



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE  
HERRAMIENTAS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS PARA LA DETECCIÓN DE  
CAMBIOS EN VARIABLES FÍSICAS EN LA MANUFACTURA DE CIGARRILLOS**

**Henry Aroldo Villatoro Palma**

Asesorado por el MA. Ing. Erick Giovanni Guzmán Reyes

Guatemala, febrero de 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE  
HERRAMIENTAS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS PARA LA DETECCIÓN DE  
CAMBIOS EN VARIABLES FÍSICAS EN LA MANUFACTURA DE CIGARRILLOS**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**HENRY AROLD VILLATORO PALMA**  
ASESORADO POR EL MA. ING. ERICK GIOVANNI GUZMÁN REYES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADORA	Inga. Lisely de León Arana
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas




## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE  
HERRAMIENTAS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS PARA LA DETECCIÓN DE  
CAMBIOS EN VARIABLES FÍSICAS EN LA MANUFACTURA DE CIGARRILLOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 23 de enero de 2013.



**Henry Aroldo Villatoro Palma**





Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142

**AGS-MGIPP-0015-2013**

Guatemala, 23 de enero de 2013.

Director:  
Víctor Manuel Monzón Valdez  
Escuela de Ingeniería Química  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Henry Aroldo Villatoro Palma** con carné número **2002-12976**, quien opto la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO".

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

"Id y enseñad a todos"

Msc. Ing. Erick Giovanni Guzmán Reyes  
Asesor (a)

*Erick Giovanni Guzmán Reyes*  
INGENIERO MECÁNICO  
COLEGIADO No. 10,476

Msc. Ing. César Augusto Akú Castillo  
Coordinador de Área  
Gestión y Servicios

*César Akú Castillo* MSc.  
INGENIERO INDUSTRIAL  
COLEGIADO No. 4,073

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes  
Directora  
Escuela de Estudios de  
Postgrado



Cc: archivo  
/la





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Ref.EIQ.TG.053.2013

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el informe de la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería del estudiante **HENRY AROLD VILLATORO PALMA**, ha optado por la modalidad de estudios de postgrado para el proceso de graduación de pregrado, que para ello el estudiante ha llenado los requisitos establecidos en el normativo respectivo y luego de conocer el dictamen de los miembros del tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el **Informe del Diseño de Investigación del Programa de Maestría en GESTIÓN INDUSTRIAL** titulado **"DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE HERRAMIENTAS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS PARA LA DETECCIÓN DE CAMBIOS EN VARIABLES FÍSICAS EN LA MANUFACTURA DE CIGARRILLOS"**. Procede a **VALIDAR** el referido informe, ya que reúne la coherencia metodológica requerida por la Escuela.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, febrero 2013

Cc: Archivo  
Copia: Colegio de Ingenieros Químicos de Guatemala  
VMMV/ale



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 157 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD DE HERRAMIENTAS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS PARA LA DETECCIÓN DE CAMBIOS EN VARIABLES FÍSICAS EN LA MANUFACTURA DE CIGARRILLOS**, presentado por el estudiante universitario: **Henry Aroldo Villatoro Palma**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 28 de febrero de 2013

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por llevarme por el camino correcto, por ser mi refugio y fortaleza ante las adversidades y por darme la sabiduría necesaria para alcanzar mis metas y objetivos en esta vida.
- Mis padres** Jorge Villatoro Cervantes (q. e. p. d.) y Dolores Palma de Villatoro, por haberme mostrado el camino correcto en esta vida, por hacer de mí la persona que soy y por todos sus sacrificios y oraciones. Además a Henry Villatoro con cariño.
- Mi tía** Thelma Yarili (q. e. p. d.), por haber creído en mí y apoyarme los primeros años de mi carrera, por lo cual toda la vida viviré agradecido por ello; especialmente este triunfo es para vos.
- Mis hermanos** Dolores Villatoro y Chris Naranjo, con mucho cariño por ser parte importante en mi vida; Lily Dayanara, Dayrin Estefany, Jorge Alberto y Dorothy Villatoro, que este triunfo les sirva de inspiración y superación a sus vidas.
- Mi esposa** Rocío Descirhé, gracias por todo tu cariño y amor y por haber estado junto conmigo en las buenas y las malas.





## **AGRADECIMIENTOS A:**

**La Universidad de San Carlos de Guatemala**

Por darme la oportunidad de superarme y de realizarme profesionalmente.

**La Facultad de Ingeniería**

Por todo el conocimiento adquirido durante mi carrera universitaria.

**Las familias**

Sagastume Palma, Sagastume Flores, Sagastume Cordón, Sagastume Samayoa, Sagüil Peña, Carpio Menéndez, Hernández Villatoro, González Barrientos, Paíz Olivares, y Garzona García; gracias a todos porque de una u otra forma me mostraron su cariño, compartieron muy buenos momentos conmigo y me animaron siempre a seguir adelante. Un especial agradecimiento a mis tías Juana y Elizabeth, a mis tíos José Sagastume, Christian Sagüil y Byron Sagastume; a Héctor Ovidio Barrientos, mi tío Rubén Paíz y mis primos Giovanni y Eddy Paíz (q. e. p. d.).

**Mis amigos**

Por los buenos momentos en la escuela hasta la universidad; en especial a todos los amigos de la Escuela Dolores Bedoya de Molina, Instituto Francisco Marroquín, Liceo La Salle Chiquimula y Universidad de San Carlos.

INTENCIONALMENTE DEJADA EN BLANCO  
PARA FINES DE IMPRESIÓN

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
3. OBJETIVOS.....	7
4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	11
6. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	15
6.1. El control estadístico de procesos.....	15
6.1.1. Causas naturales y atribuibles de variación .....	15
6.1.2. Implementación del control estadístico de procesos ...	16
6.2. Gráficas de control típicas.....	17
6.2.1. Gráfica de control de variables.....	20
6.2.1.1. Gráfico de control $\bar{x}$ -R.....	21
6.2.1.2. Gráfico de control $\bar{x}$ -s .....	22
6.2.2. Gráfica de control de atributos.....	23
6.2.2.1. Gráfico de control p .....	23

6.2.2.2.	Gráfico de control np .....	24
6.2.2.3.	Gráfico de control c.....	24
6.2.2.4.	Gráfico de control u .....	25
6.3.	Gráficas CUSUM y EWMA: Detección oportuna de cambios pequeños.....	25
6.3.1.	Gráficas CUSUM .....	26
6.3.2.	Gráficas EWMA .....	27
6.4.	Proceso de manufactura de cigarrillos .....	27
6.4.1.	Descripción general del proceso .....	28
6.5.	Control de calidad en el proceso de manufactura de cigarrillos.....	30
6.5.1.	Muestreo .....	30
6.5.2.	Inspección .....	30
6.5.3.	Variables de medición .....	31
7.	HIPÓTESIS.....	33
7.1.	Hipótesis de investigación ( $H_i$ ).....	33
7.2.	Hipótesis nula ( $H_o$ ).....	33
7.3.	Hipótesis alternativa ( $H_a$ ).....	33
8.	CONTENIDO .....	35
9.	MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	39
9.1.	Generalidades.....	39
9.2.	Selección de la muestra.....	39
9.3.	Selección de las variables del proceso a estudiar.....	42
9.4.	Recolección de los datos.....	42
9.5.	Análisis de datos.....	42

10.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	45
11.	RECURS OS NECESARIOS.....	47
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	49



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Proceso de selección de la muestra.....40

### TABLAS

- I. Significado de valores  $h$  y  $k$  en las gráficas CUSUM..... 27
- II. Actividades propuestas para realización de trabajo de investigación y  
proceso de graduación ..... 45





## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$\sigma$	Desviación estándar del proceso
<b>LCI</b>	Límite de control inferior
<b>LCS</b>	Límite de control superior
$\mu$	Media del proceso
<b>mmWG</b>	Milímetros de presión de agua
$\bar{\bar{x}}$	Promedio aritmético de promedios
$\bar{x}$	Promedio aritmético de una serie de datos
$\bar{R}$	Promedio de rangos de datos
$n$	Tamaño de una muestra



## GLOSARIO

<b>Atributo</b>	Son variables que no son susceptibles de medición.
<b>CUSUM</b>	Acrónimo en inglés de <i>cummulative sums</i> (sumas acumuladas).
<b>EWMA</b>	Acrónimo en inglés de <i>exponentially-weighted moving average</i> (media móvil exponencialmente ponderada).
<b>Gráficas de Control</b>	Representación visual del comportamiento de un proceso o de una o más variables, así también de la variación de los mismos.
<b>Límite de Control</b>	Son los valores máximos o mínimos establecidos para la medición de una variable en un proceso estadísticamente controlado, que permiten mantener a la misma dentro de los requerimientos de calidad aceptables.
<b>Proceso</b>	Conjunto de actividades o eventos que se realizan o suceden bajo ciertas circunstancias con un fin determinado.
<b>Rango</b>	Diferencia del valor máximo y mínimo de una serie de mediciones de la misma variable.

**Variabilidad**

Variación de una serie de datos producida natural o intencionalmente, respecto de un valor medio o central.

**Variable**

Característica que es medida en diferentes individuos y que es susceptible de adoptar diferentes valores.

## RESUMEN

La aplicación de herramientas estadísticas en los procesos productivos es parte de las ventajas competitivas que desarrollan las empresas, ya que esto permite mantener procesos controlados y eficientes que permitan reducir los costos y mejorar la calidad de los productos. Desde las herramientas más simples como gráficas de control de variables y atributos manejados a través de programas básicos como Microsoft Excel<sup>®</sup>, hasta los sistemas automatizados en línea, controlados por software especializado; tienen sus ventajas y desventajas.

La presente investigación buscará evaluar la eficacia de otro grupo de gráficas de control poco aplicadas en la industria como las gráficas CUSUM y EWMA, para la identificación de desviaciones y cambios en los procesos que hacen que se obtengan productos de baja calidad o fuera de especificación.

Para llevar a cabo el estudio, se analizarán datos de producciones continuas en una fábrica de cigarrillos, evaluando básicamente los parámetros principales que se monitorean en línea, para detectar en qué momento se producen cambios aleatorios o provocados en estas variables, que potencialmente afectaron al producto.

Estos resultados serán comparados con los obtenidos en las gráficas de control básicas y determinar en cuál de los grupos se detectaron mayor cantidad de cambios de acuerdo con las reglas establecidas para el control estadístico de procesos.

La hipótesis a demostrar o rechazar es la de si estas gráficas son efectivas para detectar cambios en los procesos y establecer cuáles son los niveles de detección adecuados para cada una de las variables.

# 1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene por objetivo general evaluar la efectividad de las diferentes herramientas de control estadístico de procesos y propuestas para detectar cambios en las variables de manufactura del proceso de fabricación de cigarrillos.

El control de productos fuera de especificación y de mala calidad en las fábricas, hace que se reduzcan los costos de operación, es por ello que el contar con las herramientas adecuadas de control de procesos, se vuelve fundamental en las fábricas.

Las herramientas que hoy son parte del control estadístico de procesos en la empresa donde se llevará a cabo la investigación, solo permiten detectar cambios grandes en el proceso, pero no cambios pequeños aleatorios, que son generados por la misma naturaleza de las máquinas y posible influencia humana. De aquí surge la necesidad de llevar a cabo esta investigación para evaluar y comparar el uso de las diferentes herramientas propuestas para la detección de estos cambios. Esto llevará en algún momento a implementar otros controles de calidad que sean de soporte a los ya existentes.

El problema fundamental de la investigación se centraliza en evaluar la posibilidad de tener una mayor eficacia con las gráficas de control estadístico EWMA y CUSUM, para detectar cambios en variables físicas de cigarrillos, respecto del control tradicionalmente empleado de gráficas de medias, rangos y desviaciones.

Esta investigación se llevará a cabo en una empresa fabricante de cigarrillos de la ciudad de Guatemala, durante el período de junio del 2012 a mayo del 2013.

La hipótesis de investigación hace el supuesto de que al comparar las herramientas CUSUM y EWMA, frente a las tradicionales de control estadístico, las primeras serán más eficientes en la detección de los cambios ocurridos en el proceso de manera histórica (2 años de información aproximadamente).

La base teórico - conceptual del plan de investigación se resume en los siguientes capítulos:

Capítulo 1: se refiere a la importancia del control estadístico de procesos, cómo se implementa y desarrolla en la fábrica, así también qué elementos se deben considerar antes de echar a andar un programa de estos.

Capítulo 2: en este especifican las herramientas tradicionales de control estadístico de procesos como las gráficas  $\bar{x}-R$  y  $\bar{x}-\sigma$ ; así también se incluyen las gráficas de control por atributos.

Capítulo 3: se mencionan las herramientas estadísticas que son objeto de estudio de esta investigación: las gráficas CUSUM y las EWMA.

Capítulo 4: se hace una breve descripción del proceso de manufactura de cigarrillos sobre el cual está enfocado el estudio.

Capítulo 5: aquí se incluyen los diferentes controles de calidad que se aplican al producto, así como de las variables físicas que se controlan y que serán consideradas para esta investigación.



## 2. ANTECEDENTES

El uso de las herramientas para el control estadístico de procesos está bastante extendido en la industria. De hecho, es casi imperativo su uso en todos los procesos de manufactura ya que estos ayudan a que se garantice el cumplimiento de requisitos o especificaciones de productos durante su fabricación.

Las herramientas tradicionales como las gráficas  $\bar{x}-R$  y gráficas  $\bar{x}-\sigma$ , son por lo general, las más empleadas en la industria debido a su sencillez, ya que permiten detectar cambios grandes en los procesos. La complejidad y variedad de los procesos actuales, así como las nuevas tendencias de manufactura enfocadas a la reducción de costos y a hacer los procesos más eficientes, llevan a las empresas a buscar otras alternativas de análisis de la información que les permita poder cumplir con estos objetivos.

Herramientas como las gráficas EWMA y CUSUM han sido poco estudiadas y aplicadas en el medio local, cuando han demostrado que pueden ser aplicadas en una infinidad de procesos y otro tipo de aplicaciones no necesariamente productivas con resultados satisfactorios.

A continuación se mencionan algunos estudios llevados a cabo con la aplicación de estas herramientas, los cuales han sido exitosamente desarrollados en otros procesos y países.

Hawkins (2003) comenta la importancia de la detección de los pequeños cambios en el control de calidad a través de ejemplos en los cuales hace estimaciones monetarias de las pérdidas que se dan en los procesos, al no tener herramientas adecuadas para la detección de estos cambios. Recomienda el uso de la gráfica CUSUM para este propósito.

Wetherington (2010), llevó a cabo un estudio sobre la evaluación de las gráficas de control CUSUM y EWMA para detectar cambios en la tendencia de la demanda subyacente de los repuestos para la flota de la marina de guerra de los Estados Unidos de Norteamérica; esto con el objeto de poder tener alarmas tempranas que permitan detectar cambios en el movimiento de estos repuestos y poder mantener las naves disponibles para las misiones de combate.

Un estudio realizado por Won Han (2010), sobre métodos para la detección eficiente de cambios en la vigilancia de los cuidados de la salud, empleó las gráficas CUSUM y EWMA para detectar variaciones en las tasas de enfermedad y muertes de personas con determinados sintomatologías, con el objeto de poder localizar en qué momento se puede dar un brote infeccioso que pudiera convertirse en una epidemia grave.

Febres (2010) en su trabajo sobre la implementación de Seis Sigma en el proceso de empastado para la elaboración de acumuladores eléctricos, utiliza las gráficas CUSUM y EWMA para la detección de defectos en la etapa de medición de la situación actual.

Vergara (2011) en su estudio, aplica las gráficas EWMA para la detección de pequeños cambios en los coeficientes de variación de un proceso que no pueden ser percibidos fácilmente con las gráficas tradicionales de Shewhart R y S.

Como se observó en los ejemplos anteriores, el uso de estas herramientas no se limita únicamente a los procesos de manufactura sino también a otras disciplinas.

En el caso de la presente investigación, se pretende aplicar y evaluar el uso de estas herramientas para la detección de cambios en variables de manufactura de cigarrillos comparando la efectividad de estas respecto de las gráficas tradicionales empleadas en la empresa de fabricación de cigarrillos, ya que actualmente no se tiene algún método efectivo para monitorear los cambios que se pudieran producir de manera aleatoria.



### **3. OBJETIVOS**

#### **General**

Evaluar la efectividad de las herramientas de control estadístico de procesos, empleadas para la detección de cambios en las variables físicas en la manufactura de cigarrillos.

#### **Específicos**

1. Establecer las variables físicas críticas para asegurar la calidad del producto durante el proceso de manufactura de cigarrillos.
2. Determinar el impacto de los cambios aleatorios sobre las variables físicas a través de cada una de las herramientas estadísticas aplicadas.
3. Comparar los resultados obtenidos de las diferentes herramientas estadísticas aplicadas, para determinar la efectividad que tiene cada una de ellas en la detección de cambios de las variables físicas del proceso, empleando para ello, datos de producción históricos.



## 4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación cobra importancia a partir de la necesidad de tener controles de calidad que ayuden a reducir la incidencia de producto no conforme, fuera de especificación o de baja calidad que puedan producirse a partir de cambios en las variables físicas, que no son detectados de manera efectiva con las herramientas estadísticas tradicionales de control de procesos.

En la empresa donde se llevará a cabo el estudio, se tienen implementadas metodologías de inspección del producto durante el proceso; así también se utilizan herramientas básicas de control estadístico como las gráficas  $\bar{x}-R$ , las cuales le permiten al operador detectar cambios grandes y así poder hacer correcciones durante el proceso y revisar la tendencia de los parámetros físicos medidos. Sin embargo, este tipo de gráficas no siempre son efectivas para la detección de cambios pequeños y aleatorios, ya que no es este su objetivo básico. Este es un riesgo para la organización ya que en un momento dado se puede dar alguna situación no contemplada en el proceso o maquinaria que pudiera producir producto no conforme o fuera de especificación.

La motivación principal del estudio es proponer el uso de otras herramientas más adecuadas como las gráficas de sumas acumulativas (CUSUM, por sus siglas en inglés) y gráficas de Media Móvil con Ponderación Exponencial (EWMA, por sus siglas en inglés), para la detección de estos cambios en el proceso y comparar su efectividad frente a los métodos tradicionalmente usados.

Así también, se pretende que esta investigación sea tomada de referencia para su aplicación en otros procesos productivos, ya que estas técnicas son raramente conocidas a detalle y aplicadas en las fábricas.



## 5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Un proceso estadísticamente controlado es capaz de mantener las características y propiedades físicas de los productos elaborados por él mismo, dentro de las especificaciones de manufactura establecidas por los clientes o por la fábrica. Sin embargo, se pueden presentar situaciones indeseadas, las cuales son producidas de manera aleatoria por el mismo proceso o por algún error o negligencia operativa.

Estas situaciones incurren en cambios en las características y propiedades de los productos, los cuales no siempre son detectados a tiempo, haciendo que se tenga que llevar a cabo reprocesos y la fabricación de productos de baja calidad o producto no conformes, los cuales solo aumentan los costos de fabricación y las pérdidas debido a la mala calidad.

Estos cambios son raramente detectados a partir de los controles de calidad rutinarios establecidos por un control estadístico de proceso, por lo cual se hace necesario buscar herramientas alternas más efectivas para ello.

Las herramientas estadísticas tradicionales como las gráficas para medias  $\bar{X}$ , gráficas de rangos  $R$  o gráficos de desviaciones estándar  $\sigma$ , son herramientas muy útiles para mantener la producción controlada dentro de las especificaciones de manufactura, pero se limitan básicamente a esta función.

Para la evaluación de cambios en variables físicas de proceso, en este estudio se utilizarán las herramientas estadísticas conocidas como “gráficas de

control con memoria”, ya que utilizan información acumulada del proceso para detectar desajustes o cambios en el mismo, a través de una “alarma” gráfica que sigue ciertas condiciones predefinidas de acuerdo con un nivel de sensibilidad de detección requerido.

Las herramientas que serán aplicadas para evaluar su efectividad son las gráficas de sumas acumulativas (CUSUM, por sus siglas en inglés) y las gráficas de Medias Móviles con Ponderación Exponencial (EWMA, por sus siglas en inglés).

Debido a lo anteriormente expuesto, el presente estudio analizará el siguiente problema de investigación: ¿Es posible lograr mayor efectividad en la detección de cambios aleatorios en variables físicas del proceso de manufactura de cigarrillos, empleando las herramientas estadísticas de sumas acumulativas y media móvil con ponderación exponencial, en contraparte con las gráficas tradicionales de control de procesos?

Así también pretende resolver el problema planteado a través de las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Es posible la detección efectiva de cambios en las variables físicas en un proceso de manufactura de cigarrillos aplicando las herramientas estadísticas seleccionadas?
- ¿Qué variables físicas deben considerarse en el estudio para que sean representativas a la calidad final del producto?

- Al momento de producirse cambios en las variables físicas debidos a la aleatoriedad del proceso, ¿es posible que puedan ser detectados en cada una de las herramientas estadísticas aplicadas sin ningún problema?
- ¿Es posible comparar los resultados obtenidos en cada herramienta estadística aplicada, para determinar cuál de ellas resulta más eficaz para detectar cambios en el proceso?

El alcance de este estudio se limita al proceso de manufactura de cigarrillos en una empresa local de fabricación de productos de tabaco, el cual será desarrollado durante el período de julio del 2012 a mayo del 2013 (12 meses). Las herramientas estadísticas que serán evaluadas son las gráficas de Shewhart de medias  $\bar{X}$ , de rangos y de desviaciones estándar; comparadas con las gráficas de sumas acumulativas (CUSUM) y gráficas de medias móviles exponencialmente ponderadas (EWMA).

El objeto de estudio será el comportamiento histórico de las variables físicas de varias producciones de cigarrillos en un lapso de dos años, con el cual se pretende determinar con las herramientas estadísticas en cuáles producciones hubo cambios no detectados por los operadores y demás personal involucrado.



## **6. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **6.1. El control estadístico de procesos**

Si un producto debe cumplir con los requerimientos del cliente o consumidor, generalmente debería ser producido por un proceso estable o repetible, operando bajo una mínima variabilidad alrededor del valor de especificación. Este tipo de procesos se denomina *procesos en estado de control* y se refiere a aquellos que solo están afectados por causas comunes de variación (Bartes, 1997).

El control estadístico de procesos es un conjunto de herramientas muy útil en lograr la estabilidad del proceso y mejorar su capacidad a través de la reducción de la variabilidad.

#### **6.1.1. Causas naturales y atribuibles de variación**

En un proceso, independientemente de cuán bueno se encuentre diseñado o cuidadosamente mantenido, siempre existirá variabilidad inherente al proceso. Esta variabilidad es producida debido a un conjunto de factores, esencialmente inevitables, llamadas frecuentemente causas naturales de un proceso estable.

Cuando un proceso se encuentra operando con solo causas naturales de variación, se dice que el proceso se encuentra controlado. Otros tipos de variabilidad pueden hacerse presentes en el producto del proceso.

Este tipo de variabilidad en características claves usualmente se genera a partir de tres fuentes:

- Ajuste o control inadecuado de equipos
- Errores operativos
- Insumos o materia prima defectuosos

Estas fuentes son consideradas causas atribuibles de variación. Cuando se presenta variabilidad debido a causas atribuibles, se dice que el proceso se encuentra fuera de control (Alfonso, 1998).

### **6.1.2. Implementación del control estadístico de proceso**

Los métodos de control estadístico de proceso pueden proveer un retorno significativo a aquellas compañías que lo puedan implementar satisfactoriamente. El objetivo de un programa de control estadístico de procesos basados en la reducción de la variabilidad es la mejora continua. El control estadístico de procesos no es un programa de un período a aplicarse cuando la organización se encuentre en problemas, para luego ser abandonado. La mejora de la calidad enfocada en la reducción de la variabilidad debe ser parte de la cultura de la organización (Yep, 2011).

Las gráficas de control son importantes herramientas para la mejora de procesos. Los procesos no operan naturalmente en un estado controlado, por lo que el uso de gráficas de control es un importante paso que se debe tomar tempranamente en un programa de implementación de control estadístico de procesos para eliminar las causas atribuibles, reducir la variabilidad y estabilizar el desempeño del proceso. Para mejorar la calidad (y la productividad), se debe comenzar por gestionar con datos y hechos reales, y no simplemente apoyarse

en juicios. Las gráficas de control son una parte importante en este cambio (Yep, 2011).

## **6.2. Gráficas de control típicas**

Un gráfico de control típico es una representación de una característica que ha sido medida o calculada a partir de una muestra contra el número muestreado o el tiempo. El gráfico contiene una línea central que representa el valor promedio de la característica correspondiente al estado estable (con solo causas naturales de variación). Asimismo, posee un límite superior de control (LSC) y uno inferior (LCI). Estos límites son calculados de tal forma que si el proceso se encuentra controlado, casi todos los resultados de las mediciones a las muestras caerán dentro de estos límites.

A partir de estas gráficas es posible analizar varios casos de estabilidad, siendo la más común, la presencia de uno o más puntos fuera de este rango de control. Existen otros casos en que, aun cuando todos los puntos se encuentren dentro de estos límites, se puede detectar que el proceso se encuentra fuera de control a partir de algún comportamiento no aleatorio sistémico (Montgomery, 2001).

La utilidad más importante en la implementación de gráficos de control es la mejora del proceso. Se ha encontrado que, generalmente:

- La mayoría de los procesos no operan en estado de control estadístico.
- Consecuentemente, la utilización de cartas de control de manera frecuente y dedicada, ayudará a identificar causas atribuibles de variación. Si estas

pueden ser eliminadas del proceso, la variabilidad se reducirá y el proceso mejorará (Montgomery, 2001).

Una gráfica de control detectará solamente las causas atribuibles. Esto requerirá de acciones correctivas para su eliminación. Para ello, es importante determinar las causas raíces. Generalmente una acción superficial o cosmética no resultará en ninguna mejora real del proceso y permitirá que se presenten otros problemas relacionados en el futuro. Una adecuada corrección requerirá un plan de acción para condiciones fuera de control (OCAP en inglés), el cual incluye una serie de actividades que deben llevarse a cabo luego de suceder una situación fuera de control, detectada en la carta de control (Montgomery, 2001).

A partir de las gráficas de control es posible obtener información para la toma de decisiones. Por ejemplo, es posible estimar parámetros como la media, desviación estándar, fracciones disconformes, etc., de los cuales se puede determinar la capacidad del proceso para la producción de unidades que cumplan con las especificaciones dadas (Montgomery, 2001).

Según Montgomery (2001), Los pasos para la formulación de las gráficas de control son los siguientes:

- Elegir la característica de la calidad a graficar.
- Elegir como prioridad la característica que más no conformidades ha generado históricamente. Identificar las variables del proceso que contribuyen con la calidad final del producto.



- Elegir características que proveerán datos adecuados para identificar y diagnosticar problemas.
- Determinar un punto conveniente en el proceso productivo para localizar la gráfica.
- Elegir el tipo de gráfico de control, ya sea de variables o atributos; así como también el tipo específico de gráfico.
- Elegir la línea central y los límites de control (generalmente ubicados a tres veces la desviación estándar, de la línea central, por arriba y por abajo).
- Elegir subgrupos racionales (4 a 6 elementos). Estos deben ser elegidos de tal manera que si se presenta variabilidad debido a causas atribuibles, la posibilidad de diferencia entre subgrupos sea máxima, mientras que dentro del subgrupo, la diferencia sea mínima.
- Calcular los límites de control y proveer adecuada instrucción a todos para la interpretación y entendimiento de los resultados de la carta de control. El personal de producción debe conocer y estar en capacidad de realizar acciones correctivas cuando las cartas lo indiquen.

Además, Montgomery (2001) establece que el procedimiento para dibujar todos los tipos de gráficas es el siguiente:

- Tomar una serie de 20 a 30 observaciones del proceso.

- En la toma de datos, registrar de manera exacta cualquier cambio en el proceso, tales como cambio de operador, insumos, materia prima, equipos, etc.
- Calcular los límites de control de prueba a partir de estos datos.
- Dibujar estos datos con los límites de control para determinar si existen puntos fuera de control. En el caso que no haya ninguno fuera de los límites (u otra condición que determine que el proceso se encuentre fuera de control), los límites hallados se podrían fijar para el control del proceso, en caso contrario, se deberá identificar las causas atribuibles de los puntos fuera y excluirlo del gráfico. En el caso que haya muchos puntos, se deberá volver a realizar la toma de datos cuando el proceso se encuentre estable. En el caso que, luego de recalculer los límites de control, se obtengan nuevos puntos fuera de control, se deberá proceder de la misma manera para esos nuevos puntos.

### **6.2.1. Gráfica de control de variables**

Se les llama así a las cartas de control para la tendencia central y variabilidad de una característica de la calidad medible y cuantificable en una escala de medición continua (Taguchi, 2005). Para el control del valor promedio del proceso, se suele utilizar la carta  $\bar{x}$  - R. La variabilidad del proceso se puede monitorear a través de una carta de control  $\bar{x}$ -s (desviación del proceso).

### 6.2.1.1. Gráfico de control $\bar{x}$ -R

Consiste en dos gráficos, el de promedios, para controlar la medida de tendencia central de la variable evaluada, y el de rangos, para medir la dispersión de los datos.

Los límites de control se calculan de la siguiente manera:

- Para cada subgrupo se calcula la media ( $\bar{x}$ ) y el rango (la diferencia entre el máximo y el mínimo valor observado).
- Se determina el promedio del promedio  $\bar{\bar{x}}$  y el promedio de los rangos.
- Utilizando la convención de fijar los límites de control a tres veces la desviación estándar del valor central, se tiene:

$$\mu \pm 3\sigma_{\bar{x}} = \mu \pm 3\sigma/\sqrt{n}$$

De donde:

$\mu$  = la media del proceso

$\sigma$  = la desviación estándar del proceso

$n$  = el tamaño de cada muestra

Dado que la media y la desviación estándar son parámetros desconocidos, estos se estiman de la siguiente manera:

$$\mu = \bar{\bar{x}}$$

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

Entonces se tiene que los límites de control son:

$$LCS_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}}$$

$$LCS_{\bar{R}} = D_4 \bar{R}$$

$$LCI_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}}$$

$$LCI_{\bar{R}} = D_3 \bar{R}$$

Los valores de las variables  $d_2$ ,  $D_3$  y  $D_4$  se encuentran en tablas estadísticas.

### 6.2.1.2. Gráfico de control $\bar{x} - s$

La desviación estándar de la muestra puede ser monitoreada con la gráfica en lugar de la gráfica de rangos para la medición de la dispersión del proceso. En dichos casos, se calcula la desviación estándar de cada muestra, se obtiene el promedio de las desviaciones estándar y se calculan los límites con las siguientes fórmulas:

$$LCS_s = B_4 \bar{s}$$

$$LCI_s = B_3 \bar{s}$$

## 6.2.2. Gráfica de control de atributos

Las cartas de control por variables requieren mediciones, tales como longitud, peso, resistencia, etc. Por lo que datos no mesurables no pueden utilizarse en dichos gráficos. Las gráficas de control de atributos, por otro lado, pueden utilizarse en situaciones donde solo se desea contar el número de no conformidades, tanto en unidades o en la muestra. Existen dos tipos: el análisis del número de unidades no conformes y el de número de conformidades. Para el primero existen los gráficos  $p$  y  $np$ , basados en la distribución binomial; mientras que para el segundo existen los gráficos  $c$  y  $u$ , basados en la distribución Poisson (Taguchi, 2005). A continuación se describe cada uno de estos para su comprensión.

### 6.2.2.1. Gráfico de control $p$

La variable controlada es el porcentaje o fracción de no conformes en la muestra respecto de los requerimientos de la calidad (en atributos). Asumiendo un proceso constante, el número de unidades se basa en una distribución binomial. Los límites se calculan de la siguiente manera:

$$LC = \bar{p}$$

$$LCS = \bar{p} + 3\sigma_p$$

$$LCI = \bar{p} - 3\sigma_p$$

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}}$$

La carta de control p permite aplicarse cuando el tamaño de muestra puede variar.

### 6.2.2.2. Gráfico de control np

La variable controlada es el número de unidades no conformes. Dado que p es la fracción del número de no conformidades sobre el tamaño de muestra, np es justamente esta cantidad de no conformidades. En este caso, los límites se calculan de la siguiente manera:

$$LC = n\bar{p}$$

$$LCS = n\bar{p} + 3\sigma_p$$

$$LCI = n\bar{p} - 3\sigma_p$$

$$\sigma_p = \sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})}$$

### 6.2.2.3. Gráfico de control c

Se utilizan cuando se quiere graficar el número de no conformidades, donde cada unidad de inspección puede tener más de una no conformidad. Los límites de control se calculan de la siguiente manera:

$$LC = \bar{c}$$

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

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

Sin embargo, esto requiere que la cantidad inspeccionada sea la misma. En caso esta pueda variar, se utiliza el gráfico u.

#### 6.2.2.4. Gráfico de control u

En el gráfico u se mide la proporción de no conformidades sobre unidad de inspección, por lo que se puede aplicar para inspecciones con diferentes tamaños de muestra, a diferencia de la carta c. Sus límites se calculan de la siguiente manera:

$$LC = \bar{u}$$

$$LCS = \bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

$$LCI = \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

### 6.3. Gráficas CUSUM y EWMA: detección oportuna de cambios pequeños

Una desventaja de las cartas de control tradicional (tipo Shewhart) es su lentitud para detectar cambios pequeños en el nivel de la característica de calidad de interés, donde un cambio en el nivel se considera pequeño si es menor a 1.5 veces la desviación estándar de la media o error estándar ( $1.5 < \sigma_x$ ). Las gráficas CUSUM y EWMA resuelven este problema siendo posible poder detectar cambios a un nivel de hasta  $0.8\sigma_x$  (Febres, 2010).

### 6.3.1. Gráficas CUSUM<sup>1</sup>

Este gráfico, muestra las sumas acumuladas de las desviaciones de cada valor muestral respecto del valor objetivo. El gráfico puede estar basado en medias muestrales o en observaciones individuales.

Cuando se está trabajando con procesos bajo control, los diagramas CUSUM son buenos para detectar cambios respecto del objetivo, ya que dichos gráficos incorporan información procedente de la secuencia de valores muestrales. Los puntos que se representan son las sumas acumuladas de las desviaciones de los valores muestrales respecto del objetivo. Dichos puntos deberían fluctuar de forma aleatoria alrededor del cero. Si se detecta una tendencia, ya sea hacia arriba o hacia abajo, esta debería ser considerada como una evidencia de que la media muestral se ha desplazado.

Es posible representar dos tipos de gráficos CUSUM: el diagrama por defecto representa dos CUSUM unilaterales. El CUSUM superior detecta desviaciones hacia arriba en el nivel del proceso; el CUSUM inferior detecta desviaciones hacia abajo. Este tipo de gráfico utiliza límites de control para determinar cuándo se está ante un proceso fuera de control.

---

<sup>1</sup> Fuente: [http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC\\_5.pdf](http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC_5.pdf). Consulta el 20 de febrero del 2013.



Los gráficos CUSUM vienen definidos por dos parámetros, h y k:

Tabla I. **Significado de valores h y k en las gráficas CUSUM**

Tipo de gráfico CUSUM	h representa	k representa
Unilateral	El número de desviaciones estándar entre la línea central y los límites de control	El tamaño del posible desplazamiento que se quiere detectar
Bilateral (máscara V)	Parte de la ecuación que se utiliza en el cálculo de la máscara V	La pendiente de los lados de la máscara V

Fuente: elaboración propia

### 6.3.2. Gráficas EWMA<sup>2</sup>

Un gráfico EWMA es un diagrama de medias móviles con pesos exponenciales. Cada uno de los puntos del gráfico contiene información de todos los subgrupos (u observaciones individuales) anteriores. Este tipo de gráficos se puede diseñar para detectar un cambio en el proceso de cualquier tamaño. Gracias a ello, se usan a menudo en la monitorización de los procesos, permitiendo la detección de pequeñas desviaciones respecto al objetivo.

### 6.4. Proceso de manufactura de cigarrillos

A continuación, se hace un breve resumen de las etapas de fabricación de cigarrillos.

<sup>2</sup>Fuente: [http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC\\_5.pdf](http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC_5.pdf). Consulta el 20 de febrero del 2013.

#### **6.4.1. Descripción general del proceso**

El proceso de manufactura de cigarrillos está compuesto de dos grandes procesos, el primario y el secundario. En el proceso primario se procesa la hoja de tabaco en la cual se acondicionan, mezclan y pican todos los diferentes tipos de tabaco que le dan las propiedades organolépticas y sensoriales a los cigarrillos. Así también en esta etapa se adicionan todos los ingredientes de sabor y aroma que diferencian las diferentes marcas de cigarrillos. Durante todo el proceso primario, se controla la humedad del tabaco a diferentes porcentajes según el tipo de hoja y tamaño de la misma. En esta etapa también se controlan otras variables como el ancho y largo de la picadura de tabaco y el índice de tamaños mediante tamizado (Rodas, 2012).

La hoja de tabaco una vez picada y con el aroma aplicado, pasa a unos cuartos acondicionados a cierta temperatura y humedad para homogeneizar las características finales de la picadura. En esta etapa del proceso se le denomina hebra (Rodas, 2012).

En el proceso secundario, la hebra de tabaco pasa hacia las máquinas elaboradoras de cigarrillos para formar el producto que será posteriormente empacado (Guzmán, 2012).

En las máquinas elaboradoras de cigarrillos se forma el cilindro que contiene el tabaco con un papel especial que se denomina papel de fumar. La máquina forma una varilla cilíndrica continua que luego es cortada según la especificación del producto, para ser unida posteriormente al filtro de acetato de celulosa. El filtro y la varilla de tabaco se unen mediante otro papel denominado papel boquilla, el cual tiene la característica de tener cierto nivel de permeabilidad y en la mayoría de los casos, tiene ciertas perforaciones que

permiten un mayor paso de aire a la hora de fumar. Otra característica del papel boquilla es que tiene el diseño de la marca del cigarrillo (Guzmán, 2012).

En esta etapa, el cigarrillo está formado completamente y sale de la máquina para ser transportado al proceso de empaque. En las grandes fábricas este proceso está muy automatizado ya que no necesita más que la presencia del operador de la máquina para formar el cigarrillo, ya que este, al momento de salir de la máquina es transportado automáticamente a la máquina de empaque. El proceso semiautomático necesita de una persona que reciba los cigarrillos a la salida de la máquina en unas bandejas plásticas, para ser luego transportados y alimentados a las máquinas empaquetadoras (Guzmán, 2012).

Ya sea automático o semiautomático el proceso, en la etapa de empaque, las cajetillas son armadas automáticamente por la empaquetadora, colocando todos los elementos necesarios para obtener el producto terminado (García, 2012).

Los elementos que forman una cajetilla de cigarrillos básicamente son: la cajetilla, el papel aluminio para proteger las propiedades de sabor del producto, el refuerzo interior que da rigidez al empaque, el envoltorio de polipropileno para proteger el producto de la humedad exterior, la cinta rasgadora y los cigarrillos.

Luego de armada la cajetilla se empaqueta el producto en paquetes de diez unidades, básicamente para ser almacenados en cajas de cartón (García, 2012).

## **6.5. Control de calidad en el proceso de manufactura de cigarrillos**

El control de calidad en el proceso de fabricación de cigarrillos es muy importante para garantizar que todas las características físicas y visuales del producto cumplan con las especificaciones establecidas por la fábrica. En este proceso, no es posible desde un punto de vista práctico, llevar a cabo una inspección del 100% de los productos para garantizar que todos cumplan con los requerimientos de calidad; es por esto que se establecen planes de muestreo adecuados que sean representativos a la producción.

### **6.5.1. Muestreo**

Los procedimientos internos de la compañía establecen que el muestreo durante el proceso debe llevarse a cabo cada 20 minutos como máximo, para la toma de la muestra que será analizada. Se toman 5 unidades con la máquina en marcha y se verifican sus variables.

### **6.5.2. Inspección**

Una vez tomada la muestra, según el plan de muestreo, se procede a evaluar sus parámetros físicos, como por ejemplo: el tamaño, peso, circunferencia, entre otros. Además, se hace una revisión de los atributos del producto para descartar la aparición de defectos que requieran hacer reproceso de lo que está fabricando por no cumplir la calidad.

### 6.5.3. Variables de medición

- **Peso:** esta variable indica la cantidad de tabaco que contiene un cigarrillo. La variable es de suma importancia, ya que de ella dependen todos los aspectos de rendimientos de tabaco, siendo este de las materias primas más caras (DeBardeleben, 1987).
- **Circunferencia:** es el parámetro que se mide para mantener las dimensiones y volumen del cigarrillo dentro de las especificaciones requeridas de diseño (DeBardeleben, 1987).
- **Ventilación:** es una medida del contenido de aire que pasa a través del cigarrillo al momento de succionar el humo de la combustión del tabaco. Este parámetro es crítico ya que de él depende en gran parte el cumplimiento de los parámetros que están regulados de este producto (como la nicotina, por ejemplo) (DeBardeleben, 1987).
- **Resistencia al arrastre:** este parámetro es una resultante de los otros 3, en la cual se evalúa qué tan fuerte es un cigarrillo, desde el punto de vista de la fumada. (DeBardeleben, 1987).



## **7. HIPÓTESIS**

### **7.1. Hipótesis de investigación ( $H_i$ )**

Las herramientas de control estadístico de procesos CUSUM y EWMA son más eficientes para detectar cambios en variables físicas, en los procesos que los otros métodos estadísticos aplicados en la manufactura de cigarrillos, a cualquiera de los niveles de detección establecidos.

### **7.2. Hipótesis nula ( $H_0$ )**

No existe diferencia en la capacidad de detectar cambios en variables físicas entre cualquiera de las herramientas estadísticas aplicadas en el proceso de manufactura de cigarrillos, en cualquiera de los niveles de detección establecidos.

### **7.3. Hipótesis alternativa ( $H_a$ )**

No existe diferencia en la capacidad de detectar cambios en variables físicas entre cualquiera de las herramientas estadísticas aplicadas en el proceso de manufactura de cigarrillos, al nivel de detección más alto establecido.

- Variable independiente: cambios aleatorios del proceso.
- Indicadores: visualización del cambio en la herramienta utilizada (hubo o no hubo cambio con los datos empleados).

- Variable dependiente: eficiencia en la detección de cambios de las variables.
- Indicadores:  $\text{eficiencia} = \text{cambios detectados por la herramienta} / \text{total de cambios esperados}$



## 8. CONTENIDO

A continuación se muestra el esquema general con el contenido que será incluido en el informe final luego de haber concluido la investigación.

### ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

METODOLOGÍA

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

1. CAPÍTULO 1: EL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS
  - 1.1. Causas naturales y atribuibles de variación
  - 1.2. Implementación del control estadístico de proceso
  
2. CAPÍTULO 2: GRÁFICAS DE CONTROL
  - 2.1. Gráficas de control de variables
    - 2.1.1. Gráficas de control  $\bar{x} - R$
    - 2.1.2. Gráficas de control  $\bar{x} - s$
  - 2.2. Gráfica de control de atributos
    - 2.2.1. Gráfico de control para fracción no conforme (p)

- 2.2.2. Gráfico de control para unidades no conforme (np)
- 2.2.3. Gráfico de control para número de no conformidades (c)
- 2.2.4. Gráfico de control para número de no conformidades por unidad de inspección (u)

### 3. CAPÍTULO 3: GRÁFICAS CUSUM Y EWMA: DETECCIÓN OPORTUNA DE CAMBIOS PEQUEÑOS

#### 3.1. Gráficas CUSUM

##### 3.1.1. Generalidades de los CUSUM

- 3.1.1.1. Objetivos del CUSUM
- 3.1.1.2. Eficacia del CUSUM
- 3.1.1.3. Características de CUSUM

##### 3.1.2. Construcción de los gráficos CUSUM

- 3.1.2.1. Procedimiento general de construcción de CUSUM
- 3.1.2.2. Construcción de CUSUM tradicional

#### 3.2. Gráficos EWMA

##### 3.2.1. Generalidades de los EWMA

- 3.2.1.1. Introducción a los EWMA
- 3.2.1.2. Objetivos del EWMA
- 3.2.1.3. Eficacia del EWMA
- 3.2.1.4. Características de EWMA

##### 3.2.2. Construcción de los gráficos EWMA

- 3.2.2.1. Procedimiento general de construcción de EWMA
- 3.2.2.2. Construcción de EWMA tradicional

4. CAPITULO 4. APLICACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE CONTROL TRADICIONALES Y CUSSUM PARA EL ANÁLISIS DE LOS DATOS DEL PROCESO DE FABRICACION DE CIGARRILLOS
  - 4.1. Generalidades
  - 4.2. Obtención de datos de producción
  - 4.3. Muestreo de datos
  - 4.4. Construcción de las herramientas de Excel para analizar los datos
  - 4.5. Aplicación de las gráficas  $\bar{x} - R$  para la evaluación de los cambios en las variables de los datos históricos de producción
  - 4.6. Aplicación de las gráficas  $\bar{x} - s$  para la evaluación de los cambios en las variables de los datos históricos de producción
  - 4.7. Aplicación de las gráficas CUSUM para la evaluación de los cambios en las variables de los datos históricos de producción
  - 4.8. Aplicación de las gráficas EWMA para la evaluación de los cambios en las variables de los datos históricos de producción
  
5. CAPITULO 5: RESULTADOS DEL ESTUDIO
  - 5.1. Determinación de la eficacia en la detección de cambios de cada método aplicado
  - 5.2. Comparación de resultados
  - 5.3. Comprobación de la hipótesis de investigación

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO



## **9. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

### **9.1. Generalidades**

La presente investigación tendrá una base no experimental del tipo transeccional correlacional-causal, en la cual se analizarán datos históricos del proceso bajo condiciones normales de operación. Los datos históricos serán recopilados de una base de datos de todas las producciones de la compañía con por lo menos dos años atrás.

Este tipo de investigación se define de esta manera, ya que se pretende estudiar la muestra del total de las producciones en un período de tiempo definido y se buscará el efecto que los datos recopilados ejercen sobre las diferentes herramientas de control estadístico de procesos, utilizadas para la evaluación de los mismos.

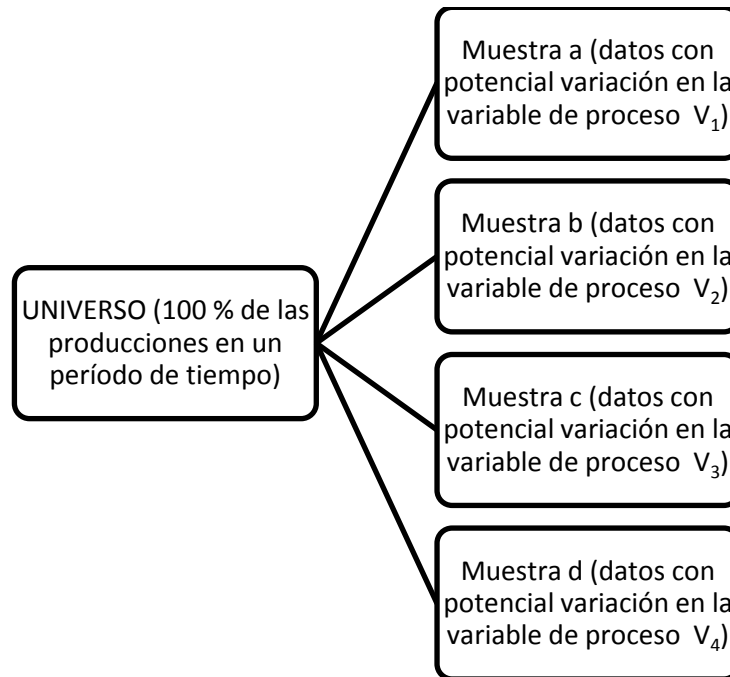
### **9.2. Selección de la muestra**

La selección de la muestra se llevará a cabo de dos formas:

El primer muestreo de la información será del tipo no probabilístico, ya que interesa analizar únicamente las producciones que potencialmente arrojan un cambio aleatorio en por lo menos una de las variables físicas analizadas en el proceso.

Esquemáticamente se puede representar de la siguiente forma:

Figura 1. **Proceso de Selección de la Muestra**



Fuente: elaboración propia.

El siguiente paso consiste en hacer el muestreo probabilístico con la depuración que brindará el muestreo no probabilístico, ya que en este momento se garantizará que la información posea la variable independiente que se quiere evaluar (cambios aleatorios del proceso) con un nivel de confianza del 95 %, un error estimado estándar del 5 % y un porcentaje estimado de la muestra de 50 %. Para cada una de las submuestras descritas en el esquema anterior, se aplicará la fórmula siguiente, como lo sugiere Hernández Sampieri (2010):

$$n = \frac{n'}{1 + n'/N}$$

De donde:

$n'$  = Tamaño provisional de la muestra

$N$  = Población

$n'$  se determina de la siguiente manera:

$$n' = \frac{s^2}{V^2}$$

$s^2$  = varianza de la muestra

$V^2$  = varianza de la población.

Así también  $s^2$  se define de la siguiente manera:

$$s^2 = p(1 - p)$$

$p$  = porcentaje estimado de la muestra

Para la estimación de  $V$  se tiene la siguiente fórmula:

$$V = (se)^2$$

Donde “ $se$ ” es el error estándar, el cual se determina así:

$$se = \bar{Y} - \bar{y}$$

$\bar{y}$  = es el valor promedio de una variable

$\bar{Y}$  = el valor de una variable determinada, que nos interesa conocer.

### **9.3. Selección de las variables del proceso a estudiar**

Las 4 variables más importantes del proceso de manufactura de cigarrillos son:

- Circunferencia, mm
- Peso Total, mg
- Resistencia al Arrastre, mmWG
- Ventilación, %

### **9.4. Recolección de los datos**

Los datos serán extraídos de la base de datos del programa Control Estadístico de Procesos On Line, el cual es un software que la compañía utiliza para monitorear las variables descritas en 9.3.

### **9.5. Análisis de los datos**

Los datos serán analizados con Excel, mediante la creación de tablas dinámicas para ordenar la información; de esta manera se podrá clasificar todas las muestras que presentan variación en cada uno de las variables físicas a analizar y comparar los resultados de las mismas con las especificaciones de manufactura de los productos. Así también en Excel se elaborarán las plantillas de trabajo para las diferentes herramientas estadísticas a evaluar, para facilitar el análisis entre las herramientas.



Para cada herramienta estadística se establecerá un nivel mínimo de control para la detección del cambio y este se irá modificando en cada análisis. Este nivel mínimo dependerá de las especificaciones de manufactura de cada producto. Por ejemplo, si la especificación de manufactura de la circunferencia de un cigarrillo es de  $24.60 \pm 0.05$  mm, los límites de control se definen a partir desde 0.05 mm hasta un 0.10 mm, si este se considera crítico.

Posterior al análisis de la información, se obtendrá el porcentaje de efectividad de cada herramienta utilizada para la detección de los cambios a cada nivel de control establecido. La información se consolidará en una hoja de Excel para realizar análisis gráficos comparativos entre métodos y para calcular el nivel de eficacia en la detección de los cambios por método.



## 10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

**Tabla II. Actividades propuestas para realización de trabajo de investigación y proceso de graduación**

No.	Tarea	Inicio	Fin	ene-12	feb-12	mar-12	abr-12	may-12	jun-12	jul-12	ago-12	sep-12	oct-12	nov-12	dic-12	ene-13	feb-13	mar-13	abr-13	may-13	jun-13	jul-13	ago-13	sep-13	
1	Definición de tema de investigación	14/01/2012	30/01/2012																						
2	Selección del asesor	31/01/2012	17/02/2012																						
3	Desarrollo del anteproyecto de tesis	20/02/2012	02/04/2012																						
4	desarrollo del protocolo de tesis	01/06/2012	21/09/2012																						
5	recolección de datos para el trabajo de campo	01/06/2012	31/10/2012																						
6	revisión del protocolo por coordinador de escuela de postgrado	01/10/2012	31/10/2012																						
7	entrega de protocolo para revisión final por directora de escuela de postgrado	01/11/2012	15/11/2012																						
8	Realización de correcciones a protocolo	16/11/2012	15/12/2012																						
9	Revisión por lingüística de protocolo y revisiones	14/01/2013	28/02/2013																						
10	Cartas, firmas y aprobaciones correspondientes	01/03/2013	08/03/2013																						
11	Impresión de ejemplares	08/03/2013	08/03/2013																						
12	Proceso de graduación modalidad PP	11/03/2013	16/03/2013																						
13	Análisis de datos finales para realización de la tesis	15/04/2013	15/06/2013																						
14	Preparación de tesis	16/06/2013	30/06/2013																						
15	Revisiones, firmas y aprobaciones administrativas	08/07/2013	31/08/2013																						
16	Graduación MGI	01/09/2013	30/09/2013																						

Fuente: elaboración propia.



## 11. RECURSOS NECESARIOS

- Recursos humanos
  - Maestrante
  - Asesor de tesis
  
- Recursos materiales
  - Instalaciones físicas empresa donde se hará el estudio
  - Computadora personal
  
- Recursos económicos

Pago asesoría de tesis	Q 2500.00
Papelería y recursos de oficina	Q 500.00
Tinta para impresora	Q 500.00
Gastos operativos varios	<u>Q 2500.00</u>
Total	Q 6000.00



## 12. BIBLIOGRAFÍA

1. Alfaro Navarro, J. L. (2010). *Gráficos multivariantes aplicados al control estadístico de la calidad*. La Coruña, España: Netbiblio.
2. Alonso, V. C. (1998). *Control estadístico de la calidad*. Valencia, España: Editorial Servicio de Publicaciones.
3. Bartes, A. P. (1997). *Métodos estadísticos. Control y mejora de la calidad*. Barcelona, España.
4. Capón Colazza, K. (2006). *Evaluación y pautas para la implantación del control estadístico de procesos de una planta manufacturera de cigarrillos en Venezuela*. Caracas, Venezuela: Universidad Católica Andrés Bello.
5. Castagliola, P. (2008). *A variable sample size  $S^2$ -EWMA control chart for monitoring the process variance*. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*.
6. Epprecht, E. K. (2009). *A variable sampling interval EWMA chart for Attributes*. London, England: Springer Verlag London Limited.
7. Evans, J. R. (2000). *Administración y control de la calidad*. México D. F.: CENGAGE LEARNING Editores, S. A. de C. V.

8. Febres, G. (2010). *Metodología Seis Sigma en el proceso de empasado para la elaboración del acumulador de plomo - ácido*. Caracas, Venezuela: Universidad Nacional Abierta.
9. García, E. (3 de septiembre de 2012). Entrevista sobre proceso de empaque de cigarrillos. (H. Villatoro, entrevistador).
10. González Borja, J. (2008). *Estudio de la carta EWMA en presencia de datos autocorrelacionados*. Pereira, Colombia: Universidad Católica Popular Risaralda.
11. Guzmán, E. (3 de septiembre de 2012). Entrevista sobre el proceso secundario de procesamiento de cigarrillos. (H. Villatoro, entrevistador).
12. Hansen, B. L. (1990). *Control de calidad. Teoría y aplicaciones*. Madrid, España: Ediciones Díaz Santos, S. A.
13. Hawkins, D. M. (2003). *On small shifts in quality control. Quality Engineering*.
14. Izar Landeta, J. M. (2004). *Las 7 herramientas básicas de la calidad*. San Luis Potosí, México: Editorial Universitaria Potosina.
15. Juran, J. M. (2005). *Manual de control de calidad, versión 2*. Barcelona, España: Editorial Reverté.
16. Leung, T. A. (2011). *Propuesta y aplicación de herramientas para la mejora en el proceso productivo en un planta manufacturera de pulpa y papel tisú*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica de Perú.



17. Rodas, S. (24 de agosto de 2012). Entrevista sobre proceso primario de tabaco. (H. Villatoro, entrevistador)
18. Verdoy, P. J. (2006). *Manual de control estadístico de calidad*. Catalunya, España: Publicacions de la Universitat Jaume I. Castello.
19. Vergara Benavides, M. C. (2011). *Carta de control EWMA para el coeficiente de variacion*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
20. Vilar Barrio, J. F. (2005). *Control estadístico de los procesos*. Madrid, España: Fundación Confemetal.
21. Watherington, L. (2010). *Evaluation of cummulative sum (CUSUM) and exponentially weighted moving average (EWMA) control charts to detect changes in underlying demand trends of naval aviation spares*. Monterrey, California, U.S. A.: Naval Postgrade School.
22. Won Han, S. (2010). *Efficient change detection methods for bio and healthcare surveillance*. Georgia, U. S. A.: Georgia Institute of Technology.
23. Zertuche, F. (2011). *Un esquema para monitorear y controlar la capacidad estadística y técnica de un proceso*. *Revista de la Ingeniería Industrial*.

