394.9041545	-544.8710171	-045.5975717
534	6646	990	1000	0.496362224	0.690180568	-0.370820223	1067	463	-1.1717656	-395.6457587	-542.5274858	-045.3274858
535	6647	966	1000	0.496362224	0.690180568	-0.370820223	1069	461	-1.1717656	-396.3873827	-540.1838646	-045.0571373
536	6648	1037	1000	0.496362224	0.690180568	-0.370820223	1071	459	-1.1717656	-397.1286677	-537.8494233	-044.7866929
537	6649	1004	1000	0.496362224	0.690180568	-0.370820223	1073	457	-1.1717656	-397.8705708	-535.4998978	-044.5163682
538	6650	1010	1000	0.496362224	0.690180568	-0.370820223	1075	455	-1.1717656	-398.6121748	-533.1533986	-044.2460541
539	6651	971	1001	0.531680441	0.702526352	-0.353072366	1077	453	-1.2124296	-380.2588285	-540.2305256	-043.9758966
540	6652	1003	1001	0.531680441	0.702526352	-0.353072366	1079	451	-1.2124296	-380.9950832	-546.8057863	-043.7084961
541	6653	1029	1001	0.531680441	0.702526352	-0.353072366	1081	449	-1.2124296	-381.671228	-544.3800071	-043.4381235
542	6654	988	1001	0.531680441	0.702526352	-0.353072366	1083	447	-1.2124296	-382.3773762	-541.9564078	-043.1674028
543	6655	962	1001	0.531680441	0.702526352	-0.353072366	1085	445	-1.2124296	-383.0835174	-539.5318882	-042.8961259
544	6656	944	1001	0.531680441	0.702526352	-0.353072366	1087	443	-1.2124296	-383.7896622	-537.1061025	-042.6258981
545	6657	962	1001	0.531680441	0.702526352	-0.353072366	1089	441	-1.2124296	-384.4958069	-534.68147	-042.3551786
546	6658	980	1001	0.531680441	0.702526352	-0.353072366	1091	439	-1.2124296	-385.2019516	-532.2566107	-042.0849078
547	6659	972	1001	0.531680441	0.702526352	-0.353072366	1093	437	-1.2124296	-385.9080964	-529.8317514	-041.8142087
548	6660	966	1001	0.531680441	0.702526352	-0.353072366	1095	435	-1.2124296	-386.6142411	-527.4068921	-041.5435132
549	6661	869	1001	0.531680441	0.702526352	-0.353072366	1097	433	-1.2124296	-387.3203859	-524.9820329	-041.2728167
550	6662	946	1001	0.531680441	0.702526352	-0.353072366	1099	431	-1.2124296	-388.0265306	-522.5571738	-041.0021035
551	6663	940	1002	0.568998656	0.714642493	-0.335972871	1101	429	-1.2540125	-369.9801313	-537.9713512	-037.8774809
552	6664	951	1002	0.568998656	0.714642493	-0.335972871	1103	427	-1.2540125	-370.5780771	-535.4633263	-037.6067404
553	6665	962	1002	0.568998656	0.714642493	-0.335972871	1105	425	-1.2540125	-371.2500228	-532.9530134	-037.3352442
554	6666	972	1002	0.568998656	0.714642493	-0.335972871	1107	423	-1.2540125	-371.9219686	-530.4472764	-037.0642764
555	6667	976	1002	0.568998656	0.714642493	-0.335972871	1109	421	-1.2540125	-372.5939143	-527.9392515	-036.7933155

TESTIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

ANEXO IX. EJEMPLO PARA LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE ANDERSON-DARLING (Continuación)

Número	batch	Fluor	X	$z(j)=(X-m)/s$	Probabilidad acumulada	$Ln(p_i)$	2-i	2n+1-2i	$Ln(1-p_i)$	$(2i-1)X(n-p_i)$	$(2n+1-2i)^{-1} [Ln(1-p_i)]$	$(2i-1)X(n-p_i) + (2n+1-2i)^{-1} [Ln(1-p_i)]$
556	6668	987	1002	0.566996858	0.714642403	-0.335972871	1111	419	-1.2540125	-373.2658601	-525.4312265	-898.6970866
557	6669	983	1002	0.566996858	0.714642403	-0.335972871	1113	419	-1.2540125	-373.9378558	-522.9320216	-896.8610074
558	6670	974	1002	0.566996858	0.714642403	-0.335972871	1115	415	-1.2540125	-374.6097515	-520.4151766	-895.0249282
559	6671	990	1002	0.566996858	0.714642403	-0.335972871	1117	413	-1.2540125	-375.2816573	-517.9015176	-893.1884949
560	6672	974	1002	0.566996858	0.714642403	-0.335972871	1119	411	-1.2540125	-375.9535634	-515.3827123	-891.3527897
561	6673	975	1003	0.602316875	0.726518439	-0.319491416	1121	405	-1.2965211	-358.4698776	-530.7712323	-888.2369797
562	6674	983	1003	0.602316875	0.726518439	-0.319491416	1123	407	-1.2965211	-358.7888055	-527.8407082	-886.4269736
563	6675	971	1003	0.602316875	0.726518439	-0.319491416	1125	405	-1.2965211	-359.4774433	-525.0915236	-884.5188793
564	6676	975	1003	0.602316875	0.726518439	-0.319491416	1127	403	-1.2965211	-360.0668261	-522.4679326	-882.6104562
565	6677	967	1003	0.602316875	0.726518439	-0.319491416	1129	401	-1.2965211	-360.705809	-519.9049517	-880.7107807
566	6678	976	1003	0.602316875	0.726518439	-0.319491416	1131	399	-1.2965211	-361.3447918	-517.3119095	-878.6567013
567	6679	1000	1003	0.602316875	0.726518439	-0.319491416	1133	397	-1.2965211	-361.9837746	-514.7187864	-876.702462
568	6680	1010	1003	0.602316875	0.726518439	-0.319491416	1135	395	-1.2965211	-362.6227575	-512.1256252	-874.7485427
569	6681	971	1003	0.602316875	0.726518439	-0.319491416	1137	393	-1.2965211	-363.2617403	-509.5327831	-872.7945234
570	6682	990	1003	0.602316875	0.726518439	-0.319491416	1139	391	-1.2965211	-363.9007231	-506.9397408	-870.8406461
571	6683	978	1003	0.602316875	0.726518439	-0.319491416	1141	389	-1.2965211	-364.539706	-504.3466896	-868.8886407
572	6684	956	1004	0.637635092	0.738144441	-0.303615754	1143	387	-1.3399622	-347.0320089	-518.5653825	-865.5981804
573	6685	939	1004	0.637635092	0.738144441	-0.303615754	1145	385	-1.3399622	-347.6400384	-515.8858458	-863.5254984
574	6686	925	1004	0.637635092	0.738144441	-0.303615754	1147	383	-1.3399622	-348.2472699	-513.2055336	-861.4528205
575	6687	969	1004	0.637635092	0.738144441	-0.303615754	1149	381	-1.3399622	-348.8545014	-510.5256091	-859.3801105
576	6688	985	1004	0.637635092	0.738144441	-0.303615754	1151	379	-1.3399622	-349.4617329	-507.8456847	-857.3074176
577	6689	950	1004	0.637635092	0.738144441	-0.303615754	1153	377	-1.3399622	-350.0689644	-505.1657602	-855.2347246
578	6690	979	1004	0.637635092	0.738144441	-0.303615754	1155	375	-1.3399622	-350.6761959	-502.4858357	-853.1620317
579	6691	965	1004	0.637635092	0.738144441	-0.303615754	1157	373	-1.3399622	-351.2834275	-499.8059513	-851.0893387
580	6692	935	1004	0.637635092	0.738144441	-0.303615754	1159	371	-1.3399622	-351.8906593	-497.1259868	-849.0166458
581	6693	966	1004	0.637635092	0.738144441	-0.303615754	1161	369	-1.3399622	-352.4978913	-494.4466824	-846.9436282
582	6694	962	1004	0.637635092	0.738144441	-0.303615754	1163	367	-1.3399622	-353.1051227	-491.7681378	-844.8705296
583	6696	972	1004	0.637635092	0.738144441	-0.303615754	1165	365	-1.3399622	-353.7123545	-489.0866135	-842.7986593
584	6696	953	1005	0.672963309	0.749611573	-0.28833352	1167	363	-1.3843426	-338.4852118	-502.5163496	-839.0159478
585	6697	942	1005	0.672963309	0.749611573	-0.28833352	1169	361	-1.3843426	-337.281885	-498.718646	-836.8068404
586	6698	1006	1005	0.672963309	0.749611573	-0.28833352	1171	359	-1.3843426	-337.6385521	-496.8798792	-834.8175312
587	6699	1001	1005	0.672963309	0.749611573	-0.28833352	1173	357	-1.3843426	-338.2152191	-494.1102564	-832.825132
588	6700	987	1006	0.708271526	0.760611746	-0.27363224	1175	355	-1.4286686	-321.5178822	-507.5201984	-829.8329184
589	6701	1013	1006	0.708271526	0.760611746	-0.27363224	1177	353	-1.4286686	-322.0951487	-504.672998	-828.7381467
590	6702	987	1006	0.708271526	0.760611746	-0.27363224	1179	351	-1.4286686	-322.6124112	-501.8136819	-826.6426021
591	6703	1000	1006	0.708271526	0.760611746	-0.27363224	1181	349	-1.4286686	-323.1596757	-498.9542448	-824.5140025
592	6704	987	1006	0.708271526	0.760611746	-0.27363224	1183	347	-1.4286686	-323.7069401	-496.0948877	-822.4181278
593	6705	1000	1006	0.708271526	0.760611746	-0.27363224	1185	345	-1.4286686	-324.2542046	-493.2356505	-820.3489552
594	6706	1005	1006	0.708271526	0.760611746	-0.27363224	1187	343	-1.4286686	-324.8014691	-490.3763135	-818.2778216
595	6707	1010	1006	0.708271526	0.760611746	-0.27363224	1189	341	-1.4286686	-325.3487336	-487.5169784	-816.2651571
596	6708	1012	1007	0.743859744	0.771437718	-0.259499339	1191	339	-1.4759465	-309.0637123	-500.3458763	-809.0958886
597	6709	996	1007	0.743859744	0.771437718	-0.259499339	1193	337	-1.4759465	-309.5827111	-497.383832	-807.0687942
598	6710	989	1007	0.743859744	0.771437718	-0.259499339	1195	335	-1.4759465	-310.1017097	-494.420091	-805.0437988
599	6711	1019	1007	0.743859744	0.771437718	-0.259499339	1197	333	-1.4759465	-310.6207084	-491.490197	-803.1100054
600	6712	1019	1007	0.743859744	0.771437718	-0.259499339	1199	331	-1.4759465	-311.139707	-488.533804	-801.2767011
601	6713	1012	1007	0.743859744	0.771437718	-0.259499339	1201	329	-1.4759465	-311.6587057	-485.586419	-800.4451184
602	6714	996	1007	0.743859744	0.771437718	-0.259499339	1203	327	-1.4759465	-312.1777044	-482.6545178	-799.6122222
603	6715	1002	1008	0.778907961	0.781983102	-0.245922148	1205	325	-1.5231827	-296.336188	-495.0343788	-797.7705669
604	6716	1007	1008	0.778907961	0.781983102	-0.245922148	1207	323	-1.5231827	-297.2198766	-492.1810645	-796.9180347
605	6717	1011	1008	0.778907961	0.781983102	-0.245922148	1209	321	-1.5231827	-297.7411709	-489.341648	-796.0521262
606	6718	1004	1008	0.778907961	0.781983102	-0.245922148	1211	319	-1.5231827	-298.2624733	-486.5858226	-795.1870305
607	6719	1001	1009	0.814226258	0.792420266	-0.232878717	1213	317	-1.5713831	-282.4300432	-498.128464	-793.5214851

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

ANEXO IX. EJEMPLO PARA LA PRUEBA DE BONIDAD DE AJUSTE DE ANDERSON-DARLING (Continuación)

Número	batch	Floor	X	$z(i)=[K-m]y_i$	Probabilidad acumulada	$\text{Ln}[p(i)]$	Z-1	Z+1+Z	$\text{Ln}[-p(i)]$	$Z(1-\text{Ln}[p(i)])$	$Z(2+1-Z)[\text{Ln}(1-p(i))]$	$Z(1-\text{Ln}[p(i)]) + Z(2+1-Z)[\text{Ln}(1-p(i))]$
608	6720	1011	1009	0.814226178	0.792242366	-0.232867917	1215	315	-1.5713831	-282.956819	-494.9856780	-777.944940
609	6721	964	1009	0.814226178	0.792242366	-0.232867917	1217	313	-1.5713831	-283.4245948	-491.8420306	-775.267504
610	6722	961	1009	0.814226178	0.792242366	-0.232867917	1219	311	-1.5713831	-283.8903707	-488.7001434	-772.580454
611	6723	997	1009	0.814226178	0.792242366	-0.232867917	1221	309	-1.5713831	-284.3561465	-485.5573772	-769.9335273
612	6724	983	1010	0.849544395	0.802210432	-0.220383823	1223	307	-1.6205636	-269.5294165	-487.5099629	-767.0360787
613	6725	974	1010	0.849544395	0.802210432	-0.220383823	1225	305	-1.6205636	-269.9701826	-494.2685557	-764.3209382
614	6726	934	1010	0.849544395	0.802210432	-0.220383823	1227	303	-1.6205636	-270.4109502	-491.0217484	-761.4386965
615	6727	992	1010	0.849544395	0.802210432	-0.220383823	1229	301	-1.6205636	-270.8517129	-487.7865411	-758.630359
616	6728	984	1010	0.849544395	0.802210432	-0.220383823	1231	299	-1.6205636	-271.2924855	-484.5455339	-755.8309194
617	6729	936	1010	0.849544395	0.802210432	-0.220383823	1233	297	-1.6205636	-271.7332532	-481.3044266	-753.0337898
618	6730	955	1010	0.849544395	0.802210432	-0.220383823	1235	295	-1.6205636	-272.1740208	-478.0633194	-750.2373402
619	6731	975	1010	0.849544395	0.802210432	-0.220383823	1237	293	-1.6205636	-272.6147885	-474.8221221	-747.4370006
620	6732	1010	1010	0.849544395	0.802210432	-0.220383823	1239	291	-1.6205636	-273.0555561	-471.5811049	-744.8368681
621	6733	982	1010	0.849544395	0.802210432	-0.220383823	1241	289	-1.6205636	-273.4963238	-468.3399765	-741.8362134
622	6734	961	1010	0.849544395	0.802210432	-0.220383823	1243	287	-1.6205636	-273.9370914	-465.0888004	-738.9358918
623	6735	1015	1010	0.849544395	0.802210432	-0.220383823	1245	285	-1.6205636	-274.3778591	-461.8377831	-736.235423
624	6736	982	1011	0.884862612	0.811884672	-0.208396979	1247	283	-1.6707001	-259.8710326	-472.8081158	-732.8791484
625	6737	999	1011	0.884862612	0.811884672	-0.208396979	1249	281	-1.6707001	-260.2878266	-469.4667157	-729.7548423
626	6738	1008	1011	0.884862612	0.811884672	-0.208396979	1251	279	-1.6707001	-260.7048205	-466.1253156	-726.826381
627	6739	969	1011	0.884862612	0.811884672	-0.208396979	1253	277	-1.6707001	-261.1214145	-462.7839155	-723.9053299
628	6740	993	1011	0.884862612	0.811884672	-0.208396979	1255	275	-1.6707001	-261.5384084	-459.4425153	-720.9807238
629	6741	967	1011	0.884862612	0.811884672	-0.208396979	1257	273	-1.6707001	-261.9554024	-456.1011152	-718.0611784
630	6742	959	1011	0.884862612	0.811884672	-0.208396979	1259	271	-1.6707001	-262.3723964	-452.7597151	-715.135115
631	6743	1016	1011	0.884862612	0.811884672	-0.208396979	1261	269	-1.6707001	-262.7893903	-449.418315	-712.2085063
632	6744	999	1011	0.884862612	0.811884672	-0.208396979	1263	267	-1.6707001	-263.2063843	-446.0769149	-709.2822692
633	6745	952	1011	0.884862612	0.811884672	-0.208396979	1265	265	-1.6707001	-263.6233782	-442.7355148	-706.3573963
634	6746	990	1012	0.920180829	0.821260891	-0.196914448	1267	263	-1.7218228	-249.4906065	-452.8407707	-702.3313767
635	6747	971	1012	0.920180829	0.821260891	-0.196914448	1269	261	-1.7218228	-249.8844349	-449.3971146	-699.2815496
636	6748	972	1012	0.920180829	0.821260891	-0.196914448	1271	259	-1.7218228	-250.2782628	-446.9534586	-696.2337244
637	6749	911	1012	0.920180829	0.821260891	-0.196914448	1273	257	-1.7218228	-250.6720927	-444.5099205	-693.1896253
638	6750	964	1012	0.920180829	0.821260891	-0.196914448	1275	255	-1.7218228	-251.0659216	-442.0663465	-690.1320681
639	6751	981	1012	0.920180829	0.821260891	-0.196914448	1277	253	-1.7218228	-251.4597505	-439.6224904	-687.0822054
640	6752	1006	1012	0.920180829	0.821260891	-0.196914448	1279	251	-1.7218228	-251.8535794	-437.1783444	-684.0324133
641	6753	988	1013	0.955499046	0.830337318	-0.185232353	1281	249	-1.773943	-238.1676875	-441.7118164	-679.8790309
642	6754	970	1013	0.955499046	0.830337318	-0.185232353	1283	247	-1.773943	-238.538534	-438.1639003	-676.7934843
643	6755	996	1013	0.955499046	0.830337318	-0.185232353	1285	245	-1.773943	-238.9113805	-434.5180442	-673.5274247
644	6756	990	1013	0.955499046	0.830337318	-0.185232353	1287	243	-1.773943	-239.2842271	-431.0861582	-670.1530852
645	6757	982	1013	0.955499046	0.830337318	-0.185232353	1289	241	-1.773943	-239.6570738	-427.5202721	-666.989026
646	6758	1007	1013	0.955499046	0.830337318	-0.185232353	1291	239	-1.773943	-240.0299205	-424.0292086	-663.8273085
647	6759	960	1013	0.955499046	0.830337318	-0.185232353	1293	237	-1.773943	-240.3837685	-420.4244689	-660.6233065
648	6760	951	1014	0.990817264	0.836112589	-0.175410387	1295	235	-1.8270505	-227.5561554	-429.3568598	-656.5312114
649	6761	950	1014	0.990817264	0.836112589	-0.175410387	1297	233	-1.8270505	-227.9507278	-425.7027258	-653.2102116
650	6762	1019	1014	0.990817264	0.836112589	-0.175410387	1299	231	-1.8270505	-228.3453002	-422.0486851	-649.9057514
651	6763	975	1015	1.026135481	0.84758612	-0.165362828	1301	229	-1.8811556	-215.1370365	-430.7846243	-645.9218638
652	6764	958	1015	1.026135481	0.84758612	-0.165362828	1303	227	-1.8811556	-215.4677652	-427.022132	-642.4902783
653	6765	996	1015	1.026135481	0.84758612	-0.165362828	1305	225	-1.8811556	-215.7984608	-423.260002	-639.0549829
654	6766	990	1015	1.026135481	0.84758612	-0.165362828	1307	223	-1.8811556	-216.1292165	-419.4976909	-635.6280074
655	6767	991	1015	1.026135481	0.84758612	-0.165362828	1309	221	-1.8811556	-216.4599421	-415.7353398	-632.1952319
656	6768	987	1015	1.026135481	0.84758612	-0.165362828	1311	219	-1.8811556	-216.7906678	-412.0733078	-628.7637364
657	6769	988	1015	1.026135481	0.84758612	-0.165362828	1313	217	-1.8811556	-217.1213934	-408.2107575	-625.332151
658	6770	1012	1015	1.026135481	0.84758612	-0.165362828	1315	215	-1.8811556	-217.4521191	-404.4484464	-621.9006565
659	6771	989	1016	1.061435598	0.855758069	-0.156761549	1317	213	-1.9262635	-205.1458611	-412.4211585	-617.5697723

**TESTES CON FALLA DE ORIGEN**

ANEXO II. EJEMPLO PARA LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE ANDERSON-DARLING (Continuación)

Número	batch	Floor	X	$Z(i)H(X_i-m_j)$	Probabilidad acumulada	$\ln(p(i))$	Z-1	Zn+1-Z	$\ln(1-p(i))$	$(Z-1)X_i\ln(p(i))$	$(Zn+1-Z)X_i\ln(1-p(i))$	$(Z-1)X_i\ln(p(i)) + (Zn+1-Z)X_i\ln(1-p(i))$
660	6172	962	1016	1.061453658	0.855758089	-0.155767549	1319	211	-1.5362635	-205.4573968	-408.5615886	-614.0089555
661	6173	1021	1017	1.096771915	0.863923405	-0.146611531	1321	209	-1.9923791	-193.6738329	-416.4072380	-610.0810727
662	6174	1017	1017	1.096771915	0.863923405	-0.146611531	1323	207	-1.9923791	-193.9670559	-412.4224810	-606.3865374
663	6175	974	1017	1.096771915	0.863923405	-0.146611531	1325	205	-1.9923791	-194.2602790	-408.4372333	-602.6800222
664	6176	974	1017	1.096771915	0.863923405	-0.146611531	1327	203	-1.9923791	-194.5535021	-404.4523965	-598.0004687
665	6177	1015	1018	1.132090132	0.871201679	-0.137881718	1329	201	-2.0496075	-183.2448852	-411.9510903	-595.1908825
666	6178	977	1018	1.132090132	0.871201679	-0.137881718	1331	199	-2.0496075	-183.5206488	-409.8510833	-591.3732742
667	6179	965	1018	1.132090132	0.871201679	-0.137881718	1333	197	-2.0496075	-183.7964123	-403.7529783	-587.5492806
668	6180	970	1018	1.132090132	0.871201679	-0.137881718	1335	195	-2.0496075	-184.0721759	-396.6539533	-583.7261302
669	6181	965	1018	1.132090132	0.871201679	-0.137881718	1337	193	-2.0496075	-184.3479395	-396.5549403	-579.9028877
670	6182	929	1018	1.132090132	0.871201679	-0.137881718	1339	191	-2.0496075	-184.6237030	-391.0786633	-576.0786633
671	6783	1026	1018	1.132090132	0.871201679	-0.137881718	1341	189	-2.0496075	-184.8984666	-387.3596163	-572.2460484
672	6784	946	1018	1.132090132	0.871201679	-0.137881718	1343	187	-2.0496075	-185.1732301	-386.4331334	-568.4331334
673	6785	958	1018	1.132090132	0.871201679	-0.137881718	1345	185	-2.0496075	-185.4489937	-379.1558882	-564.6998822
674	6786	947	1019	1.167408340	0.878477193	-0.129565333	1347	183	-2.1076533	-174.5245036	-385.7005579	-560.2250614
675	6787	980	1019	1.167408340	0.878477193	-0.129565333	1349	181	-2.1076533	-174.7836342	-381.4852510	-556.2688652
676	6788	957	1019	1.167408340	0.878477193	-0.129565333	1351	179	-2.1076533	-175.0427649	-377.2699446	-552.3170959
677	6789	1006	1019	1.167408340	0.878477193	-0.129565333	1353	177	-2.1076533	-175.3018956	-374.0564536	-548.3566535
678	6790	963	1019	1.167408340	0.878477193	-0.129565333	1355	175	-2.1076533	-175.5610262	-369.8303133	-544.4002516
679	6791	1018	1019	1.167408340	0.878477193	-0.129565333	1357	173	-2.1076533	-175.8201569	-364.6240247	-540.4448116
680	6792	1022	1020	1.202726566	0.885458863	-0.121649279	1359	171	-2.1668212	-165.3213699	-370.5264333	-535.8746032
681	6793	964	1020	1.202726566	0.885458863	-0.121649279	1361	169	-2.1668212	-165.5646685	-366.1927908	-531.7574953
682	6794	993	1020	1.202726566	0.885458863	-0.121649279	1363	167	-2.1668212	-165.8079677	-361.8591483	-527.6671153
683	6795	1011	1020	1.202726566	0.885458863	-0.121649279	1365	165	-2.1668212	-166.0512665	-357.5255058	-523.5167714
684	6796	947	1020	1.202726566	0.885458863	-0.121649279	1367	163	-2.1668212	-166.2945651	-353.1910233	-519.4864275
685	6797	1004	1020	1.202726566	0.885458863	-0.121649279	1369	161	-2.1668212	-166.5378627	-348.8562208	-515.3960325
686	6798	1060	1020	1.202726566	0.885458863	-0.121649279	1371	159	-2.1668212	-166.7811612	-344.5214584	-511.3057386
687	6799	1006	1020	1.202726566	0.885458863	-0.121649279	1373	157	-2.1668212	-167.0244598	-340.1903559	-507.2153967
688	6800	1003	1020	1.202726566	0.885458863	-0.121649279	1375	155	-2.1668212	-167.2677584	-335.8572934	-503.1295017
689	6801	1038	1020	1.238644783	0.892150207	-0.114207617	1377	153	-2.1668212	-167.5110569	-331.5236599	-499.0340778
690	6802	1007	1021	1.238644783	0.892150207	-0.114207617	1379	151	-2.2270158	-157.2375776	-336.2703899	-493.6519274
691	6803	1000	1021	1.238644783	0.892150207	-0.114207617	1381	149	-2.2270158	-157.5007791	-332.0153682	-489.4261323
692	6804	1024	1021	1.238644783	0.892150207	-0.114207617	1383	147	-2.2270158	-157.7639806	-327.3171246	-485.2005471
693	6805	1095	1021	1.238644783	0.892150207	-0.114207617	1385	145	-2.2270158	-158.0271821	-322.9193969	-480.9745512
694	6806	1027	1021	1.238644783	0.892150207	-0.114207617	1387	143	-2.2270158	-158.2903836	-318.4652632	-476.7487669
695	6807	972	1021	1.238644783	0.892150207	-0.114207617	1389	141	-2.2270158	-158.5535851	-314.0092316	-472.5229788
696	6808	1049	1021	1.238644783	0.892150207	-0.114207617	1391	139	-2.2270158	-158.8167866	-309.5551960	-468.2971867
697	6809	1035	1021	1.238644783	0.892150207	-0.114207617	1393	137	-2.2270158	-159.0800000	-305.1011683	-464.0713866
698	6810	1010	1022	1.273305301	0.898553504	-0.106987023	1395	135	-2.2822415	-149.2182451	-308.9758027	-458.1315993
699	6811	993	1023	1.273305301	0.898553504	-0.106987023	1397	133	-2.2822415	-149.4283912	-304.7381191	-453.7869033
700	6812	1037	1023	1.308681218	0.904678757	-0.100175363	1399	131	-2.3505026	-140.4523322	-307.9158333	-448.5861175
701	6813	996	1023	1.308681218	0.904678757	-0.100175363	1401	129	-2.3505026	-140.6624809	-303.2148341	-444.5865171
702	6814	995	1023	1.308681218	0.904678757	-0.100175363	1403	127	-2.3505026	-140.8726296	-298.5196329	-439.0586629
703	6815	962	1023	1.308681218	0.904678757	-0.100175363	1405	125	-2.3505026	-141.0827783	-293.8128138	-434.5562282
704	6816	938	1023	1.308681218	0.904678757	-0.100175363	1407	123	-2.3505026	-141.2929270	-289.1119120	-430.0568637
705	6817	963	1024	1.343999435	0.910256554	-0.093733204	1409	121	-2.4138033	-132.0700849	-292.0702333	-424.1402882
706	6818	1002	1024	1.343999435	0.910256554	-0.093733204	1411	119	-2.4138033	-132.2552510	-287.2429967	-419.5001486
707	6819	1018	1024	1.343999435	0.910256554	-0.093733204	1413	117	-2.4138033	-132.4404171	-282.4148000	-414.9600777
708	6820	995	1026	1.414635869	0.921412308	-0.081847659	1415	115	-2.5435402	-115.8144514	-292.5011497	-408.3215721
709	6821	1033	1026	1.414635869	0.921412308	-0.081847659	1417	113	-2.5435402	-116.0714657	-287.4002403	-403.3981871
710	6822	1009	1026	1.414635869	0.921412308	-0.081847659	1419	111	-2.5435402	-115.8144514	-282.3233062	-398.4748022
711	6823	977	1027	1.449954086	0.926464298	-0.076379769	1421	109	-2.6289842	-108.5365514	-284.4882825	-393.0238339

**TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN**

ANEXO IX. EJEMPLO PARA LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE ANDERSON-DARLING (Continuación)

Número	batch	Floor	X	$z(i)=[X-X_{(n)/5}]$	Probabilidad acumulada	$\ln(p(i))$	Z-1	Zn+1-Z	$\ln(-p(i))$	$(Z-1) \ln(p(i))$	$(Zn+1-Z) \ln(-p(i))$	$(Z-1) \ln(p(i)) + (Zn+1-Z) \ln(-p(i))$
712	6824	990	1027	1.449954066	0.926464296	-0.076379769	1423	107	-2.609942	-108.6881109	-278.2683114	-387.9567249
713	6825	991	1027	1.449954066	0.926464296	-0.076379769	1425	105	-2.609942	-108.811705	-374.043455	-382.889516
714	6826	992	1027	1.449954066	0.926464296	-0.076379769	1427	103	-2.609942	-109.99393	-268.821377	-377.8223071
715	6827	951	1027	1.449954066	0.926464296	-0.076379769	1429	101	-2.609942	-109.1466986	-363.604066	-372.7550981
716	6828	946	1028	1.485272303	0.931264116	-0.071212352	1431	99	-2.6774839	-101.9046753	-265.070042	-366.9757796
717	6829	949	1028	1.485272303	0.931264116	-0.071212352	1433	97	-2.6774839	-102.0473	-259.1750395	-361.7632365
718	6830	951	1029	1.520590521	0.935818665	-0.066335555	1435	95	-2.7460248	-95.1886520	-256.0742068	-356.0627210
719	6831	977	1029	1.520590521	0.935818665	-0.066335555	1437	93	-2.7460248	-95.32131915	-255.3810841	-350.7030033
720	6832	945	1029	1.520590521	0.935818665	-0.066335555	1439	91	-2.7460248	-95.45239662	-249.8989654	-345.3438641
721	6833	977	1029	1.520590521	0.935818665	-0.066335555	1441	89	-2.7460248	-95.58665337	-244.3978128	-339.8848661
722	6834	1023	1030	1.555930878	0.940135091	-0.06173117	1443	87	-2.8156648	-89.0784307	-244.9623355	-334.0418785
723	6835	1008	1031	1.591126955	0.944220745	-0.0573953	1445	85	-2.886333	-82.9362036	-245.3402649	-328.2762352
724	6836	1003	1033	1.661863399	0.951729396	-0.049473965	1447	83	-3.0309497	-71.5882758	-251.5882758	-323.1571549
725	6837	981	1035	1.732499827	0.958407735	-0.042481981	1449	81	-3.1798411	-61.5563904	-257.5671263	-319.1235167
726	6838	982	1037	1.803136258	0.964016545	-0.036335568	1451	79	-3.3307079	-52.7290958	-263.3128049	-316.0356145
727	6839	957	1037	1.803136258	0.964016545	-0.036335568	1453	77	-3.3307079	-52.7958027	-256.646643	-309.4420437
728	6840	967	1037	1.803136258	0.964016545	-0.036335568	1455	75	-3.3307079	-52.8626186	-249.9602111	-302.8465731
729	6841	984	1037	1.803136258	0.964016545	-0.036335568	1457	73	-3.3307079	-52.9409299	-243.3141792	-296.2551022
730	6842	972	1037	1.803136258	0.964016545	-0.036335568	1459	71	-3.3307079	-53.01359413	-236.6480373	-289.6616315
731	6843	967	1037	1.803136258	0.964016545	-0.036335568	1461	69	-3.3307079	-53.0862626	-229.9818954	-283.0681607
732	6844	922	1037	1.803136258	0.964016545	-0.036335568	1463	67	-3.3307079	-53.1589264	-223.317313	-276.4748999
733	6845	935	1038	1.838454475	0.967023228	-0.033543736	1465	65	-3.4113183	-46.5157613	-221.7356668	-270.8926941
734	6846	923	1038	1.838454475	0.967023228	-0.033543736	1467	63	-3.4113183	-46.5242402	-214.9193053	-264.1317304
735	6847	944	1041	1.944409126	0.974077002	-0.026264921	1469	61	-3.6529248	-38.5831824	-222.811018	-258.3932791
736	6848	948	1041	1.944409126	0.974077002	-0.026264921	1471	59	-3.6529248	-38.5936908	-215.504813	-254.4026598
737	6849	985	1044	2.050363778	0.978353595	-0.020370482	1473	57	-3.9033654	-30.0057138	-222.5234818	-252.5234818
738	6850	986	1044	2.050363778	0.978353595	-0.020370482	1475	55	-3.9033654	-30.0466029	-214.7100998	-244.7517461
739	6851	965	1044	2.050363778	0.978353595	-0.020370482	1477	53	-3.9033654	-30.08720125	-208.1300283	-242.9905203
740	6852	956	1044	2.050363778	0.978353595	-0.020370482	1479	51	-3.9033654	-30.12784211	-199.095544	-239.223564
741	6853	938	1044	2.050363778	0.978353595	-0.020370482	1481	49	-3.9033654	-30.1686313	-192.178016	-232.4566446
742	6854	949	1046	2.112100212	0.983039168	-0.017106314	1483	47	-4.0768466	-25.2686635	-191.6118848	-216.906584
743	6855	912	1048	2.191636646	0.985791713	-0.014304652	1485	45	-4.2543140	-21.24208511	-191.444112	-212.865405
744	6856	937	1048	2.191636646	0.985791713	-0.014304652	1487	43	-4.2543140	-21.27101782	-182.3935135	-204.2065313
745	6857	928	1048	2.191636646	0.985791713	-0.014304652	1489	41	-4.2543140	-21.29962712	-174.4268846	-196.7265512
746	6858	932	1048	2.191636646	0.985791713	-0.014304652	1491	39	-4.2543140	-21.32823643	-165.8102564	-189.2464924
747	6859	1026	1048	2.191636646	0.985791713	-0.014304652	1493	37	-4.2543140	-21.35684573	-157.4096276	-181.7664736
748	6860	981	1049	2.226954863	0.987024888	-0.013000014	1495	35	-4.344773	-19.52472021	-152.3052035	-171.5900259
749	6861	954	1049	2.226954863	0.987024888	-0.013000014	1497	33	-4.344773	-19.55084023	-143.7385697	-162.0289896
750	6862	985	1049	2.226954863	0.987024888	-0.013000014	1499	31	-4.344773	-19.57696026	-134.9864136	-154.2633739
751	6863	1031	1049	2.226954863	0.987024888	-0.013000014	1501	29	-4.344773	-19.60308029	-125.9606076	-145.0000749
752	6864	991	1050	2.26227306	0.988159786	-0.011910885	1503	27	-4.4362521	-17.90206058	-119.7780667	-137.6006672
753	6865	981	1050	2.26227306	0.988159786	-0.011910885	1505	25	-4.4362521	-17.92580235	-110.9000235	-128.8321842
754	6866	984	1050	2.26227306	0.988159786	-0.011910885	1507	23	-4.4362521	-17.94970412	-102.0337983	-119.9630254
755	6867	1011	1051	2.297891298	0.989207498	-0.010851163	1509	21	-4.5289037	-16.39516889	-95.1697003	-111.4813826
756	6868	985	1051	2.297891298	0.989207498	-0.010851163	1511	19	-4.5289037	-16.42307106	-86.4917076	-102.4452775
757	6869	995	1051	2.297891298	0.989207498	-0.010851163	1513	17	-4.5289037	-16.45107323	-78.0091308	-93.40917238
758	6870	969	1051	2.297891298	0.989207498	-0.010851163	1515	15	-4.5289037	-16.479251154	-70.3335574	-84.37289721
759	6871	1008	1052	2.332909615	0.990173574	-0.009815024	1517	13	-4.62258	-14.98041065	-60.0948405	-75.02521144
760	6872	979	1056	2.474182383	0.99332816	-0.006699476	1519	11	-5.0090739	-10.17930369	-50.0981254	-65.27631623
761	6873	974	1056	2.474182383	0.99332816	-0.006699476	1521	9	-5.0090739	-10.18902624	-45.08165811	-60.1558745
762	6874	964	1060	2.615455252	0.99544534	-0.004465421	1523	7	-5.4162636	-6.83034829	-44.6862018	-55.6862018
763	6875	970	1065	2.792046338	0.997381148	-0.002272288	1525	5	-5.9450191	-3.99898503	-29.72509546	-33.72498396

**TESTIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

ANEXO IX. EJEMPLO PARA LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE ANDERSON-DARLING (Continuación)

Número	batch	Fluor	X	$z(i) = (X-m)/s$	Probabilidad acumulada	$\ln(p(i))$	$z_i - 1$	$2n + 1 - 2i$	$\ln(1 - p(i))$	$(2i - 1) \ln(p(i))$	$(2n + 1 - 2i) \ln(1 - p(i))$	$(2i - 1) \ln(p(i)) + (2n + 1 - 2i) \ln(1 - p(i))$
764	6876	1010	1074	3.136910201	0.999064111	-0.000935227	1527	3	-6.914121	-1.426618215	-20.92236587	-22.35198106
765	6877	954	1661	3.392456209	0.999593603	-0.000406397	1526	1	-7.5678241	-0.529733287	-7.96724052	-8.49757348

$$\sum [(2i - 1) \ln(p(i)) + (2n + 1 - 2i) \ln(1 - p(i))] = -20.84963843$$

$$(1n)^{0.5} \text{sumatoria} = -0.040326325$$

$$A^2 = \underline{\underline{-764.9526737}}$$

Se compara el valor de  $A^2$  con el valor teórico que aparece en la tabla para el caso 3 del anexo VI II.

Si  $A^2$  calculada es menor a  $A^2$  teórica, entonces la muestra proviene de una distribución normal.

$$A^2_{teor} = 0.813145$$

El nivel de significancia utilizado es 0.01, por lo tanto:

$$A^2_{teor} = 1.035$$

Conclusión: Ya que  $A^2_{calculada} < A^2_{teor}$ , se concluye que la muestra proviene de una distribución normal.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

## BIBLIOGRAFÍA

- Besterfield Dale, Control de Calidad, 4ta. Edición, Prentice Hall, México, 1995.
- Feigenbaum A.V., Control Total de la Calidad, 3ra. Edición, CECSA, México, 1995.
- Grant E., Leavenworth, R., Control Estadístico de la Calidad, Mc. Graw Hill, México, 1988.
- Jurán J.M., Gryna F.M., Análisis y Planeación de la Calidad, Mc. Graw Hill, México, 1994.
- Jurán J.M., Gryna F.M., Manual de Control de la Calidad, 2da. Edición, Reverté, Barcelona 1990.
- Kreyszig Erwing, Introducción a la Estadística Matemática, Limusa, México, 1981.
- Marques Dos Santos María José, Estadística Básica Un Enfoque no Paramétrico, UNAM, México, 2001.
- Montgomery Douglas, Control Estadístico de la Calidad, Iberoamericana, México, 1991.
- Zairi Mohamed, Administración de la Calidad Total para Ingenieros, Panorama, México, 1983.