



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE FÍSICA Y MATEMÁTICAS

**CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD DEL RANGO
DE DESTILACIÓN DE LA GASOLIA MAGNA RESTO
DEL PAÍS**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MATEMÁTICO**

PRESENTA:

SANDRA JIMÉNEZ PACHECO

ASESOR DE TESIS:

DR. JOSÉ ARMANDO DE LEÓN SOLÓRZANO



MÉXICO, D.F.

OCTUBRE DEL 2007

AGRADECIMIENTOS

Le doy Gracias a Dios y a la Virgencita de Guadalupe por darme la fuerza y la esperanza para lograr mis metas y objetivos.

*Les agradezco mucho a mis papas Sandra y Nahum y a mis hermanos Nelly, Blanca Arely, Everardo y Brenda Lizbeth porque son mi fuerza y mi esperanza de vida; por sus grandes esfuerzos para que yo saliera adelante, por su gran apoyo y por confiar infinitamente en mí.
Gracias Familia, Los quiero mucho!*

A mi amor Luís por apoyarme en todo momento, confiar en mí y dejarme entrar en su vida.

A mi mejor amiga Alma Rosa por ser una persona muy sabia, brindarme todo su apoyo y estar conmigo en los momentos difíciles. Gracias Almiux.

A los Profesores de la ESFM que me brindaron su apoyo para elaborar esta investigación.

A todas las personas de PEMEX por brindarnos su apoyo en especial al Dr. Leonel González Cruz y al Ing, Alfonso Partida Longoria, por sus grandes consejos y compartimos sus experiencias y valiosos conocimientos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	
ANTECEDENTES.....	3
PROBLEMÁTICA.....	4
OBJETIVO.....	4
OBJETIVOS PARTICULARES.....	4
HIPÓTESIS.....	4
METODOLOGÍA.....	4
CAPÍTULO I. LA GASOLINA	
1.1 Componentes químicos de la gasolina.	7
1.2 Propiedades de la gasolina.....	8
1.2.1 Octanaje.....	8
1.2.2 Volatilidad.....	10
1.2.3 Contenido de Azufre.....	11
1.2.4 Aromáticos en la gasolina.....	13
1.3 Procesos de obtención de la gasolina Magna resto del País.....	14
1.4 Especificaciones y normas de la gasolina.....	17
CAPÍTULO II. CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO	
2.1 Control de calidad	22
2.2 Historia del control estadístico de calidad	23
2.3 Control estadístico.....	23
2.3.1 Prevención en vez de detección.....	23
2.3.2 La variación en los procesos.....	25
2.4 Control estadístico del proceso	26
2.5 Gráfica de Control.....	29
2.5.1 Los límites de Control.....	30
2.5.2 Gráfica de Control para Atributos.....	31
2.5.3 Gráfica de Control para Variables.....	32
2.5.3.1 Gráfica de Control \bar{X} -R.....	33
2.5.3.2 Gráfica de Control \bar{X} -S.....	37
2.5.3.3 Gráfica de Individuales.....	39
2.6 Patrones de Variación.....	41
2.7 Capacidad del Proceso.....	45
2.7.1 Teorema de <i>Tchebychev</i>	45
2.7.2 Teorema del Límite Central.....	46
2.7.3 Índice de Capacidad Potencial (C_p).....	48
2.7.3.1 Índice C_r	49
2.7.4 Índice de Capacidad Real (C_{pk}).....	49
2.7.5 Índice Taguchi (C_{pm}).....	50
2.7.6 Índices de capacidad de largo plazo: P_p y P_{pk}	50

CAPÍTULO III. USO DE MINITAB EN EL CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO

3.1 Pantalla inicial de Minitab.....	53
3.2 Entrada de datos	54
3.3 Estudios de capacidad del proceso para variables que siguen una distribución normal.....	55
3.4 Estudio de Gráficos de Control para variables medias y rangos.....	57

CAPÍTULO IV. APLICACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESO EN LA GASOLINA MAGNA RESTO DEL PAÍS

4.1 Procedimiento de Obtención de Lecturas del Rango de Destilación de la Gasolina.....	61
4.1.1 Equipo, material y reactivos.....	61
4.1.2 Preparación de la muestra	61
4.1.3 Riesgos de este método de prueba son de seguridad, salud y protección ambiental.....	64
4.2 Recolección de Datos.....	65
4.3 Aplicación y Análisis de Resultados.....	65

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
-------------------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA.....	103
-------------------	-----

APÉNDICE.....	104
---------------	-----

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

La historia de la humanidad esta directamente ligada con la calidad. Desde tiempos muy remotos el hombre, al construir sus armas, al elaborar sus alimentos y fabricar sus vestidos, observar las características del producto y enseguida procura mejorarlo.

El crecimiento del mundo demanda una cantidad mayor de bienes y de servicios. Para satisfacer mejor esta demanda se desarrolla la división del trabajo y la producción en masa. Como consecuencia de la alta demanda aparejada con el espíritu de mejorar la calidad de los procesos.

En 1895, con la aparición de los nuevos automóviles, inició el consumo de gasolina la cual es utilizada como combustible para el funcionamiento de motores de combustión interna, por tanto la gasolina es un producto que debe cubrir una amplia gama de condiciones operacionales en el motor de combustión interna. También debe cubrir una variedad de climas, altitudes, y pautas de manejo, así mismo cumpliendo con la calidad requerida. La volatilidad es una característica primordial de la gasolina, la cual debe ser tal que permita que la gasolina se vaporice adecuadamente en la cámara de combustión, a fin de lograr un mezclado efectivo de la mezcla aire-combustible, de tal forma que se obtenga el máximo aprovechamiento del combustible en el motor.

Si la volatilidad es inadecuada acarrea problemas de rendimiento y capacidad en el motor, por ejemplo:

- La gasolina insuficientemente volátil acarrea pobre arranque en frío y pobre manejabilidad en calentamiento así como distribución desigual del combustible en los cilindros de los vehículos carburados. Estos combustibles también pueden contribuir a formar depósitos en el cárter y en la cámara de combustión así como en las bujías de encendido.
- La gasolina demasiado volátil se vaporiza muy fácilmente y puede hervir en las bombas o líneas de carburante o en los carburadores a altas temperaturas de funcionamiento. Si se forma demasiado vapor, esto podría disminuir el flujo de combustible al motor, produciendo signos de tapón de vapor que podrían incluir pérdida de potencia, marcha irregular del motor u obstrucción completa. El consumo de combustible también podría deteriorarse y aumentar las emisiones evaporativas.

Resulta esencial conocer los métodos con los que se mide esta característica, que puede llamarse característica de calidad, para poder controlar los límites de calidad de la volatilidad, los cuales son regulados a través de parámetros tales como, presión de vapor, prueba de destilación y relación Vapor/Líquido.

PROBLEMÁTICA

La mayoría de las refinerías en México elaboran gasolina que cumplen con las especificaciones establecidas, y tienen un control estricto en sus procesos de producción, así mismo en los métodos de prueba para corroborar los procesos.

Sin embargo los métodos de prueba que son utilizados para corroborar si se está cumpliendo con el rango de especificaciones, no son aplicados adecuadamente por los encargados de estos métodos, y dado que el rango de destilación es el parámetro esencial de la volatilidad en la gasolina y es de suma importancia en cuanto al rendimiento del vehículo y a la disminución de emisiones de escape, resulta interesante utilizar métodos y herramientas estadísticas para el control de calidad de este parámetro.

OBJETIVO

El objetivo de esta tesis es verificar que el rango de destilación de la gasolina Magna resto del país cumple con las especificaciones establecidas por la norma "NOM-086".

Objetivos particulares

Utilizando herramientas del Control Estadístico de Calidad llamadas gráficas de control, las cuales se aplicarán para analizar la estabilidad y comportamiento del proceso de prueba ASTM D-86 "Destilación de Productos de Petróleo a Presión Atmosférica" y de producción; así mismo se realizará el estudio de Capacidad del Proceso para analizar la aplicación correcta de este método de prueba ASTM D-86, el cual se le realiza a la muestra de gasolina para verificar si las lecturas se encuentran en el rango establecido.

HIPÓTESIS

El incumplimiento de las especificaciones del rango de destilación de la gasolina provoca que ésta no sea de la calidad deseada por el cliente y de principio no sea aceptada por las instituciones encargadas de verificar que se cumplan con las normas ambientales (Certificadoras).

Podemos analizar el rango de destilación de la gasolina utilizando las gráficas de control y partiendo que la gasolina elaborada por PEMEX es de buena calidad, en particular, que el rango de destilación está dentro de las especificaciones establecidas por la Norma Oficial Mexicana NOM-086.

METODOLOGÍA

En el capítulo I se presenta una descripción sobre la gasolina y sus características principales, el proceso de obtención de esta y las normas de calidad que debe de cumplir.

En el capítulo II se describe la teoría del Control Estadístico del Proceso, además se presenta un capítulo donde describe la gran ventaja de utilizar programas enfocados al Control Estadístico, para la solución de cálculos estadísticos tediosos, como son las gráficas de control y el estudio de capacidad.

Por último se presenta la aplicación del Control Estadístico de Proceso al rango de destilación de la gasolina, la cual contiene el procedimiento para la obtención de las temperaturas del rango de destilación a las cuales se les aplicará dicho estudio, y tomando como referencia el Control Estadístico del Proceso (C.E.P), usado para describir el uso de métodos estadísticos para controlar la variación de los procesos, no importando de que proceso venga, se aplicará un análisis de capacidad del método de prueba "Destilación de Productos de Petróleo a Presión Atmosférica" a las temperaturas obtenidas para verificar la correcta aplicación, además se utilizarán las Gráficas de Control para observar y detectar el comportamiento del proceso de producción, permitiendo tomar acciones correctivas antes de que sea demasiado tarde. De este modo obtener resultados y concluir con las recomendaciones.

CAPÍTULO I. LA GASOLINA

LA EDAD DE PIEDRAS NO ACABO
POR FALTAS DE PIEDRAS Y LA
ERA DE LOS COMBUSTIBLES
FÓSILES TAMPOCO TERMINARÁ POR
EL AGOTAMIENTO DEL PETRÓLEO;
SIN EMBARGO ESTO NO EXCLUYE
QUE SE CONTROLE SU **CALIDAD**,
ASÍ COMO SUS DERIVADOS,
ENTRE LOS QUE SE ENCUENTRA
LA **GASOLINA**.

La gasolina es una mezcla de más de 200 hidrocarburos derivados del petróleo limitada por el butano (parafina de cuatro átomos) y el metil-naftaleno (aromático que contiene once átomos de carbono).

Los tipos de gasolina más comunes en México son:

- Gasolina Magna resto del País
- Gasolina Magna de la Zona Metropolitana del Valle de México
- Gasolina Zona Fronteriza Norte
- Gasolina Premium (UBA)

1.1 COMPONENTES QUÍMICOS DE LA GASOLINA

Los hidrocarburos que componen la gasolina están comprendidos entre los que poseen 4 átomos de carbono y los que tienen 10-11 átomos de carbono (C10-C11). De las 4 clases en que se subdividen los hidrocarburos (parafínicos, nafténicos, aromáticos y olefínicos), la que predomina en el petróleo bruto es la clase de los hidrocarburos parafínicos (parafinas), que pueden ser de cadena lineal (n-parafinas) o ramificada (isoparafinas).

A continuación se presenta las características de las 4 clases de hidrocarburos mencionados anteriormente:

Las n-parafinas poseen una resistencia a la detonación inferior a la correspondiente a las isoparafinas. De cualquier forma, las mezclas de n-parafinas e isoparafinas, presentes en el petróleo bruto en estado de equilibrio, tienen una resistencia a la detonación inferior a la necesaria para un correcto funcionamiento de los motores.

Los hidrocarburos nafténicos (naftenos) o cicloparafínicos tienen un poder antidetonante más elevado que las n-parafinas con el mismo número de átomos de carbono. Su concentración varía mucho de un petróleo bruto a otro, y su importancia está ligada a la relativa facilidad con que es posible transformarlos en hidrocarburos aromáticos.

Los hidrocarburos aromáticos se caracterizan por su elevado peso específico y por un poder antidetonante bastante elevado. Se encuentran en el petróleo bruto en cantidades limitadas, salvo algún tipo que los contiene en mayor proporción.

Los hidrocarburos olefínicos, caracterizados por poseer dobles enlaces carbono-carbono (ole-finas), no se encuentran normalmente en el petróleo bruto; su presencia se debe a especiales procesos de tratamiento.

Algunos ejemplos de los distintos hidrocarburos que componen a la gasolina son los siguientes:

BUTANO. Hidrocarburo ligero usado para elevar el octano e incrementar la volatilidad de la gasolina.

ETANOL. Alcohol etílico o de grano. Se obtiene por la fermentación de diversos granos. Incrementa el octano en la gasolina. Es un carburante oxigenado y puede emplearse casi puro en los autos especialmente diseñados para su uso.

ISOBUTENO. Producto petroquímico obtenido en las refinerías que si reacciona con metanol forma éter metil terbutílico (MTBE) y con el etanol el éter etil terbutílico (ETBE), ambos son oxigenantes e incrementan el número de octano.

METANOL. Alcohol metílico, de madera. Se obtiene industrialmente en los procesos petroquímicos. Se emplea para incrementar el octano de la gasolina en ciertas proporciones aunque también se puede emplear puro sustituyendo la gasolina.

OLEFINAS. Componentes de la gasolina generados durante varios procesos de transformación de los hidrocarburos. Ejemplos son el etileno y el propileno. Suelen contribuir a la formación de gomas y depósitos en los sistemas de inyección.

Para obtener gasolinas con características antidetonantes idóneas a las exigencias de los motores actuales, no basta con destilar la fracción de bruto comprendida entre 30 y 200 °C, sino que hay que transformar los hidrocarburos que contiene en otros de mayor poder antidetonante. Por consiguiente, la proporción de las distintas clases de hidrocarburos que componen la gasolina depende poco de la composición del petróleo bruto y, mucho de los procesos de refinación con que son obtenidas.

1.2 PROPIEDADES DE LA GASOLINA

La gasolina tiene cuatro propiedades principales:

1.2.1 OCTANAJE

El Octanaje o número de octano es una medida de la calidad y capacidad antidetonante de las gasolinas. Para determinar la calidad antidetonante de una gasolina, se efectúan corridas de prueba en un motor, de donde se obtienen 2 parámetros diferentes:

- El RON (Número de Octano de Investigación)
- El MON (Número de Octano de Motor)

En algunos vehículos, el rendimiento antidetonante de un carburante se representa mejor por el RON, mientras que en otros se asocia mejor con el MON. Pero el comportamiento antidetonante de la gasolina se relaciona mejor con el promedio de los octanajes teórico y motor, o $(R+M)/2$.

Estos parámetros tienen una gran importancia en el funcionamiento del motor de un vehículo, y los principales problemas que presentan las gasolinas de bajo número de octano sobre el motor son:

- 1.- El RON afecta el golpeteo de baja a mediana velocidad y el reencendido o autoencendido del motor. Si el octanaje teórico es muy bajo, el conductor podría experimentar golpeteo a baja velocidad y reencendido del motor después de parado.
- 2.-El MON afecta el golpeteo a alta velocidad y por aceleración parcial. Si el octanaje motor es demasiado bajo, el conductor podría experimentar golpeteo del motor durante los periodos de aceleración en potencia por ejemplo al sobrepasar otros vehículos o al subir cuestas.

En general los problemas que representan las gasolinas de bajo número de octano es la generación de detonaciones o explosiones en el interior de las máquinas de combustión interna, aparejado esto con un mal funcionamiento y bajo rendimiento del combustible, cuando el vehículo está en movimiento, aunado a una elevada emisión de contaminantes.

Un grave inconveniente a causa de la imperfecta combustión de la gasolina, debido a la mala elaboración de esta, es la expulsión de productos molestos o nocivos para la salud humana. Este inconveniente ha sido el problema más grave que han tenido los fabricantes de motores en los últimos años, a consecuencia de las severas disposiciones legislativas y sanitarias, que imponen escrupulosos controles sobre la contaminación y sostienen rigurosas sanciones para quienes superan los límites establecidos.

Por lo tanto es necesario elaborar gasolina de gran calidad, que cumpla con las propiedades requeridas y especificaciones establecidas, así mismo cumplir con la satisfacción del cliente.

¿Qué es el Número de Octano?

Un motor de combustión interna funciona adecuadamente cuando la onda de expansión iniciada por la chispa de la bujía, se mueve rápida y suavemente por la cámara de combustión. El número de octano es la capacidad antidetonante de una gasolina; es la propiedad que asegura la estabilidad al encendido de la gasolina, hasta el momento en que salta la chispa.

Una gasolina con un número de octano inferior al requerido por el motor, no soporta las condiciones de presión y temperatura de la cámara, auto inflamándose antes de la aparición de la chispa de la bujía, lo que origina el fenómeno de cascabeleo.

¿Cómo se determina el Número de Octano?

El Número de Octano se determina en un motor especial de un solo cilindro, que permite variar el volumen de la cámara de combustión, y con ello la relación de compresión.

Para la determinación del Número de Octano, en 1926 se creó la escala de octano, que sirve para medir la capacidad antidetonante de las gasolinas. A partir de ello, se determinó que un índice de octano de 100 le corresponde al iso-octano (que es poco detonante) y un índice de octano de cero para el n-heptano (que es muy detonante). Mezclando ambos hidrocarburos se producen los combustibles de referencia que podrán ser comparados con cualquier gasolina que se quiera determinar el número de octano. Por ejemplo: si se mezcla 98% de iso-octano y 2% de n-heptano, se obtiene una mezcla con número octano 98.

Los consumidores sólo deben utilizar una gasolina conforme a los niveles de octano que recomienda el fabricante superior al MON. Por ejemplo, una gasolina de 87 octanos tiene, con frecuencia, un MON de 82 y un RON de 92.

La mayoría de los vehículos se comporta satisfactoriamente con combustible del octanaje recomendado. Pero en ciertos casos, el uso del combustible especificado no asegura que un vehículo marche sin golpeteo, incluso con una buena puesta a punto. Puede haber significativas diferencias entre motores, incluso de igual marca y modelo, debido a variaciones normales de producción.

La pérdida de potencia y daño a un motor de automóvil, debidos al golpeteo, generalmente, no son significativos salvo si la intensidad se hace severa. No obstante, un golpeteo fuerte y prolongado puede dañar al motor.

El golpeteo o no de un motor depende de la calidad del octano del combustible y del Octanaje Requerido (ONR) por el motor.

1.2.2 VOLATILIDAD

La volatilidad es una característica primordial de la gasolina, esta se define como la capacidad de un combustible de vaporizarse o pasar de líquido a vapor, se determina con parámetros como el PVR, V/L y Rango de destilación, la volatilidad debe ser tal que permita que la gasolina se vaporice adecuadamente en la cámara de combustión, a fin de lograr un mezclado efectivo de la mezcla aire-combustible, de tal forma que se obtenga el máximo aprovechamiento del combustible en el motor.

Se utilizan 3 parámetros para controlar los límites de volatilidad:

- *Presión de vapor.
- *Prueba de destilación.
- *Relación Vapor/Líquido.

ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) da normas para procedimientos de prueba para medir estas características. Hay 6 clases de presión de vapor/destilación de gasolina denominadas AA, A, B, C, D y E. AA es la menos volátil y E la más volátil.

También hay 6 clases de protección contra tapón de vapor (volatilidad E) numeradas de la 1 a la 6; siendo 1 la menos volátil y 6 la más volátil.

La Prueba de Relación Vapor/Líquido:

Determina la temperatura requerida para crear una relación vapor/líquido (V/L) de 20. Para alcanzar esta relación V/L, los combustibles más volátiles requieren menores temperaturas que los menos volátiles. La relación V/L ayuda a definir la tendencia de un combustible a contribuir al tapón de vapor.

La Prueba de Presión de Vapor:

Esta prueba puede realizarse por una variedad de procedimientos de laboratorio y dispositivos de medición automatizados. Por ejemplo el procedimiento de prueba del "Método de Reid" se realiza sumergiendo una muestra de gasolina (sellada en una cámara de muestra metálica) en un baño de agua a 100°F. Los carburantes más volátiles se vaporizarán más prontamente, generando así mayor presión en el dispositivo de medición y lecturas superiores.

Los carburantes menos volátiles generarán menos vapor y, por tanto, lecturas inferiores. La medición de la presión de vapor según el método de prueba de Reid se conoce como Presión de Vapor Reid o PVR.

La Prueba de Destilación:

Se utiliza para determinar la volatilidad del combustible a través de todo el rango de ebullición de la gasolina. La gasolina se compone de una serie de elementos químicos que se evaporan a diferentes temperaturas. Los más volátiles (de vaporización más rápida) se evaporan a menores temperaturas; los menos volátiles (de vaporización más lenta) a mayores temperaturas.

La proyección de estas temperaturas de evaporación resulta en la llamada rango de destilación. La especificación ASTM fija rangos de temperatura a los que se evaporarán el 10%, 50% y 90% del combustible así como la temperatura a la que se habrá evaporado todo el combustible (llamada punto final).

Cada punto afecta diferentes áreas del rendimiento del vehículo:

- * La temperatura para 10% de evaporación debe ser lo bastante baja para facilitar el arranque en frío pero lo bastante alta para minimizar problemas de tapón de vapor/manejabilidad en caliente.
- * La temperatura para 50% de evaporación debe ser lo bastante baja para lograr un buen calentamiento y manejabilidad en clima frío sin ser tan baja como para provocar problemas de manejabilidad caliente y tapón de vapor. Este tramo del galón también impacta en el consumo en trayectos cortos.
- * La temperatura para 90% de evaporación y punto final debe ser lo bastante baja para minimizar los depósitos en el cárter y cámara de combustión y los problemas de bujías y de dilución del aceite del motor.

Así mismo, las características de destilación frecuentemente se alteran según la disponibilidad de los componentes de la gasolina.

Para garantizar a los combustibles las características de volatilidad apropiadas, los refinadores ajustan estacionalmente la gasolina, suministrando gasolina más volátil en invierno para facilitar el rendimiento en el arranque en frío y calentamiento. En verano, se produce gasolina menos volátil para minimizar los problemas de tapón de vapor y de manejabilidad en caliente y cumplir con las normas medioambientales.

También se hacen ajustes para áreas geográficas con mayores altitudes porque, a mayor altitud, se requiere menos calor para que un líquido hierva.

Estos cambios estacionales y geográficos en las normas sobre volatilidad minimizan los problemas, no los eliminan completamente. Por ejemplo, en períodos de calor excepcional en primavera y otoño, una volatilidad de gasolina adecuada para temperaturas inferiores puede presentar problemas.

1.2.3 CONTENIDO DE AZUFRE

Esta propiedad se encuentra altamente relacionada con la cantidad poseída de azufre (S) presente en el producto (gasolina). Estudios han demostrado que el excesivo contenido de azufre puede aumentar las emisiones de escape y los depósitos en el motor. Además, el exceso de azufre puede traer consigo compuestos acidicos en el cárter que reducen la

eficacia de los aditivos de aceite del motor, contribuyendo así al desgaste prematuro del motor

Si la cantidad de Azufre sobrepasa la norma establecida, la gasolina puede tener efectos corrosivos sobre las partes metálicas del motor y de los tubos de escape o mofles. También se relaciona con efectos nocivos sobre el ambiente, siendo un factor importante en la producción de lluvia ácida.

La situación es aún más crítica para los vehículos con catalizador avanzado de baja contaminación. El funcionamiento usando gasolina convencional típica norteamericana que contiene 330 ppm azufre va a aumentar las emisiones de NO_x y VOC de escapes de los vehículos norteamericanos nuevos actuales y futuros (en promedio) en cerca de 40% y cerca de 150%, respectivamente, relativo a sus emisiones con combustible que contenga más o menos 30 ppm de azufre.

Un estudio reciente (*Sulfur - The Lead of the New Century: The Need For and Benefits of Reducing Sulfur in Gasoline & Diesel Fuel*, Katherine O. Blumberg, Michael P. Walsh, Charlotte Pera) evaluó el impacto de los niveles de azufre en las gasolinas sobre las emisiones y sus principales resultados se resumen más abajo.

Los niveles de azufre en la gasolina se relacionan sólo a las emisiones directas de SO₂ en los vehículos a gasolinas que no tienen equipos de control de emisiones funcionando. La mayoría de los vehículos a gasolina actualmente en uso; sin embargo, incluso en muchos países latinoamericanos, están equipados con catalizadores para el control de CO, HC, y NO_x, los cuales son impactados por niveles de azufre en el combustible. El impacto del azufre aumenta en cuanto a su severidad a medida que los vehículos son diseñados para cumplir con estándares más estrictos. Los niveles de azufre actuales en el combustible son el primer obstáculo cuando se trata de introducir tecnologías de control de emisiones avanzadas al mercado, tecnologías que van a reducir espectacularmente los contaminantes convencionales y también van a posibilitar diseños de motor con mayor eficiencia en su combustible. Sin embargo en la mayoría de las refinerías reducir el nivel de azufre cerca de cero implicaría gastos innecesarios en la producción de gasolina.

Los mayores objetos de preocupación en cuanto a los niveles de azufre en la gasolina incluyen:

- El azufre aumenta las emisiones de los catalizadores de tres vías, el tipo más común de tecnologías de control de emisiones en los vehículos a gasolina.
- El negativo impacto de azufre aumenta con controles catalíticos avanzados y más eficientes.
- Los niveles actuales de azufre presentan una barrera importante a la introducción de más diseños de motor de gasolina eficiente, los cuales requerirán avanzadas tecnologías de control de emisiones que sean severamente impactadas por el azufre.
- Los altos niveles de azufre contribuyen al alza de emisiones de particulado.

1.2.4 AROMÁTICOS EN LA GASOLINA.

Compuestos Aromáticos

Son sistemas cíclicos que poseen una gran energía de resonancia y en los que todos los átomos del anillo forman parte de un sistema conjugado único (conjugación cíclica cerrada), estos dan gasolinas de buen valor octánico.

Uno de los compuestos aromáticos fundamental es:

El benceno, conocido también como benzol, es un líquido incoloro de olor dulce. El benceno se evapora al aire rápidamente y es sólo ligeramente soluble en agua. El benceno es sumamente inflamable.

La mayoría de la gente puede empezar a detectar el olor del benceno en el aire cuando está en concentraciones de 1.5 a 4.7 partes de benceno por millón de partes de aire (ppm) y en el agua cuando la concentración es de 2 ppm. La mayoría de la gente empieza a detectar el sabor del benceno cuando está en concentraciones entre 0.5 y 4.5 ppm en el agua.

Una parte por millón equivale aproximadamente a una gota en 40 galones. El benceno se encuentra en el aire, el agua y el suelo. El benceno proviene tanto de fuentes industriales como naturales.

Las fuentes naturales de benceno, entre las que se incluyen los gases emitidos por volcanes y los incendios forestales, también contribuyen a la presencia de benceno en el medio ambiente. El benceno también se encuentra en el petróleo y la gasolina y en el humo de cigarrillos.

Investigaciones realizadas han indicado que el benceno es una peligrosa sustancia cancerígena y causa una variedad de desordenes sanguíneos tales como la leucemia. En orden de peligrosidad le siguen el tolueno y el xileno; todas estas sustancias están presentes en las gasolinas sin plomo "aromáticas", en composiciones que oscilan, en el caso de Europa, entre 29 y 55% por volumen, en donde el contenido de benceno puede ser hasta de 5%. Sin embargo, aún cuando la cantidad de benceno fuese muy baja, éste puede producirse también durante la combustión a través de procesos de demetilación de otras sustancias aromáticas tales como el tolueno y el xileno; encontrados en mayor proporción.

En experimentos de carcinogenicidad en ratas, realizados por el Instituto de Oncología y Ciencias Ambientales de Bolonia, Italia; se demostró que la exposición a gasolinas con alto contenido aromático conduce a la formación de tumores generalmente malignos, especialmente tumores del útero.

La gasolina es utilizada como combustible para el funcionamiento de motores de combustión interna, por tanto la gasolina debe cubrir una amplia gama de condiciones operacionales en el motor de combustión interna, como las variaciones en los circuitos de carburante, temperaturas del motor, bombas de carburante y presión del carburante. También debe cubrir una variedad de climas, altitudes, y pautas de manejo.

Por consiguiente, la gasolina tiene propiedades entre las cuales podemos citar a la volatilidad (se mide en función de la Presión de Vapor Reid y el rango de destilación), el

contenido de azufre y sus características antidetonantes, para cumplir con la amplia gama de condiciones operacionales antes mencionadas.

También, es conveniente describir cada una de estas, ya que adquieren una gran importancia en el funcionamiento y rendimiento del motor.

1.3 PROCESOS DE OBTENCIÓN DE LA GASOLINA MAGNA RESTO DEL PAÍS

Para la producción de gasolinas en la industria de refinación se emplea la destilación del crudo, seguida de procesos de rompimiento, unión o reestructuración de moléculas, además de otros procesos auxiliares para la purificación del producto, tales como el hidrotratamiento y los tratamientos cáusticos.

La Obtención de la gasolina a partir del petróleo en forma general, la gasolina Magna resto del país se obtiene a partir del petróleo, a través de las siguientes etapas:

** Planta de Destilación Primaria No. 1 y No.2*

Servicio: Esta planta se creó para obtener productos refinados por destilación fraccionada. Su rendimiento es variable de acuerdo a la composición del aceite crudo.

Produce: gas seco, gas licuado, gasolina, turbosina primaria, kerosina primaria.

** Planta Estabilizadora de Gasolina No. 1 y No. 2*

Servicio: Su objetivo es separar el gas licuado y el gas seco de las naftas (gasolinas) de despunte provenientes de las plantas de destilación primaria.

Produce: Gas seco, gas licuado, gasolina estabilizada.

** Planta Hidrodesulfuradora de Gasolinas U-400- 1*

Servicio: La planta elimina el contenido de azufre, oxígeno, nitrógeno, cloro, metales y olefinas de gasolina primaria mediante un proceso de hidrogenación catalítica (la reacción en la que se rompe un enlace sencillo entre átomos con adición de hidrógeno)

Produce: Gas amargo, pentano, hexano, gasolina desulfurada con 0.5 ppm.

** Planta Hidrodesulfuradora de Intermedios U-700-1 y U-800-1*

Servicio: Su objetivo es eliminar los compuestos de azufre, oxígeno y nitrógeno de los destilados intermedios (turbosina y kerosina) mediante una hidrogenación catalítica.

Produce: gas seco, gasolina amarga.

** Planta Reformadora de Gasolina U-500-1*

Servicio: Su función es producir gasolina de alto octano a partir de gasolina primaria previamente desulfurada, sometiéndola a alta presión y temperatura.

Produce: gas seco, gas L.P, gas amargo, gas licuado, gasolina reformada.

** Planta Isomerizadora de Pentanos y Hexanos*

Servicio: Convierte los hidrocarburos, pentanos y hexanos de bajo octano en productos isomerizados de mayor índice de octano.

Produce: Isomero, gasolina de alto octano.

** Planta de Tratamiento y Fraccionamiento de Hidrocarburos U-600-2*

Servicio: La planta tiene una sección de tratamiento de líquidos y dos secciones de fraccionamiento.

Produce: gas seco, gas ácido, propano, isobutano, butano, isopentano, pentano, hexáno, gas nafta y gasolina incolora.

** Planta Recuperadora de Azufre*

Servicio: Su objetivo es convertir el ácido sulfhídrico (H_2S , mezcla entre el sulfuro de hidrógeno y agua) contenido en las corrientes gaseosas en azufre.

Produce: azufre.

En la figura 1.1 se ilustra las etapas de obtención de la gasolina Magna resto del país.

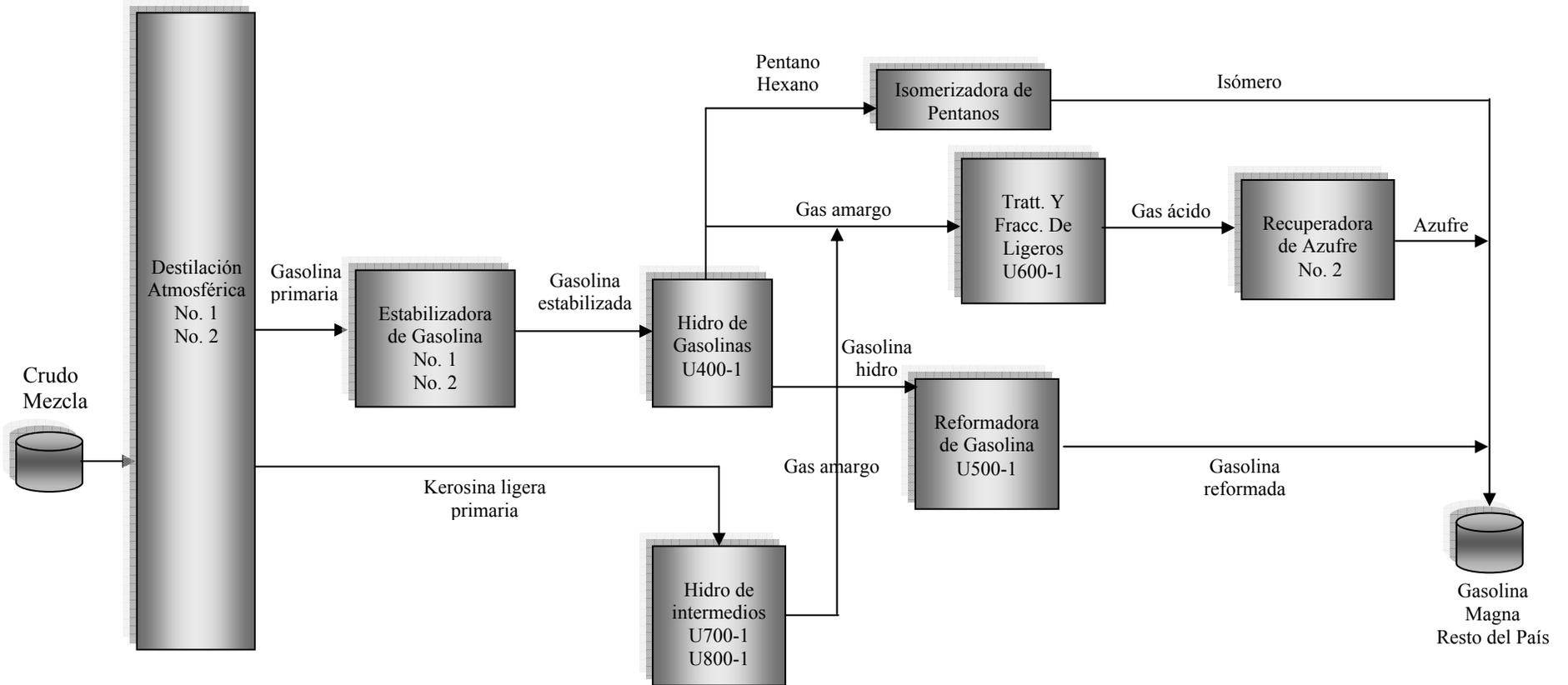


FIGURA 1.1 Diagrama de Bloques del Proceso de Obtención de la Gasolina Magna Resto del País

1.4 ESPECIFICACIONES Y NORMAS DE LA GASOLINA

Para entender las normas de calidad del combustible y cómo afectan al automóvil, es importante tener una comprensión básica de la gasolina, cómo y por qué se fijan las normas de calidad, y qué significado tienen para la manejabilidad, el rendimiento y la durabilidad del motor del automóvil.

La gasolina no es una sustancia única, sino una mezcla compleja de componentes que varían ampliamente en sus propiedades físicas y químicas. No existe gasolina pura. La gasolina debe cubrir una amplia gama de condiciones operacionales como las variaciones en los circuitos de carburante, temperaturas del motor, bombas de carburante y presión del carburante. También debe cubrir una variedad de climas, altitudes, y pautas de manejo. Las propiedades de la gasolina deben ser equilibradas para brindar rendimientos satisfactorios del motor en una gama muy amplia de circunstancias.

Las normas de calidad prevalecientes representan en cierto modo compromisos para poder satisfacer los numerosos requisitos de rendimiento.

Analizando adecuadamente las especificaciones y propiedades, es posible satisfacer los requisitos de los cientos de millones de motores de encendido por chispa del mercado con sólo unas pocas calidades de gasolina.

Las directivas de calidad sobre gasolina más comúnmente utilizadas son las establecidas por la American Society for Testing and Materials (ASTM) (Sociedad para Pruebas y Materiales de EE.UU.) Las especificaciones ASTM se establecen por consenso, basado en la experiencia y estrecha cooperación de productores de gasolina motor, fabricantes de equipos automotores, usuarios de ambos productos y otras partes interesadas como los reguladores estatales de calidad del combustible.

Las Normas ASTM son de observancia voluntaria. Sin embargo, la Agencia de Protección Medioambiental de EE. UU. (EPA) y algunos estados han promulgado reglamentaciones y leyes que, en algunos casos, exigen que la gasolina cumpla con la totalidad, o parte, de las directivas ASTM sobre gasolina.

Actualmente, la ASTM D 4814 es la especificación estándar para combustible de motor de encendido por chispa. Hay varios métodos de prueba incluidos en la especificación D 4814. También debe notarse que, además de las normas ASTM, algunas compañías de petróleo pueden seguir especificaciones que van más allá de las directivas ASTM. Por ejemplo, algunos refinadores pueden especificar un octano mínimo del motor más alto o el uso de un aditivo específico para controlar depósitos.

Recientemente, se ha prestado más atención a los requisitos medioambientales que debe cumplir la gasolina. Sin embargo, incluso con ajustes en la composición para cumplir con las normas medioambientales, la gasolina todavía debe cumplir con las normas de rendimiento establecidas por la ASTM.

En México existe la Norma Oficial Mexicana **NOM-086-ECOL-1994**, Contaminación atmosférica- Especificaciones sobre protección ambiental que debe reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en fuentes fijas y móviles.

Entre los puntos a considerar por la **NOM-086-ECOL-1994** se presentan los siguientes:

1.- Que las industrias y vehículos automotores que usan, gasolinas con y sin plomo, turbosina, etc. como combustible generan contaminantes , en los cuales se encuentran entre otros, las partículas, el monóxido de carbono, los óxidos de azufre y de nitrógeno, e hidrocarburos sin quemar o parcialmente quemados. Algunos de estos contaminantes primarios reaccionan entre sí o con sustancias presentes en la atmósfera, para formar otros contaminantes con características tóxicas.

2.- Que la emisión de dichos contaminantes produce deterioro en la calidad del aire si se rebasan ciertos límites, por lo que se hace necesario mejorar la calidad de los combustibles. Las especificaciones sobre protección ambiental que debe reunir los combustibles tienen como objeto disminuir significativamente las alteraciones del ambiente.

3.- Que para la determinación de las especificaciones sobre protección ambiental que debe reunir los combustibles previstos en esta Norma, se tomó en consideración la Política Nacional de Combustibles y el esquema actual de producción de Petróleos Mexicanos, así como la reconversión necesaria de aquellos procesos que permitan garantizar la fabricación de combustibles de mejor calidad.

Se presentan a continuación los puntos que contiene la Norma Oficial Mexicana

1.- Objeto. Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos.

2.- Campo de aplicación. Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en la producción, importación y distribución de combustibles fósiles líquidos y gaseosos.

3.- Definiciones. Combustibles fósiles líquidos o gaseosos son el gas natural y los derivados del petróleo tales como: petróleo diáfano, diesel, combustóleo, gasóleo, gas L.P., butano, propano, metano, isobutano, propileno, butileno o cualquiera de sus combinaciones.

4.- Especificaciones. Las especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos, son las establecidas en la tabla 1.2 (Sólo se considera el Producto Magna Sin resto del país el cual se va abordar esta investigación).

Para la certificación de las especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos se deberán utilizar los procedimientos establecidos por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), la Sociedad Americana de Pruebas de Materiales (ASTM) y otras mencionadas.

5.- Vigilancia. La Secretaría de Desarrollo Social, por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente y la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, por conducto de la Procuraduría Federal de Protección al Consumidor, en el ámbito de su competencia, son las autoridades encargadas de vigilar el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana.

6.- Sanciones. El incumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, su Reglamento en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y los demás ordenamientos jurídicos aplicables.

7.- Concordancia con normas internacionales. Esta Norma Oficial Mexicana entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

Nombre del Producto: Gasolina Magna Resto del País

Propiedad	Unidad	Método ASTM	Especificación
Peso específico a 20/4 °C		D-1298	Reportar
Destilación(2): Temperatura inicial de ebullición el 10% destila a el 50% destila a el 90% destila a Temperatura final de ebullición	°C °C °C °C °C	D-86	Reportar 65 máximo* 77 al 118* 190 máximo* 225 máximo
Residuo de la destilación	% volumen	D-86	2 máximo
Presión de Vapor Reid	lb/pulg ²	D-4953	9.0-10.0*
Temperatura a Relación V/L=20	°C	D-5188	56 mínimo*
Azufre mercaptánico	ppm	D-3227	20 máximo
Azufre	ppm	D-4294	1000 máximo
Prueba Doctor	-	D-4952	Negativa
Goma preformada	Kg/m	D-381	0.040 máximo
Periodo de inducción	Minutos	D-525	300 mínimo
Contenido de plomo	g/gal	D-3237	0.01máximo
Número de octano (RON) Número de octano (MON) Índice de octano (R+M)/2	- - -	D-2699 D-2700 D-2699 y D-2700	Reportar 82 mínimo 87 mínimo
fósforo	g/gal	D-3231	0.004 máximo
Aromáticos	% volumen	FIA D-1319	Reportar
Olefinas	% volumen	FIA D-1319	Reportar
Benceno	% volumen	D-3606	4.9 máximo
Color	-	Visual(3)	Rojo
Aditivo detergente	ppm	IMP-DG-15	165 mínimo

TABLA 1.2 Especificaciones de la gasolina Magna resto del País

Observaciones:

(1) Obligatoria en todo el país excepto la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y la Zona Frontera Norte*****

(2) Las temperaturas de destilación corresponden a la presión atmosférica de 101.3 kPa(760 mmHg)

(3) Para fines de comparación colóquense la muestra tipo y la Magna Sin en botellas de 4 onzas.

* Estas especificaciones solo aplican en los meses de Enero a Agosto.

Aunque el octano y la volatilidad son las normas más importantes relacionadas con la manejabilidad, hay otras normas sobre combustible cubiertas por las directivas ASTM.

Las tablas 1.3, 1.4 y 1.5 muestran las especificaciones de la gasolina y su influencia en el desempeño en vehículos, en el manejo y en el ambiente.

Propiedad	Objetivo
Volatilidad(Destilación, Presión de Vapor Reid)	Reducción de las perdidas de evaporación
Periodo de Inducción (Estabilidad a la Oxidación)	Evitar el envejecimiento y la degradación
Tendencia a la formación de Herrumbre	Evitar la corrosión excesiva de tuberías, tanques de almacenamiento, bombas, etc.

TABLA 1.3 Desempeño en el manejo

Propiedad	Objetivo
Octanaje	Asegurar el eficiente desempeño del motor
Corrosión a la lamina de cobre	Evitar el deterioro de los sistemas de manejo del combustible
Gomas Preformadas	Evitar la formación potencial de depósitos en el sistema de quemado del combustible
Volatilidad(Destilación, Presión de Vapor Reid, Relación V/L)	Garantizar el eficiente funcionamiento del motor
Aditivos Multifuncionales	

TABLA 1.4 Desempeño en vehículos

Propiedad	Objetivo
Contenido de azufre	Evitar el deterioro del convertidor catalítico
Contenido de aromáticos	Reducción de emisiones de hidrocarburos, CO, NOx
Contenido de benceno	Disminución de emisiones de compuestos tóxicos a la salud
Contenido de olefinas	
Contenido de plomo	
Volatilidad	
Aditivos Multifuncionales	

TABLA 1.5 Desempeño Ambiental

En el caso de la gasolina, las especificaciones o normas son un control de propiedades físicas, compromisos para permitir que la gasolina se comporte bien en una basta gama de automóviles y climas.

Estas normas generales cubren la más amplia gama posible de vehículos y circunstancias de funcionamiento. No obstante, incluso combustibles conformes a las especificaciones pueden contribuir a problemas de manejabilidad en algunos vehículos bajo ciertas condiciones operacionales. Cuando ocurren estos casos aislados pueden, por supuesto, plantearle dificultades al técnico para diagnosticar el problema e identificar el curso de acción apropiado.

CAPITULO II. CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO

LA CALIDAD ES EL LOGRO DE
LA SATISFACCION TOTAL
DEL CLIENTE
EL CONTROL ESTADÍSTICO
ES UNA HERRAMIENTA ESENCIAL EN
LA TAREA DÍFICIL DE LA CALIDAD..

2.1 CONTROL DE CALIDAD

Para esta investigación se consideran tres de las definiciones más usuales y sencillas de control de calidad se tratan de las siguientes:

Según K. Ishikawa, el control de calidad consiste en el desarrollo, diseño, producción y comercialización de productos y servicios con una eficacia del coste y una utilidad óptimas, todo ello equilibrado con una compra satisfactoria por parte de los clientes. En el **control de calidad total** se busca que todos los departamentos de la empresa tengan que empeñarse en crear sistemas que faciliten la cooperación y en preparar y poner en prácticas finalmente las normas internas.

Por otro lado, según las Normas Industriales Japonesas (norma JIS), el control de calidad se define como un sistema de métodos para la provisión coste-eficaz de bienes o servicios cuya calidad es adecuada a los requisitos del comprador. También esta definición contempla el control de calidad como una nueva manera de pensar en la dirección y de dirigir, y considera que la prueba en práctica eficaz del control de calidad requiere la participación y la cooperación de todos los empleados de una empresa, desde la alta dirección, pasando por los directivos medios y supervisores, hasta los trabajadores de base. Así mismo contempla que el control de calidad moderno ha de hacer uso de los métodos estadísticos, por lo que a veces se le denomina **control estadístico de calidad**.

Es importante mencionar el concepto de calidad y así mismo el de control por si solos para el mejor entendimiento del control de calidad.

Uno de los autores más prestigiosos del Control de Calidad fue Juran, que definió la **calidad** como:

Un conjunto de características de un producto que satisfacen las necesidades de los clientes y que en consecuencia hacen satisfactorio el producto.

Por otra parte, la Sociedad Americana para el control de calidad (A.S.Q.C) define la **calidad** como:

Un conjunto de características de un producto, proceso o servicio que le confieren su aptitud para satisfacer las necesidades del usuario o cliente.

Podemos definir **control** como:

La medición de los resultados actuales y pasados, en relación con los esperados, ya sea total o parcialmente, con el fin de corregir, mejorar y formular nuevos planes.

El control no es posible llevarlo si no existen “estándares” ó “especificaciones” de alguna manera prefijada y entre más precisa y cuantitativas serán de mejor utilidad.

Un producto o servicio es de calidad cuando satisface las necesidades del cliente o usuario en cuanto a **seguridad** (que el producto o servicio confiere al cliente), **fiabilidad** (capacidad que tiene el producto o servicio para cumplir las funciones especificadas sin fallo y por un periodo determinado de tiempo) y **servicio** (medida en que el fabricante y distribuidor responde en caso de fallo del producto o servicio).

2.2 HISTORIA DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

El inicio del control estadístico de calidad moderno se remonta a 1924 en Norteamérica, cuando en los laboratorios de la Bell Telephone se aplicaron por primera vez gráficos estadísticos para el control de calidad de productos manufacturados diseñados por Walter A. Shewart.

También en Gran Bretaña se realizaron investigaciones sobre control de calidad. En 1935 Pearson publicó artículos sobre control de calidad que sirvieron como base a la Norma Británica sobre calidad BS 600. Otros países europeos como Francia, Suiza y Alemania también empezaron a usar los métodos de control estadístico de la calidad.

En la década de los cuarenta comenzó el desarrollo y aplicación de tablas de muestreo para inspección, técnica que ya había sido iniciada a finales de la década de 1920 por Harod, Dodge y Roming, y que durante la década de los treinta fue utilizada por el sector manufacturero del sistema Bell.

Se publicaron tablas de muestreo para usos militares y se aprobó su empleo por las fuerzas armadas derivado de la segunda guerra mundial. En 1946 se formó la American Society for Quality Control (ASQC), que removi6 el uso de las técnicas del control de calidad para todos los tipos de productos y servicios, ofreciendo conferencias y desarrollando publicaciones técnicas y programas de adiestramiento para asegurar la calidad.

El Dr. Eduardo Deming, especialista en Estadística, visitó el Japón en 1950 y en una conferencia ante dirigentes de las grandes industrias, afirmó que si se implementaba en sus fábricas un adecuado control estadístico de calidad, la marca *Made in Japan* llegaría a convertirse en símbolo de alta calidad.

En 1954 el Dr. J. M. Juran, experto en control de calidad, difunde el entusiasmo por los métodos estadísticos y los sistemas de control de calidad en todo Japón.

El Dr. Kauro Ishikawa sirve de columna vertebral en estos programas de calidad y en 1960 instituye los primeros círculos de calidad en Japón.

También en las décadas de los cincuenta y sesenta se desarrollaron aspectos de control de calidad como los costes de la calidad y la ingeniería de la confiabilidad.

Apoyado por métodos estadísticos, el control de calidad nos permite evitar la producción de piezas defectuosas que darían lugar a desperdicios o a la necesidad de nueva fabricación, con la correspondiente pérdida de tiempo y dinero.

2.3 CONTROL ESTADISTICO

2.3.1 PREVENCIÓN EN VEZ DE DETECCIÓN

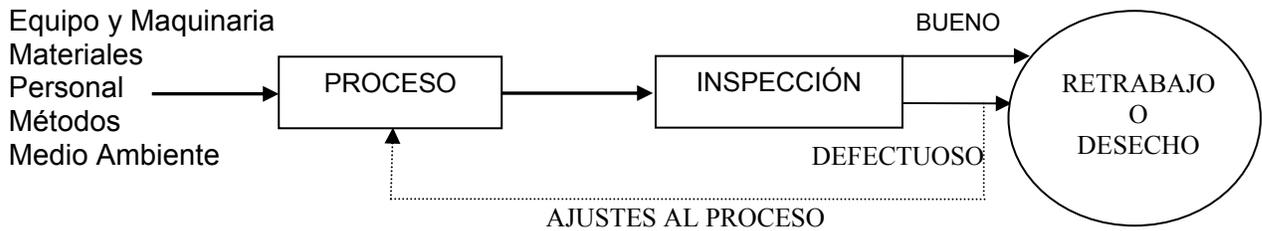
El Control Estadístico de procesos se enfoca a la prevención de problemas, en lugar de su detección.

El Control a través de la detección descansa fundamentalmente en algún tipo de inspección que separa el producto malo del bueno y esto representa gastos adicionales puesto que existe la necesidad de agregar trabajo en reparar el producto, cuando ello es factible, o bien, desecharlo.

Los ajustes al proceso se efectúan en base a la información proporcionada por el producto desechado o reparado.

Desafortunadamente, éste enfoque propicia el que haya desperdicio, ya que significa que tenemos que hacer el producto y luego revisar lo que tenemos que hacer para corregirlo. Toma tantos recursos el hacer un mal producto como el producir un producto bien hecho; e incluso, en el primer caso, necesitamos regresarnos para repararlo o desecharlo.

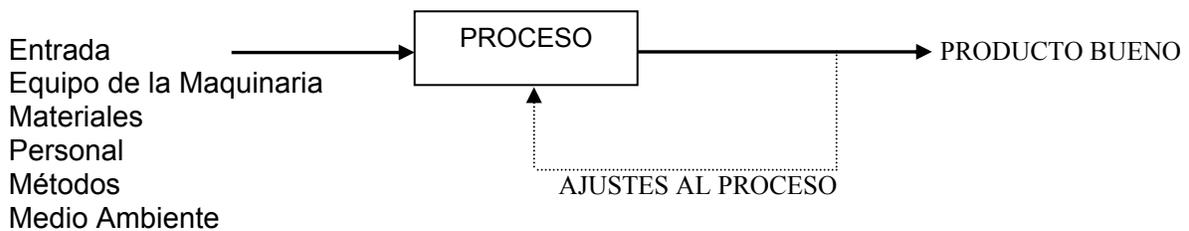
En éste enfoque la energía se concentra en la inspección masiva, en inspeccionar el producto terminado en lugar del proceso, aún cuando ahí fue donde se produjo el producto defectuoso.



CONTROL DEL PROCESO A TRAVES DE LA DETECCIÓN

El énfasis en el enfoque detección de defectos ha sido la inspección después de los hechos; en este sentido, se ha pensado que lo importante es que el producto cumpla con las especificaciones. Cuando se inspecciona se necesitan ciertos estándares contra los cuáles se puede comparar el producto. Entonces, se da por hecho que una vez que se ha alcanzado la especificación ya no puede haber posibilidades de mejora. En éste punto de vista impide que se busquen mejoras constantes en la calidad del producto.

Una alternativa diferente es el enfoque de sistemas llamado Prevención de Defectos, este enfoque hacia la prevención puede esquematizarse de la siguiente manera:



CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO EN SU FORMA IDEAL

2.3.2 LA VARIACIÓN EN LOS PROCESOS

En todos los procesos existe variación, esto es una realidad tal que prácticamente no existen dos cosas exactamente iguales en el mundo, debido precisamente a la variación.

El concepto de variación es el más importante para el control estadístico de procesos, por lo que debemos comprenderlo perfectamente antes de conocer las técnicas para controlarla, esta existe porque todos los elementos que participan en el proceso no son exactamente iguales todas las veces, es decir, en un proceso intervienen:

PERSONAL	Que no todos los días hacen las cosas exactamente igual.
MATERIALES	No son iguales todas las veces, máxime cuando un material proviene de proveedores distintos.
MEDIO AMBIENTE	En algunos procesos, las variaciones del medio ambiente afectan su comportamiento (humedad, temperatura, etc.)
MAQUINARIA	La maquinaria sufre desgastes, descalibraciones, etc., que hacen que su desempeño no sea siempre igual.
MÉTODOS O PROCEDIMIENTOS	La manera en que se llevan a cabo las actividades dentro del proceso tampoco son iguales todas las veces.

Si todos los elementos que participan en el proceso tienen variaciones, el resultado final es que el producto también va a tener variaciones.

Las diferencias entre los productos pueden ser muy grandes o pueden ser tan pequeñas que no puedan medirse, pero siempre están presentes.

Algunas fuentes de variación en el proceso causan diferencias en periodos de tiempo muy cortos, mientras otras fuentes de variación tienden a causar cambios en el producto solamente después de un largo periodo de tiempo; también pueden presentarse cambios gradualmente, como el desgaste de una herramienta o máquina, o paso a paso, por ejemplo al cambiar un procedimiento; puede también haber cambios irregulares.

Desde el punto de vista de requerimientos mínimos, el resultado de la variación es frecuentemente simplificado: Los productos dentro de las tolerancias de especificación son aceptados, los productos fuera de las tolerancias no son aceptados. Sin embargo, para dirigir cualquier proceso y reducir la variación, la variación debe analizarse en función de las fuentes que la ocasionan. El primer paso para lograr esto es hacer la distinción entre Causas Comunes o Aleatorias y Causas Especiales o Atribuibles de variación y el tipo de acciones que deben tomarse para cada caso con el propósito de reducir dicha variación.

1.- Causas Comunes o Aleatorias. Son aquellas causas que están presentes en el proceso siempre, constantemente y por lo tanto están generando variación en toda la producción.

Cuando un proceso se encuentra sujeto solamente a causas comunes de variación podemos decir que el comportamiento del mismo es estable estadísticamente, o en otras palabras es un proceso bajo control. Esto no significa necesariamente que el proceso está cumpliendo con sus requisitos de especificación, significa que solo es estable.

Este tipo de causas se deben a problemas que tienen que ver con el propio sistema y que generalmente no pueden ser solucionados por los operarios, dado que no son tareas de

ajustes o composturas, sino acciones de mayor fondo, y pueden ser solucionadas solamente con la intervención de la administración. Pero se requiere, generalmente, de decisiones que deben tomar las personas que son responsables de proporcionar servicios al área productiva y de administrar el sistema; sin embargo, las personas directamente relacionadas con la operación son quienes, algunas veces, están en una mejor posición para identificar estas causas y comunicarlas a las personas que puedan corregirlas. Entonces, la solución de las causas comunes de variación requiere generalmente de acciones sobre el sistema.

La magnitud de las causas comunes de variación también puede ser detectada a través de las técnicas de estadística, pero estas causas, por sí mismas, requieren de un análisis más detallado, ya que pueden implicar el cambio de un proceso de manufactura o el cambio de un proveedor que no está surtiendo el material que satisface las necesidades del cliente, etc.

2.- Causas Especiales o Atribuibles. Son aquellas que no están presentes siempre, sino que aparecen de repente y generan un descontrol, por lo tanto no afectan la totalidad de lo producido, sino solamente la parte que se produjo mientras estuvo presente la causa especial.

Se dice que un proceso en el que aparecen causas especiales de variación, es un proceso fuera de control, este tipo de causas casi siempre pueden ser corregidas por el operario de la máquina al momento en que se presenta; sin embargo, corregirla cuando se presenta no es suficiente, debe tratarse de identificar aquellas causas especiales que se presentan frecuentemente para prevenir su ocurrencia o al menos hacer que su efecto sea mínimo.

Estas causas pueden ser detectadas a través de las técnicas de estadística, no son comunes a todas las operaciones involucradas. El descubrimiento de una causa especial de variación y su arreglo es, usualmente, responsabilidad de alguien que está directamente conectado con la operación. Entonces, la solución de una causa especial de variación requiere generalmente de una acción local.

Algunos ejemplos de esta causa son: maquina descalibrada, pieza rota, lote de materiales defectuosos, falla mecánica o eléctrica, paros de línea, instrumento de medición descalibrado, etc.

2.4 CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO

El Control Estadístico del Proceso es el uso de técnicas de estadística, tales como las gráficas de control, para analizar un proceso, de tal manera que puedan tomarse las acciones apropiadas para lograr y mantener un proceso en control y para mejorar la habilidad del proceso. El estado de control estadístico es la condición que describe un proceso en el que han sido eliminadas todas las causas especiales de variación y únicamente permanecen las causas comunes, pero un estado de control estadístico no es un estado natural de un proceso, de manufactura, implica un logro, implica alcanzar la eliminación de cada una de las causas especiales de excesiva variación de un proceso y prevenir su repetición.

También, el Control Estadístico de Procesos tiene como finalidad el auxilio en la percepción de tendencias en los procesos, de manera que pueda predecirse su comportamiento en el plazo inmediato y se puedan tomar acciones correctivas a las causas de variación y establecer medidas preventivas permanentes, que además de evitar la producción de artículos o trabajos defectuosos, permitan ir mejorando el proceso gradualmente.

La información que proporcionan las técnicas empleadas tiene validez probabilística basada en la historia del proceso.

Puede decirse que el Control Estadístico de Proceso es básicamente la forma de acumular conocimientos y experiencia, de una manera coherente y consistente en relación al comportamiento de un proceso, para estar en condiciones de modificar los factores de entrada que permitan obtener un resultado conforme a las expectativas.

Es muy importante señalar tres conceptos básicos para el Control Estadístico de Procesos:

- 1.-El estado de control estadístico no es natural para un proceso productivo, más bien, ello es un logro alcanzado por la eliminación de las causas de variación, una por una.
- 2.-El control estadístico debe usarse para alcanzar la mejora continua de los procesos más que el simple cumplimiento con las especificaciones.
- 3.- La mejora continua de los procesos se deriva del uso permanente de las gráficas de control, de su adecuada interpretación y del uso de la información que de ellas se deriva para instituir los controles del proceso necesarios.

La aplicación práctica del Control Estadístico del Proceso requiere la utilización de datos generados por el proceso que se desea controlar, para conocer el comportamiento de un proceso cualquiera, se tienen tres posibles opciones:

- a) Observar y medir el comportamiento del proceso tomando una pieza producida y en base a dicha observación asumir el comportamiento del proceso.
- b) Observar y medir la totalidad de lo producido en el proceso para obtener una verdadera realidad de su comportamiento.
- c) Observar parte de lo producido en el proceso y utilizar esa información para inferir el verdadero comportamiento del mismo.

A continuación se presenta los resultados de elegir las opciones anteriores:

Si se selecciona la opción a) estaríamos cometiendo un grave error dado que una pieza producida no puede representar el comportamiento de todas las demás piezas que el proceso ha producido durante un periodo de tiempo.

Si seleccionamos la opción b) estaríamos conociendo el verdadero comportamiento del proceso, dado que observaríamos y mediríamos la totalidad de lo producido, es decir, lo que se conoce en términos estadísticos como la población total o universo, aunque estadísticamente es la opción con menor riesgo de error, en términos prácticos es una opción imposible de llevar a cabo, en lugar de observar la población completa lo que debemos hacer es utilizar la opción c), es decir, tomar una parte de lo producido y en base al comportamiento de esos datos suponer o inferir el comportamiento de el total, a esta actividad se le llama **muestrear el proceso** y al conjunto de productos seleccionados del total de los producidos se le llama **muestra**.

La función de una muestra es representar a la población total de donde fue extraída, cuando una muestra es representativa del total se conoce como **muestra estadística**.

Los datos son la información que se obtiene acerca del comportamiento del proceso y se grafican con la finalidad de obtener la información estadística y poder analizar tendencias.

A continuación se presentan los diferentes tipos de datos que son útiles en el estudio de las características de calidad o variables de salida:

a) Datos variables: Se refieren a mediciones reales junto con una escala de una característica de calidad o propiedad del proceso capaz de ser medida y son expresados en unidades básicas de: Distancia, Masa, Tiempo, Corriente eléctrica, Temperatura, Intensidad Luminosa, u otras, resultantes de la combinación de éstas o de cualesquier unidades.

b) Datos por atributos: Un atributo es una propiedad o características, al juzgar datos por atributos se verifica si la característica está o no presente, o cual de dos características antagónicas entre sí está presente en lo que se está evaluando. Los datos por atributos se resumen a dos alternativas. Ejemplos de estas alternativas son: Bueno-Malo, Pasa-No pasa, lleso-Dañado, Igual patrón-Diferente al patrón.

Los datos por atributos se emplean cuando el medir resulta muy costoso, consume demasiado tiempo y resultaría impráctico obtener datos variables.

c) Datos Híbridos: Son aquellos que se obtienen de la estratificación dentro del intervalo formado por las categorías extremas en los datos por atributos acerca del grado de adecuación del producto. Ejemplo de ello son aquellas características cuyo juicio es un tanto subjetivo, puesto que no existe método preciso de medición, tal sería el caso en la medición de la tesura de una tela o del confort de un asiento, en estos casos lo más adecuado resulta designar personas que “califiquen” el resultado.

En el Control Estadístico del Proceso se ocupan las herramientas siguientes:

1.- Diagrama de Pareto. El Diagrama de Pareto es una gráfica en donde se organizan diversas clasificaciones de datos por orden descendente, de izquierda a derecha por medio de barras sencillas después de haber reunido los datos para calificar las causas. De modo que se pueda asignar un orden de prioridades.

Mediante el Diagrama de Pareto se pueden detectar los problemas que tienen más relevancia mediante la aplicación del principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales) que dice que hay muchos problemas sin importancia frente a solo unos graves. Ya que por lo general, el 80% de los resultados totales se originan en el 20% de los elementos.

2.- Histogramas. Presentación de datos en forma ordenada con el fin de determinar la frecuencia con que algo ocurre.

El Histograma muestra gráficamente la capacidad de un proceso, y si así se desea, la relación que guarda tal proceso con las especificaciones y las normas.

También da una idea de la magnitud de la población y muestra las discontinuidades que se producen en los datos.

2.5 GRÁFICA DE CONTROL

La gráfica de control es una herramienta útil para estudiar la variación, así mismo es una representación gráfica de la variación en la estadística calculada en el proceso.

El objetivo básico de una gráfica de control es observar y analizar con datos estadísticos la variabilidad y el comportamiento de un proceso a través del tiempo. Esto permitirá distinguir entre variaciones por causas comunes y especiales (atribuibles), lo que ayudará a cauterizar el funcionamiento del proceso y así decidir las mejores acciones de control y de mejora. Cuando se habla de variabilidad nos referimos principalmente, a las variables de salida (características de calidad), pero las graficas también pueden aplicarse a analizar la variabilidad de alguna variable de entrada o del control del proceso mismo.

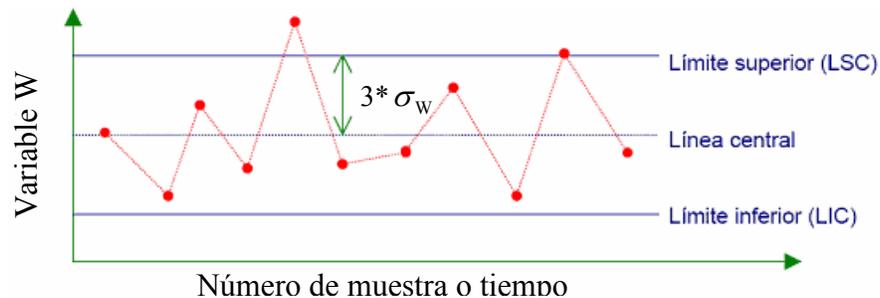


FIGURA 2.1 Gráfica de control

En la figura 2.1 se muestra una típica gráfica de control donde el objetivo principal es analizar de donde a donde varía y cómo varía el estadístico W a través del tiempo. Los valores que va tomando W se representan por un punto y éstos se unen con una línea recta. La línea central representa el promedio de W, que lo mismo puede ser una media, un rango, un porcentaje, etc.

Una gráfica de control indica que es un *proceso estable* (bajo control estadístico) cuando sus puntos caen dentro de límites de control y fluctúan o varían aleatoriamente a lo ancho de la carta, con mayor frecuencia caen cerca de la línea central. Para facilitar la identificación de patrones no aleatorios lo primero que se hace es dividir la carta de control en seis zonas o bandas iguales.

Los límites de control, inferior y superior, definen el inicio y final del rango de variación de W, de forma que cuando el proceso está en control estadístico, haya una alta probabilidad de que prácticamente todos los valores de W caigan dentro de los límites. Por ello, si se observa un punto fuera de los límites de control, será señal de que ha ocurrido algo fuera de lo usual en el proceso. Por lo contrario, si todos los puntos están dentro de los límites y no tienen algunos patrones de comportamiento, entonces será señal de que en el proceso no ha ocurrido ningún cambio fuera de lo común, y funciona de manera estable (que está en control estadístico). Y así, la carta se convierte en una herramienta para detectar cambios en los procesos.

Si dejamos al margen el estudio de posibles patrones no aleatorios en el gráfico de control, podemos considerar que éste es más que un contraste de hipótesis en el que podemos considerar como hipótesis nula H_0 el hecho de que el proceso está bajo control estadístico.

El que un punto se ubique entre los límites de control es equivalente a no poder rechazar la hipótesis nula H_0 ; por el contrario, el que un punto se ubique fuera de los límites de control equivale al rechazo de la hipótesis del control estadístico.

2.5.1 LOS LÍMITES DE CONTROL

La selección a los límites de control equivale pues a determinar la región crítica para probar la hipótesis nula H_0 de que el proceso está bajo control estadístico: alejando dichos límites de la línea central se reduce (o probabilidad de cometer un error de tipo I, que un punto caiga fuera de los límites de control sin que haya una causa especial), si bien también se eleva con ello (o riesgo de cometer un error tipo II, que un punto caiga entre dichos límites cuando el proceso se encuentra en realidad fuera de control).

Los límites de una grafica de control no son las especificaciones, tolerancias o deseos para el proceso. Por lo contrario éstos se calculan a partir de la variación del estadístico (datos) que se representa en la carta.

Para calcular los límites de control se debe proceder de forma que, bajo condiciones de control estadístico, los datos que se grafican en la carta tengan alta probabilidad de caer dentro de tales límites. Por lo que una forma de proceder es encontrar la distribución de probabilidades de la variable, estimar parámetros y ubicar los límites de forma que un alto porcentaje (99.73%) de la distribución está dentro de ellos. Esta forma de proceder se conoce como *límites de probabilidad*.

Una forma más sencilla y usual se obtiene a partir de la relación entre la media y desviación estándar de W , que para el caso que W se distribuya normal con media μ_w y desviación estándar σ_w , y bajo condiciones de control estadístico, se tiene que entre $\mu_w - 3\sigma_w$ y $\mu_w + 3\sigma_w$ se encuentra 99.73% de los posibles valores de W .

En el caso de que no se tenga distribución normal, pero se tiene una distribución unimodal y con forma no muy distinta a la normal, entonces se aplica la regla empírica o la extensión del teorema de *Tchebyshev* (véase habilidad de proceso). Bajo estas condiciones un modelo general para una carta de control es el siguiente.

Sea W el estadístico que se va a graficar en la grafica y supongamos que su media es μ_w y su desviación estándar σ_w , entonces el límite de control inferior (LCI), la línea central y el límite de control superior (LCS) están dados por:

$$\text{LCI} = \mu_w - 3\sigma_w$$

$$\text{Línea central} = \mu_w$$

$$\text{LCS} = \mu_w + 3\sigma_w$$

Con estos límites y bajo condiciones de control estadístico se tendrá alta probabilidad de que los valores de W están dentro de ellos. En particular, si W tiene distribución normal, tal probabilidad será de 0.99873, con lo que se espera que bajo condiciones de control sólo 27 puntos de 10 000 caigan fuera de los límites.

La forma de estimar la media y la desviación estándar de W a partir de las observaciones del proceso dependerá del tipo de estadístico que sea W ; ya sea un promedio, un rango o un porcentaje.

Tiene una gran ventaja sobre el método de las distribuciones de las frecuencias al presentar datos, la gráfica de la frecuencia de observaciones muestra la calidad total y la forma de la variación durante el periodo de tiempo muestreado, pero no indica cómo o cuándo se produjo esa variación. La ventaja de la gráfica de control sobre el histograma está en el uso de límites. La gráfica de observaciones fluctuantes muestra la cantidad y naturaleza de la variación en el tiempo, pero depende de la escala y no indica la presencia o ausencia de control estadístico. La gráfica de control muestra la cantidad y naturaleza de la variación en el tiempo, indica control estadístico o la falta de él y permite la interpretación y detección del patrón de cambios en el proceso en estudio.

Para construir una gráfica de control, es importante distinguir el tipo de datos a graficar pueden ser: datos continuos, datos discretos, dicha gráfica dependerá del tipo de datos.

Para la utilización de las gráficas se requiere un procedimiento específico:

- 1.- Decidir la gráfica de control a emplear
- 2.- Construir gráficas de control para el control estadístico del proceso
- 3.- Controlar el proceso, si aparece una anomalía sobre la gráfica de control, investigar inmediatamente las causas y tomar acciones apropiadas.

Existen dos tipos generales de cartas de control: para variables y para atributos.

2.5.2 GRÁFICA DE CONTROL PARA ATRIBUTOS

Existen muchas características de calidad que no son medidas con un instrumento de medición en una escala continua o al menos en una escala numérica. En estos casos, el producto o proceso se juzga como conforme o no conforme, dependiendo de si posee ciertos atributos.

Entre los diagramas de control por atributos más importantes tenemos los siguientes:

*Gráfico de la proporción de unidades defectuosas o gráfico **p**.

*Gráfico del número de unidades defectuosas o gráfico **np**.

*Gráfico del número de defectos **c**.

*Gráfico del número de defectos por unidad **u**.

Los diagramas por **atributos** son apropiados en los casos siguientes:

- Los operarios controlan las causas atribuibles y es necesario reducir el rechazo del proceso.
- El proceso es una operación de montaje complicada, y la calidad del producto se mide en términos de la ocurrencia de disconformes, del funcionamiento exitoso o fallido del producto.
- Se necesita un control del proceso, pero no se pueden obtener datos de mediciones.
- Casos en los que se necesita un resumen histórico del funcionamiento del proceso.

Una gráfica de control por atributos es la gráfica de control del porcentaje o gráfica p . Se usa aquí para demostrar el comportamiento básico de la variación de atributos en muestras tomadas de un proceso que tiene un nivel estable del porcentaje de ciertas características.

Comportamiento de la variación de atributos:

Trazamos la gráfica de control para reconocer patrones constantes de variación. Cuando la variación observada no cumple los criterios de patrones acumulados, la gráfica lo indica. Una gráfica de control indica cuándo se debe tratar de localizar las causas asignables.

La colocación de límites de variación esperados respecto a un patrón de observación fluctuante distingue a la gráfica de control y le da capacidad analítica.

2.5.3 GRÁFICA DE CONTROL PARA VARIABLES

Las gráficas de control para variables se aplican a características de calidad de tipo continuo, que intuitivamente son aquellas que requieren un instrumento de medición, y no la presencia de un atributo.

Entre los diagramas de control para variables más importantes tenemos los siguientes:

*Gráfico de medias \bar{X}

*Gráfico de rangos **R**

*Gráfico de desviaciones típicas **S**

*Gráfico de medianas \bar{X}^2

*Gráfico de individuos **X**

En muchos casos será necesario utilizar simultáneamente los gráficos de \bar{X} y **R**, o también los gráficos de \bar{X} y **S**, o incluso los gráficos de \bar{X}^2 y **R**.

En cuanto a la elección del tipo adecuado de diagrama de control, los diagramas de control por variables de \bar{X} y **R** o de \bar{X} y **S** son apropiados en los siguientes casos:

- Se introduce un nuevo proceso, o bien se fabrica un nuevo producto mediante un proceso ya existente.
- El proceso ha estado funcionando durante algún tiempo, pero tiene problemas crónicos o no puede cumplir con las tolerancias especificadas.
- El proceso tiene problemas, y el diagrama de control puede ser útil para fines de diagnóstico.
- Se necesitan pruebas destructivas (u otros procedimientos de prueba costosos).
- Es conveniente reducir al mínimo el muestreo para aceptación u otras pruebas cuando el proceso se puede manejar bajo control.
- Se han utilizado gráficas de control de atributos, pero el proceso está fuera de control o bajo control pero con producción inaceptable.
- Procesos con especificaciones estrechas, tolerancias de montaje traslapadas, u otros problemas de manufactura difíciles.

Los diagramas de control por variables relativos al número de **individuos X** son apropiados en los casos siguientes:

- Procesos en los que es inconveniente o imposible obtener más de una medición por muestra, o cuando mediciones repetidas difieren solo por errores de laboratorio o de análisis. Esto ocurre a menudo en los procesos químicos.
- Procesos en los que la tecnología de pruebas e inspección automatizadas permite medir todas las unidades producidas.
- Situaciones en las que los datos se obtienen muy despacio y no sería práctico esperar una muestra mayor, lo que además haría el procedimiento de control demasiado lento para reaccionar los problemas.

2.5.3.1 Gráfica de Control \bar{X} -R

Si un proceso es de tipo masivo y además las variables de salida de estos procesos son de tipo continuo, entonces estamos ante el campo ideal de aplicación de las gráficas de control \bar{X} -R.

La idea es la siguiente: imaginamos que a la salida del proceso fluyen (uno a uno o por lotes) las piezas resultantes del proceso, cada determinado tiempo o cantidad de piezas se toma un número pequeño de piezas (subgrupo) a las que se les medirá una o más características de calidad. Con las mediciones de cada subgrupo se calculará la media y el rango, de modo que cada periodo de tiempo (media hora por ejemplo) se tendrá una media y un rango que aportarán información sobre la tendencia central y la variabilidad del proceso, respectivamente.

Con la gráfica \bar{X} se analiza la variación entre las medias de los subgrupos, para así detectar cambios en la media del proceso, como los que se muestran en la figura 2.2, mientras que con la gráfica R se analiza la variación entre los rangos de los subgrupos lo que permite detectar cambios en la amplitud o magnitud de la variación del proceso, como se ilustra en la figura 2.3

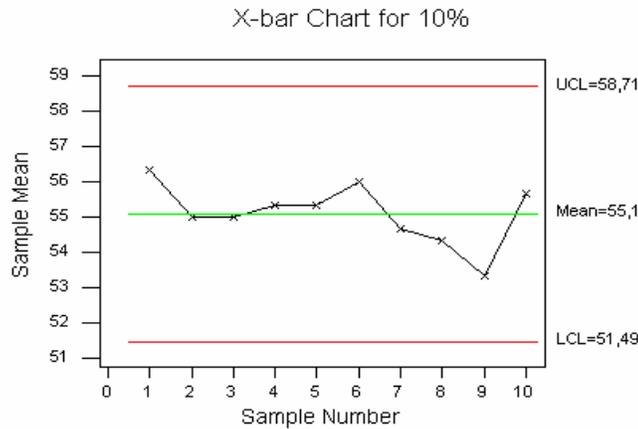


FIGURA 2.2 Gráfica de Control \bar{X}

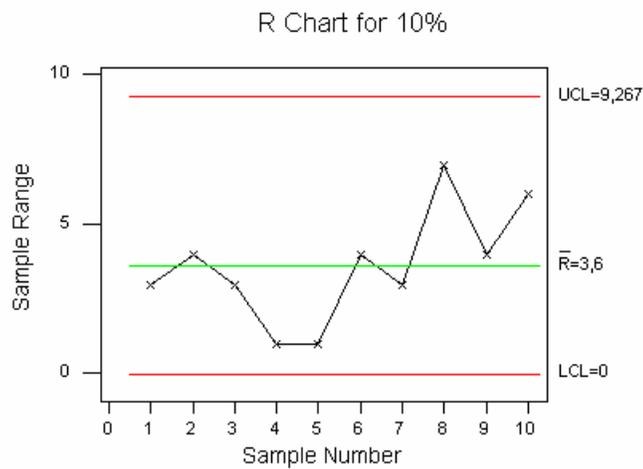


FIGURA 2.3 Gráfica de Control R

Cabe comentar respecto a las figuras 2.2 y 2.3, al sostener que el proceso es estable, se está afirmando que es predecible sobre el futuro inmediato y por tanto no necesariamente la distribución o comportamiento del proceso tiene la forma de campana como se sugiere en las figuras referidas. Por lo tanto que podría ser una curva con sesgo o incluso otras formas más inusuales, lo afirmado es que se mantiene sobre el tiempo. Claro que si la forma es poco usual, se recomienda investigar la causa, y ver si esa circunstancia mejora el desempeño del proceso.

Los límites de control de las cartas están determinados por la media y desviación estándar del estadístico W que se grafica en la carta, mediante la expresión $\mu_w \pm 3\sigma_w$. En el caso de la carta \bar{X} el estadístico W que se grafica es la media de las muestras, \bar{X} , por lo que los límites están determinados por

$$\mu_{\bar{x}} \pm 3\sigma_{\bar{x}}$$

donde $\mu_{\bar{x}}$ significa la media de las medias, y $\sigma_{\bar{x}}$ la desviación estándar de las medias, que en un estudio inicial se estiman de la siguiente manera:

$$\mu_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} \quad \text{y} \quad \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

donde $\bar{\bar{X}}$ es la media de las medias de los subgrupos, σ la desviación estándar del proceso y es la que indica qué tan variables son las mediciones individuales, y n es el tamaño de subgrupo. Como por lo general en un estudio inicial no se conoce σ , ésta puede estimar de varias maneras. Directamente a través de la desviación estándar, S . Sin embargo, hacerlo de esta forma incluiría la variabilidad entre muestras y dentro de muestras (σ de largo plazo), y para la carta \bar{X} es más apropiado sólo incluir la variabilidad dentro de muestras (σ de corto plazo). La alternativa que sólo incluye la variabilidad dentro de muestras y que se utiliza cuando el tamaño de subgrupo es menor que 10, consiste en estimar σ mediante la media de los rangos de los subgrupos \bar{R} , de la siguiente manera:

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

donde d_2 es una constante que depende del tamaño de subgrupo o muestra. En la tabla 2.1 se dan varios valores de d_2 para distintos valores de n . De esta manera,

$$3\sigma_{\bar{x}} = 3 \left(\frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}} \right) = \frac{3}{d_2 \sqrt{n}} \bar{R} = A_2 \bar{R}$$

es una estimación de 3 veces la desviación estándar de las medias, que se ha simplificado al sustituir $\frac{3}{d_2 \sqrt{n}}$ por la constante A_2 , que está tabulada en la tabla 2.1 y que depende del tamaño de subgrupo n . Con base en lo anterior, los límites de control para una carta de control \bar{X} , en un estudio inicial, se obtienen de la siguiente manera

$$\text{LCS} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad (1)$$

$$\text{Línea central} = \bar{\bar{X}} \quad (2)$$

$$\text{LCI} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \quad (3)$$

Cuando por algún medio ya se conoce la media, μ , y la desviación estándar del proceso, σ , entonces los límites de control para la carta de medias están dados por:

$$LCS = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Línea central} = \mu$$

$$LCI = \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Estos límites reflejan la variación esperada para las medias muestrales de tamaño n , mientras el proceso no tenga cambios importantes y son utilizados para detectar cambios en la media del proceso y para evaluar su estabilidad, de ninguna manera se deben utilizar para evaluar la capacidad, puesto que: estos límites de control no son los de especificaciones o tolerancias, ya que mientras que los primeros se han calculado a partir de la información del proceso, las especificaciones son fijadas desde el diseño del producto.

Los límites de control en una carta de medias tampoco son igual a los límites reales o naturales del proceso, están dados por:

$$\text{Límite real superior} = \mu + 3\sigma$$

$$\text{Límite real inferior} = \mu - 3\sigma$$

Y reflejan la variación esperada para las mediciones individuales, y no para la media de n mediciones.

La interpretación correcta de los límites de control es de especial relevancia para una adecuada aplicación de la carta \bar{X} , ya que de lo contrario se caerá en el error de confundir los límites de control con las especificaciones o con los límites reales. Estos errores generalmente traen como consecuencia que se trate de utilizar la carta para evaluar capacidad, cuando se debe usar para analizar estabilidad y detectar cambios en la media del proceso de manera oportuna.

Por último, aunque los límites de control de una carta \bar{X} se deducen a partir del supuesto de normalidad, si la característica de calidad no sigue una distribución normal, la carta \bar{X} sigue teniendo un buen desempeño para detectar cambios significativos en la tendencia central de la característica de calidad, lo anterior debido al teorema central del límite.

Con esta carta se detectarán cambios en la amplitud de la variación del proceso, y sus límites se determinan a partir de la media y la desviación estándar de los rangos de los subgrupos, ya que en este caso es el estadístico W que se grafica en la carta R . Por ello los límites se obtienen con la expresión:

$$\mu_R \pm 3\sigma_R$$

donde μ_R significa la media de los rangos, y σ_R la desviación estándar de los rangos, que en un estudio inicial se estiman de la siguiente manera:

$$\mu_R = \bar{R} \quad \text{y} \quad \sigma_R = d_3 \sigma \approx d_3 \left(\frac{R}{d_2} \right)$$

donde \bar{R} es la media de los rangos de los subgrupos, σ la desviación estándar del proceso, d_3 es una constante que depende del tamaño de subgrupo, que está tabulada en la siguiente tabla: Como por lo general en un estudio inicial no se conoce σ , ésta puede

estimarse a través de $\frac{\bar{R}}{d_2}$, como ya lo habíamos explicado antes. En forma explícita los

límites de control para la carta R se calculan con:

$$LCI = \bar{R} - 3 d_3 \left(\frac{\bar{R}}{d_2} \right) = \left[1 - 3 \left(\frac{d_3}{d_2} \right) \right] \bar{R} = D_3 \bar{R} \quad (4)$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} \quad (5)$$

$$LCS = \bar{R} + 3 d_3 \left(\frac{\bar{R}}{d_2} \right) = \left[1 + 3 \left(\frac{d_3}{d_2} \right) \right] \bar{R} = D_4 \bar{R} \quad (6)$$

Donde se han introducido las constantes D_3 y D_4 , para simplificar los cálculos, están tabulados en la tabla 2.1 para diferentes tamaños de subgrupo, n.

Estos límites reflejan la variación esperada para los rangos muestrales de tamaño n, mientras el proceso no tenga un cambio significativo. Estos límites son utilizados para detectar cambios en la amplitud o magnitud de la variación del proceso y para ver qué tan estable permanece a lo largo del tiempo, de ninguna manera se deben utilizar para evaluar la capacidad.

2.5.3.2 Gráfica de Control \bar{X} -S

Cuando con una gráfica \bar{X} -R se quiere tener mayor potencia para detectar cambios pequeños en el proceso, se incrementa el tamaño de subgrupo, n. Pero si $n > 10$, la carta de rangos ya no es una carta eficiente para tales propósitos, en estos casos se recomienda utilizar la carta \bar{X} -S en lugar de la carta R. A cada subgrupo de productos se le calcula su media, \bar{X} , y su desviación estándar, S; y con la carta \bar{X} se analizará el comportamiento de las medias para detectar cambios en la tendencia central del proceso, y en la carta S se graficarán las desviaciones estándar de los subgrupos para detectar cambios en la amplitud de la dispersión del proceso.

Estos límites se determinan a partir de la media y la desviación estándar de S, ya que en este caso es el estadístico W que se grafica. Por ello los límites se obtienen con la expresión:

$$\mu_S \pm 3\sigma_S$$

donde μ_S significa la media o valor esperado de S, y σ_S la desviación estándar de S, y están dados por

$$\mu_S = c_4\sigma \text{ y } \sigma_S = \sigma\sqrt{1-c_4^2}$$

donde σ es la desviación estándar del proceso y c_4 es una constante que depende del tamaño de subgrupo y está tabulada en la tabla 3. Como por lo general en un estudio inicial no se conoce σ , ésta puede estimarse, ya no a través del método de rangos, sino ahora con:

$$\sigma \approx \frac{\bar{S}}{c_4}$$

donde \bar{S} es la media de las desviaciones estándar de los subgrupos. La razón de que σ no se estime directamente con el promedio de las desviaciones estándar, es que \bar{S} no es un estimador insesgado de σ , es decir, la esperanza matemática de \bar{S} , $E(\bar{S})$, no es igual a σ , más bien $E(\bar{S}) = c_4\sigma$. Por ello, al dividir entre la constante c_4 , se convierte en un estimador insesgado. De esta manera los límites de control para una carta S están dados por:

$$LCS = \bar{S} + 3 \frac{\bar{S}}{c_4} \sqrt{1-c_4^2}$$

$$\text{Línea central} = \bar{S}$$

$$LCI = \bar{S} - 3 \frac{\bar{S}}{c_4} \sqrt{1-c_4^2}$$

La forma en que ahora se ha estimado σ , modifica la forma de obtener los límites de control en la carta \bar{X} cuando ésta es acompañada de la carta S. En este caso se obtienen de la siguiente manera:

$$LCS = \bar{X} + 3 \frac{\bar{S}}{c_4\sqrt{n}}$$

$$\text{Línea central} = \bar{X}$$

$$LCI = \bar{X} - 3 \frac{\bar{S}}{c_4\sqrt{n}}$$

Estos límites reflejan la variación esperada para las desviaciones estándar de muestras de tamaño n , mientras el proceso no tenga cambios importantes, y por tanto son útiles para detectar cambios significativos en la magnitud de la variación del proceso.

Tamaño de muestra, n	Carta \bar{X} A2	d_3	Carta R D3	D4	Carta S c4	Estimación de σ d2
2	1.880	0.853	0.0000	3.2686	0.7979	1.128
3	1.023	0.888	0.0000	2.5735	0.8862	1.693
4	0.729	0.880	0.0000	2.2822	0.9213	2.059
5	0.577	0.864	0.0000	2.1144	0.9400	2.326
6	0.483	0.848	0.0000	2.0039	0.9515	2.534
7	0.419	0.833	0.0758	1.9242	0.9594	2.704
8	0.373	0.820	0.1359	1.8641	0.9650	2.847
9	0.337	0.808	0.1838	1.8162	0.9693	2.970
10	0.308	0.797	0.2232	1.7768	0.9727	3.078

Tabla 2.4 Factores para la construcción de las cartas de control

2.5.3.3 Gráfica de Individuales

La gráfica de individuales es un diagrama para variables de tipo continuo, pero en lugar de aplicarse a procesos semi masivos o masivos como es el caso de la carta \bar{X} -R, se aplica a procesos lentos, en los cuales para obtener una medición o una muestra de la producción se requieren periodos relativamente largos. Ejemplos de este tipo de procesos son:

- Procesos químicos que trabajan por lotes.
- Industria de bebidas alcohólicas, en las que deben pasar desde una hasta más de 100 horas para obtener los resultados de los procesos de fermentaciones y destilación.
- Procesos en los que las mediciones cercanas sólo difieren por el error de medición. Por ejemplo, temperaturas en procesos.
- Algunas variables administrativas, cuyas mediciones se obtienen cada día, cada semana o más. Por ejemplo: mediciones de productividad, de desperdicio, de consumo de agua, electricidad, combustibles, etc.

En estos casos la mejor alternativa es usar una carta de individuales, donde cada medición particular de la variable que se quiere analizar se registra en una carta.

Para determinar los límites de control se procede igual que en los casos anteriores, mediante la estimación de la media y la desviación estándar del estadístico W que se grafica en la carta, que en este caso es directamente la medición individual de la variable X .

Los límites se obtienen con la expresión $\mu_x \pm 3\sigma_x$. Donde μ_x y σ_x son la media y la desviación estándar del proceso, respectivamente. Es decir, los límites de control en este caso coinciden por definición con los límites reales. Los cuales son:

$$\mu_x = \bar{X} \quad \text{y} \quad \sigma_x = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{\bar{R}}{1.128}$$

donde \bar{X} es la media de las mediciones de los subgrupos, y \bar{R} es la media de los rangos móviles de orden 2, al dividir el rango promedio entre la constante d_2 se obtiene una estimación de la desviación estándar del proceso, σ .

Por lo tanto los límites de control para estas cartas son:

$$\bar{X} \pm 3 \left(\frac{\bar{R}}{1.128} \right)$$

Desventajas de la gráfica de individuales:

Una de las desventajas de la carta de individuales es su menor potencia o sensibilidad para detectar cambios en el proceso, comparada con la carta de medias.

Otra desventaja es que si la distribución de la característica de calidad analizada con la carta de individuales se desvía mucho de la distribución normal, entonces los criterios de interpretación de la carta se pueden ver afectados seriamente.

La figura 2.5 muestra un ejemplo de la gráfica de control individual.

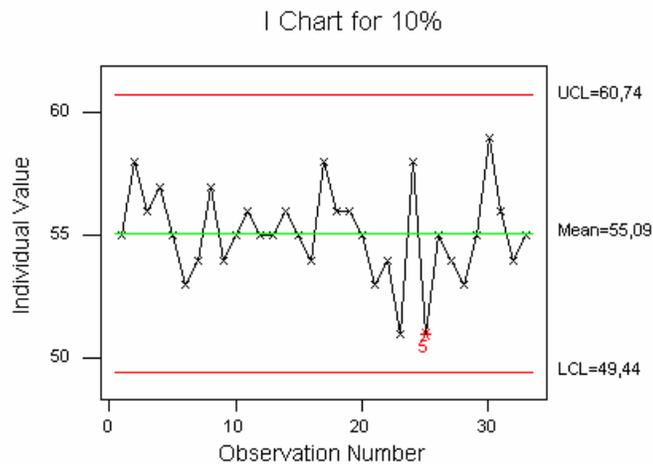


FIGURA 2.5 Gráfica de Control Individuales

2.6 PATRONES DE VARIACIÓN

A continuación se presenta cada uno de los patrones que hacen que un proceso esté operando con causas especiales de variación, se especificarán las razones comunes por las cuales pueden ocurrir dichos comportamientos.

Patrón 1. Desplazamientos o cambios en el nivel del proceso. Este patrón ocurre cuando uno o más puntos se salen de los límites de control o cuando hay una tendencia larga y clara a que los puntos consecutivos caigan de un solo lado de la línea central (véase figura 2.10). Estos cambios especiales pueden ser por:

- La introducción de nuevos trabajadores, máquinas, materiales o métodos.
- Cambios en los métodos de inspección.
- Una mayor o menor atención de los trabajadores.
- Que el proceso ha mejorado (o empeorado).

Cuando este patrón ocurre en las gráficas \bar{X} , p , np , u o c , se dice que hubo un cambio en el nivel promedio del proceso; por ejemplo en las gráficas de atributos eso significa que el nivel

promedio de disconformidades se incrementó o disminuyó; mientras que en la gráfica \bar{X} un cambio de nivel significa que el centrado del proceso tuvo cambios. En la carta R y S un cambio de nivel significa que la variabilidad aumentó o disminuyó, aunque por la falta de simetría de la distribución de R y S, este patrón del lado inferior de estas cartas se debe ver con más reservas y esperar a acumular más puntos por debajo de la línea central para declarar que hay un cambio significativo.

Los criterios usuales para ver si este patrón se ha presentado son:

- Un punto fuera de los límites de control.
- Hay una tendencia clara y larga que los puntos consecutivos caigan de un solo lado de la línea central.

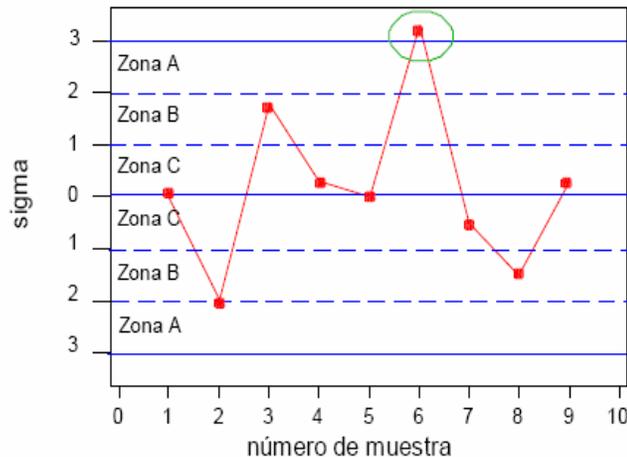


FIGURA 2.6 Gráfica de desplazamiento o cambios en el nivel del proceso

Patrón 2. Tendencias en el nivel del proceso. Este patrón consiste en una tendencia a incrementarse (o disminuirse) los valores de los puntos en la carta, como se aprecia en la figura 2.6. Una tendencia ascendente o descendente bien definida y larga se puede deber a algunas de las siguientes causas especiales:

- El deterioro o desajuste gradual del equipo de producción.
- Desgaste de las herramientas de corte.
- Acumulación de productos de desperdicios en las tuberías.
- Calentamiento de máquinas.
- Cambios graduales en las condiciones del medio ambiente.

Estas causas se reflejan prácticamente en todas las cartas excepto en la R y S. Las tendencias en estas cartas son raras, pero cuando se dan, puede deberse a la mejora o decrecimiento de la habilidad de un operario; fatiga del operario (la tendencia se repetirá en cada turno). Para determinar si se hay una tendencia en el proceso se tienen los siguientes criterios:

- Seis o más puntos consecutivos ascendentes (o descendentes).
- Un movimiento demasiado largo de puntos hacia arriba (o abajo) de la carta de control, aunque no todos los puntos en ascenso (o descenso).

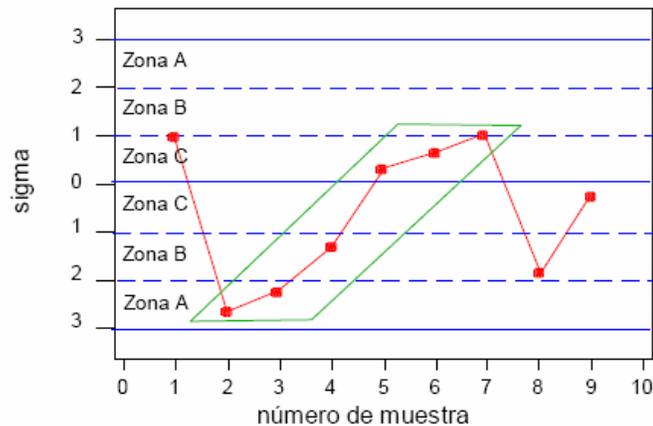


FIGURA 2.7 Gráfica de tendencias en nivel del proceso

Patrón 3. Ciclos recurrentes (periodicidad). Otro movimiento no aleatorio que pueden presentar los puntos en las cartas es un *comportamiento cíclico de los puntos*. Por ejemplo, se da un flujo de puntos consecutivos que tienden a crecer y luego se presenta un flujo similar pero de manera descendente y esto se repite en ciclos (véase figura 2.8).

Cuando un comportamiento cíclico se presenta en la carta \bar{X} , entonces las posibles causas son:

- Cambios periódicos en el ambiente.
- Diferencias en los dispositivos de medición o de prueba que se utilizan en cierto orden.
- Rotación regular de máquinas u operarios.
- Efecto sistemático producido por dos máquinas, operarios o materiales que usan alternadamente.

Si el comportamiento cíclico se presenta en la carta R o S, entonces algunas de las posibles causas son mantenimiento preventivo programado o fatiga de trabajadores o secretarías. Las gráficas p, np, c y u se ven afectadas por las mismas causas que las gráficas de medias y rangos.

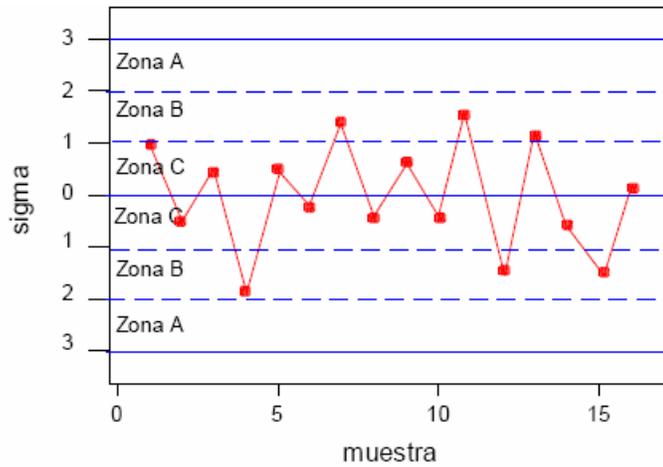


FIGURA 2.8 Gráfica de ciclos recurrentes

Patrón 4. Mucha variabilidad. Una señal de que en el proceso hay una causa especial de *mucha variación*, se manifiesta mediante la alta proporción de puntos cerca de los límites de control, a ambos lados de la línea central, y pocos o ningún punto en la parte central de la carta. En estos casos se dice que hay mucha variabilidad, como se puede ver en la figura 2.9. Algunas causas que pueden afectar a la carta de esta manera son:

- Sobre control o ajustes innecesarios en el proceso.
- Diferencias sistemáticas en la calidad del material o en los métodos de prueba.
- Control de dos más procesos en la misma carta con diferentes promedios.

Mientras que las cartas R y S se pueden ver afectadas por la mezcla de materiales de calidades bastante diferentes, diversos trabajadores utilizando la misma carta R (uno más hábil que el otro), y datos de procesos operando bajo distintas condiciones graficados en la misma gráfica. Los criterios para detectar alta proporción de puntos cerca o fuera de los límites son los siguientes.

- Ocho puntos consecutivos a ambos lados de la línea central con ninguno en la zona C.
- Una imagen similar a la mostrada en la figura 2.9

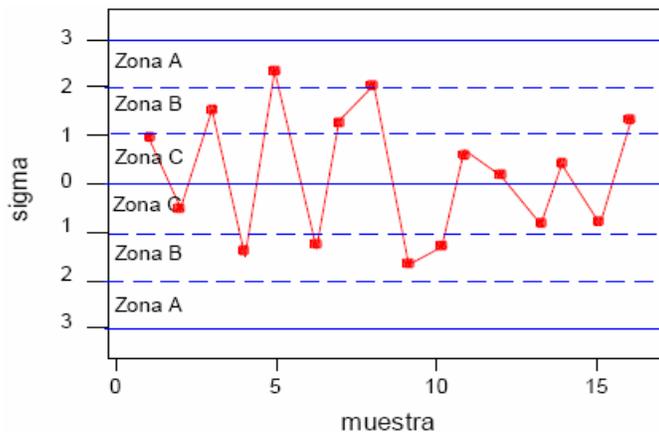


FIGURA 2.9 Gráfica de mucha variabilidad

Patrón 5. Falta de variabilidad. Una señal de que hay algo especial en el proceso es que prácticamente todos los puntos se concentren en la parte central de la carta, es decir, que

los puntos reflejen poca variabilidad o estatificación, como se aprecia en la figura 2.10. Algunas de las causas que pueden afectar a todas las cartas de control de esta manera son:

- ✓ Equivocación en los cálculos de los límites de control.
- ✓ Agrupamiento en una misma muestra a datos provenientes de universos con medias bastantes diferentes, que al combinarse se compensan unos con otros.
- ✓ “Cuchareo” de los resultados.
- ✓ Gráfica de control inapropiada para el estadístico graficado.

Para detectar falta de variabilidad se tienen los siguientes criterios:

- ✓ Quince puntos consecutivos en la zona C, arriba o debajo de la línea central.
- ✓ Una imagen similar a la mostrada en la figura 2.10.

Cuando alguno de los patrones anteriores se presenta en una carta, es señal de que en el proceso hay una situación especial (proceso inestable o fuera de control estadístico), que causa que los puntos no estén variando aleatoriamente dentro de la carta.

Lo que significa que no se puede seguir produciendo con él, sino que el proceso trabaja con variaciones debidas a alguna causa específica (material heterogéneo, cambios de operadores, diferencias significativas entre máquinas, desgaste o calentamiento de equipo, etc.).

En consecuencia, en caso de presentarse algunos de los patrones anteriores es necesario tener como práctica buscar de inmediato las causas para conocer mejor el proceso y tomar medidas correctivas y preventivas apropiadas.

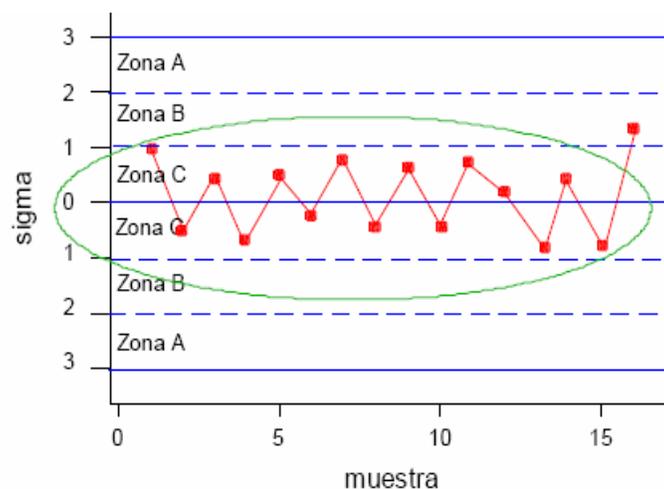


FIGURA 2.10 Gráfica de Falta de variabilidad

2.7 CAPACIDAD DEL PROCESO

La capacidad del proceso es la eficiencia en el rendimiento de la calidad de un proceso, con determinados factores establecidos y bajo condiciones normales de la operación bajo control.

Se considera dos elementos importantes:

- 1.- Factores del proceso
- 2.- Condiciones del proceso

Entre los factores del proceso se incluye la materia prima, las máquinas o el equipo, la destreza del obrero, los dispositivos para la medición y la habilidad del inspector. Un cambio en uno o más de estos factores, pueden variar la capacidad del proceso. Para que resulte expresiva esta capacidad, debe de estar establecida sobre una serie de factores del proceso.

Para que sea explícito un estudio sobre la capacidad del proceso, se deben de considerar ciertas condiciones del proceso, este proceso debe tener sus mediciones normalmente distribuidas y permanecer bajo un estado estadístico del control.

Previamente a explicar las relaciones para establecer el potencial y la habilidad de un proceso, se presenta el Teorema de *Tchebychev* y el Teorema Central del Límite como los fundamentos principales del estudio del Potencial y Capacidad de un proceso.

2.7.1 TEOREMA DE TCHEBYCHEV:

Dado un número k mayor o igual que uno ($k \geq 1$) y un conjunto de observaciones X_1, X_2, \dots, X_n , al menos $(1 - (1/k^2))$ de las observaciones caen dentro de más y menos k desviaciones estándar de la media.

El resultado del cálculo $1 - (1/k^2)$ es una fracción; al multiplicarla por 100 se obtiene el porcentaje mínimo de los datos que caen no más de k desviaciones estándar de la media.

El Teorema anteriormente expuesto, es aplicable a cualquier distribución de frecuencias para cualquier conjunto de observaciones, ya sean muestrales o poblacionales.

Por ejemplo:

*Si $k = 1$, entonces $1 - 1/k^2 = 1 - 1/1^2 = 0$. Entonces, al menos 0% de las observaciones caen dentro de $[\mu - \sigma, \mu + \sigma]$. Así, para $k = 1$, la interpretación no ofrece información útil respecto a la dispersión de los datos.

*Si $k = 2$, entonces $1 - 1/k^2 = 1 - 1/2^2 = 3/4 = 75\%$. Entonces, al menos 75% de las observaciones caen dentro de $[\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma]$.

*Si $k = 3$, entonces $1 - 1/k^2 = 1 - 1/3^2 = 89\%$. Entonces, al menos 89% de las observaciones caen dentro de $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$.

Del teorema de *Tchebychev* se deriva la siguiente regla empírica:

Dada una distribución de frecuencias aproximada a la normal:

* Aproximadamente el 68% de todas las lecturas de la distribución normal se encuentra dentro de una zona de más y menos una desviación estándar de la media, es decir, caen en el intervalo $[\mu - \sigma, \mu + \sigma]$.

* Aproximadamente el 95% de todas las lecturas de la distribución normal se encuentra dentro de una zona de más y menos dos desviaciones estándar de la media, es decir, caen en el intervalo $[\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma]$.

* Aproximadamente el 99.7% de todas las lecturas de la distribución normal se encuentra dentro de una zona de más y menos tres desviaciones estándar de la media, es decir, caen en el intervalo $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$.

La ilustración gráfica de la regla anterior se muestra en la figura 2.11.

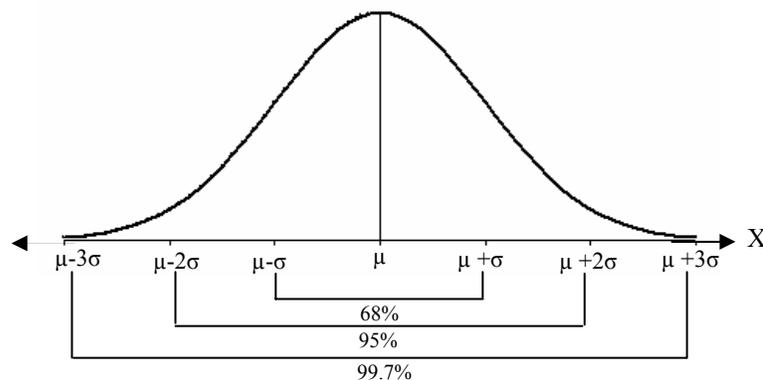


FIGURA 2.11 Ilustración gráfica del teorema de *Tchebychev*

2.7.2 TEOREMA DEL LÍMITE CENTRAL

Otro fundamento del Control Estadístico de procesos y de hecho el más importante es el teorema del Límite Central, que a continuación se expone.

En condiciones generalizadas, las sumas y medias resultantes de mediciones aleatorias repetitivas tienden a adoptar una distribución de frecuencias cercana a la normal.

Si se extraen muestras de tamaño n de una población con media finita μ y desviación estándar σ siendo n grande, la media muestral tiene una distribución de probabilidad (distribución de frecuencias) aproximadamente normal con media μ y desviación estándar

$$S = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

la aproximación es mejor a medida que n crece.

La interpretación y aplicación de los teoremas se da a continuación:

Si se desea estudiar un proceso se puede tomar como base una cantidad de grupos de piezas (grupos de piezas = muestras, cantidad de grupos = población) y en función de ellas establecer factores que permitan predecir el comportamiento de nuevos grupos de piezas y consecuentemente del proceso.

En el caso de un proceso se establecen parámetros de predicción en función de una población pasada, para el comportamiento de intervalos de producción futuros, comprendidos entre la toma de muestras sucesivas, suponiendo que las causas de variación del proceso serán comunes entre la población pasada y los nuevos intervalos. La suposición se fundamenta en la eliminación de las causas especiales de variación en la población pasada, que permita la sola presencia de los factores inherentes al proceso y permanentes. Lo anteriormente expuesto es muy importante, puesto que la distribución normal es descriptiva del comportamiento de un gran número de tipos de datos.

Se puede decir que la Capacidad de un proceso es la manera que las variables de salida de un proceso cumplen con sus especificaciones. Sea una característica de calidad de un producto o variable de salida de un proceso, del tipo valor nominal es mejor, donde para considerar que hay calidad las mediciones deben ser igual a cierto valor nominal o ideal (N), o al menos tienen que estar dentro de cierta especificación inferior (EI) y superior (ES).

Matemáticamente se define la capacidad del proceso con el valor de seis unidades de la desviación estándar. Como se menciona en la Regla empírica Dada una distribución de frecuencias aproximada a la normal el 99.73% de todas las piezas u observaciones distan menos de tres desviaciones estándar de la media, es decir, caen en el intervalo $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$. En consecuencia, la fórmula para la capacidad del proceso, corresponde a:

$$\text{Capacidad del proceso} = 6\sigma = 6\sqrt{\frac{\sum(X - \bar{X})^2}{n}}$$

en la que

σ = desviación estándar del proceso.

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ = mediciones individuales.

\bar{X} = media aritmética de las mediciones individuales.

n = número de mediciones individuales.

En los últimos años se ha estado generalizando, en el medio industrial y comercial, el uso de un indicador conocido como Índice de Capacidad de Proceso.

La adopción de ésta unidad de medida ha simplificado mucho la comunicación dado que es una medida universal, y basta conocer el índice de un determinado proceso para saber si éste tiene o no capacidad para cumplir con los requisitos establecidos.

El concepto de Capacidad de Proceso se puede analizar en aspectos que son:

- Índice de Capacidad Potencial del Proceso (C_p).
- Índice de Capacidad real del proceso (C_{pk}).

2.7.3 ÍNDICE DE CAPACIDAD POTENCIAL (C_p). Nos dice si el rango de variación con que opera un proceso es mayor o menor al rango de variación permitido por especificaciones.

Es decir,

$$C_p = \frac{ES - EI}{6\sigma} \quad (7)$$

donde σ representa la desviación estándar del proceso a corto plazo, y ES y EI son las especificaciones superior e inferior para la característica de calidad. El índice C_p compara el ancho de las especificaciones o variación tolerada para el proceso con la amplitud de la variación real del proceso.

$$C_p = \frac{\text{Variación tolerada}}{\text{Variación real}}$$

Decimos que 6σ es la variación real, debido a las propiedades de la distribución normal (Mencionado anteriormente en el Teorema de *Tchebychev*). Interpretación del Índice C_p , Para que el proceso pueda considerarse potencialmente capaz de cumplir con especificaciones, se requiere que la variación real siempre sea menor que la variación tolerada. Si al analizar el proceso se encuentra que su capacidad para cumplir especificaciones es mala, existen cuatro opciones: modificar el proceso, mejorar su control, mejorar el sistema de medición, modificar tolerancias.

El cuadro siguiente muestra los Valores del C_p y su interpretación:

$C_p \geq 2$	Se tiene calidad Seis Sigma
$C_p > 1.33$	Adecuado
$1 < C_p < 1.33$	Parcialmente adecuado. Requiere de un control estricto
$0.67 < C_p < 1$	No adecuado para el trabajo. Un análisis del proceso es necesario. Requiere de modificaciones serias para alcanzar una calidad satisfactoria.
$C_p < 0.67$	No adecuado para el trabajo. Requiere de modificaciones muy serias.

Nota: Para procesos con una sola especificación, el valor mínimo de C_{pl} o C_{ps} debe ser mayor que 1.25, en lugar de 1.33, para considerar el proceso adecuado.

TABLA 2.12 Valores de C_p

2.7.3.1 Índice C_r

Un índice que se conoce como razón de capacidad, el cual está definido por

$$C_r = \frac{6\sigma}{ES - EI} \quad (8)$$

Este compara la variación real contra la variación tolerada, se requiere que el numerador sea menor que el denominador, es decir, lo deseable son valores de C_r pequeños (menores que 1). La ventaja de este índice es que tiene una interpretación un poco más intuitiva, a saber: el valor del índice C_r representa la proporción de la banda de especificaciones que es ocupada por el proceso. Por ejemplo, si el $C_r = 0.60$, querrá decir que la variación del proceso abarca o cubre sólo 60% de la banda de especificaciones, por lo que su capacidad potencial es satisfactoria. En cambio, si el $C_r = 1.20$, eso indica una capacidad pobre, ya que la variación del proceso cubre 120% de la banda de especificaciones.

2.7.4 ÍNDICE DE CAPACIDAD REAL (C_{pk})

Para calcular los índices C_{pk} , C_{pl} , C_{ps} hay varias formas equivalentes; una de ellas consiste en calcular un índice de capacidad para la especificación inferior, C_{pl} , y otro para la superior, C_{ps} , como se muestra:

$$C_{pl} = \frac{\mu - EI}{3\sigma} \quad (9)$$

$$C_{ps} = \frac{ES - \mu}{3\sigma} \quad (10)$$

Como se observa, estos índices sí toman en cuenta la media del proceso y evalúan la capacidad para cumplir con la especificación inferior y superior. La distancia de la media del proceso a una de las especificaciones representa la variación tolerada para el proceso de un solo lado de la media. Por eso se divide entre 3σ .

De aquí el C_{pk} está definido por:

$$C_{pk} = \text{Al valor más pequeño de entre } C_{pl} \text{ y } C_{ps}$$

Es decir, el índice C_{pk} es igual al índice unilateral más malo, por lo que el valor del C_{pk} es satisfactorio, eso indicará que el proceso en realidad es capaz. Si no es satisfactorio, no cumple con por lo menos una de las especificaciones. Algunos elementos adicionales para la interpretación del índice C_{pk} son los siguientes:

- El índice C_{pk} siempre va a ser menor o igual que el índice C_p . Cuando sean muy próximos, eso indicará que la media del proceso está muy cerca del punto medio de las especificaciones.
- Si el valor del índice C_{pk} es mucho más pequeño que el C_p , nos indicará que la media del proceso está alejada del centro de las especificaciones.
- Cuando los valores de C_{pk} sean mayores a 1.25 o 1.45, se considerará que se tiene un proceso con capacidad satisfactoria.
- Valores del C_{pk} igual a cero o negativos, indican que la media del proceso está fuera de las especificaciones.

2.7.5 ÍNDICE TAGUCHI (C_{pm})

La mejora de un proceso según Taguchi debe estar orientada a reducir su variabilidad alrededor del valor nominal, N, y no sólo orientada a cumplir con especificaciones.

Taguchi (1986) propone una definición alternativa de los índices de capacidad del proceso, la cual se fundamenta en lo que denomina función pérdida.

Este índice que propone Taguchi toma en cuenta el centrado y la variabilidad del proceso. El índice C_{pm} está definido por:

$$C_{pm} = \frac{ES - EI}{6\tau}$$

Donde

$$\tau = \sqrt{\sigma^2 + (\mu - N)^2}$$

Se puede decir que el índice C_{pm} compara el ancho de las especificaciones con 6τ ; pero τ no sólo toma en cuenta la variabilidad del proceso, a través de σ^2 , sino que también toma en cuenta el centrado a través de $(\mu - N)^2$.

La interpretación del índice C_{pm} es mayor que uno, entonces eso quiere decir que el proceso cumple con especificaciones, y en particular que la media del proceso está dentro de la tercera parte media de la banda de las especificaciones. Si C_{pm} es mayor que 1.33, entonces el proceso cumple con especificaciones, pero además la media del proceso está dentro de la quinta parte media del rango de especificaciones.

2.7.6 ÍNDICES DE CAPACIDAD DE LARGO PLAZO: P_p Y P_{pk}

Cuando hablamos de capacidad podemos tener una perspectiva de corto y largo plazo. La capacidad de corto plazo es calculada a partir de muchos datos tomados durante un periodo suficientemente corto para que no haya influencias externas sobre el proceso y esta capacidad representa el potencial del proceso, lo mejor que se puede esperar del mismo, mientras que la capacidad de largo plazo se calcula con muchos datos tomados de un periodo de tiempo suficientemente largo

para que los factores externos puedan influir en el desempeño del proceso.

Se debe de considerar que para calcular los índices de capacidad debemos tomar en cuenta que para calcular la desviación estándar de un muestreo se puede considerar sólo la variación dentro de las muestras a través del rango de las muestras. Esta forma de calcular la desviación estándar no considera los desplazamientos del proceso a través del tiempo que también influyen en la variación total del proceso, por lo que suele llamársele *variación de corto plazo del proceso*. Normalmente los índices de capacidad se calculan sólo considerando la variación de corto plazo, por lo que se habla de capacidad de corto plazo.

La otra manera de calcular la desviación estándar del proceso es considerando la variación entre muestras y dentro de muestras, lo que se hace calculando la desviación estándar directamente de todos los datos obtenidos a lo largo del tiempo; de esta forma, si se tienen en muchos datos de un tiempo suficientemente amplio entonces se tendrá una idea de la capacidad del proceso a largo plazo.

Para designar a los índices calculados con la desviación estándar de largo plazo se les designa con P_p y así con los demás índices cuya letra inicial es C se sustituye por la P. Los índices de capacidad a largo plazo se calculan de la siguiente manera:

$$P_p = \frac{ES - EI}{6\sigma} \quad (11)$$

$$P_{pl} = \frac{\mu - EI}{3\sigma} \quad (12)$$

$$P_{ps} = \frac{ES - \mu}{3\sigma} \quad (13)$$

dado que la σ es la desviación estándar del proceso a largo plazo.

La capacidad de corto plazo evaluada a través de C_p y por el índice Z representa la tecnología del proceso. Mientras que la capacidad de largo plazo medida por P_p y por el estadístico Z representa la tecnología del proceso combinada con el control de la tecnología.

La diferencia entre la capacidad de corto y largo plazo se conoce como desplazamiento del proceso y se puede medir a través del índice Z, de la manera siguiente:

$$Z_{mov} = Z.ct - Z.lt$$

El índice Z_{mov} representa la habilidad para controlar la tecnología.

CAPITULO III.

USO DE MINITAB EN EL CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO

EN LA ACTUALIDAD HAY MUCHOS
PROGRAMAS COMPUTACIONALES
QUE PERMITEN REALIZAR CÁLCULOS
ESTADÍSTICOS.

Con la introducción de las computadoras, el trabajo pesado de cálculos asociado con un gran número de datos y con análisis complicados, ha sido relegado a las computadoras.

En la actualidad hay muchos programas computacionales que permiten realizar cálculos estadísticos. Algunos de los programas más usuales son MINITAB, SPSS, SAS y SYSTAT. Todos permiten al usuario comunicarse con el sistema de la computadora mediante comandos sencillos.

En esta investigación se utilizara MINITAB como herramienta para los cálculos estadísticos, ya que es un programa que ofrece gran capacidad de cálculo de la estadística y nos permite obtener información a partir de los datos, usando para ello métodos y técnicas de obtención de datos, análisis e interpretación.

Es un programa desarrollado originalmente en la Pennsylvania State University como una herramienta para enseñar estadísticas, es interactivo operado mediante órdenes sencillas. Está orientado a las aplicaciones que giran en torno al control y la mejora de la calidad.

A continuación se presenta una pequeña introducción al sistema de MINITAB y los procedimientos que este software ofrece para el control estadístico de calidad.

3.1 PANTALLA INICIAL DE MINITAB

La figura 3.1 muestra la Pantalla Inicial de Minitab y así mismo sus respectivas funciones.

Menú principal
Haciendo clic sobre cualquier opción aparecen los submenús.

Botones de acción
Dejando el cursor encima aparece un rótulo indicando lo que hace.

Ventana de Sesión
Es la parte donde aparecen los resultados de los análisis realizados. También sirve para escribir instrucciones como forma alternativa al uso de los menús

Hoja de datos
Tiene el aspecto de una hoja de cálculo, con filas y columnas. Las columnas se denominan C1, C2...
Tal como está escrito, pero también se les puede dar un nombre, escribiéndolo debajo de C1, C2...

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
	MES	DIA	10%	50%	90%							
1	1	1	55	103	180							
2	1	1	58	105	79							
3	1	1	56	106	179							
4	1	2	57	106	181							
5	1	2	55	105	177							
6	1	2	53	103	173							
7	1	3	54	103	173							
8	1	3	57	107	175							
9	1	3	54	104	172							

FIGURA 3.1 Pantalla inicial de Minitab

Normalmente los datos están situados en columnas: Cada columna es una variable, y dentro de la columna cada fila corresponde a una observación. También se pueden asignar valores a constantes (k1, k2....).

El contenido de los submenús depende de cuál es la ventana activa (sesión, hoja de datos, gráficos). Se activa una u otra haciendo clic sobre la misma.

3.2 ENTRADA DE DATOS

Los datos pueden ser introducidos directamente a través del teclado o recuperarlos de un archivo grabado previamente como se ilustra en la figura 3.2.

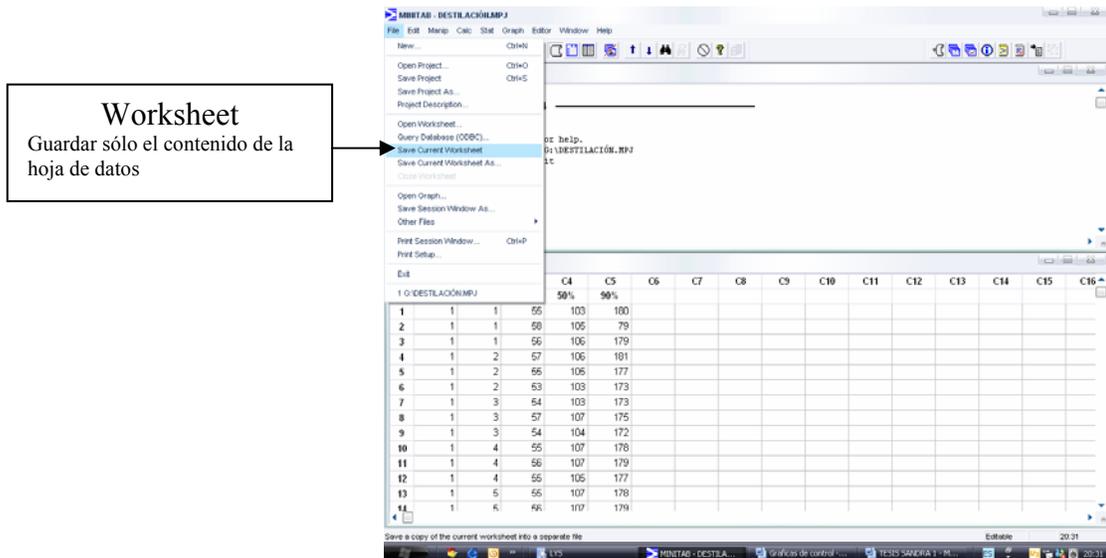


FIGURA 3.2 Guardar contenido de la hoja de datos en Minitab

Un archivo sólo se puede recuperar de la forma como ha sido grabado. Si se ha grabado Worksheet (hoja de datos) se recupera como Worksheet. Las hojas de Excel (extensión .xls) se abren con la opción Worksheet.

MINITAB se entiende muy bien con Excel. Puede importar una hoja de datos de Excel usando la opción Open Worksheet como se ilustra en la figura 3.3

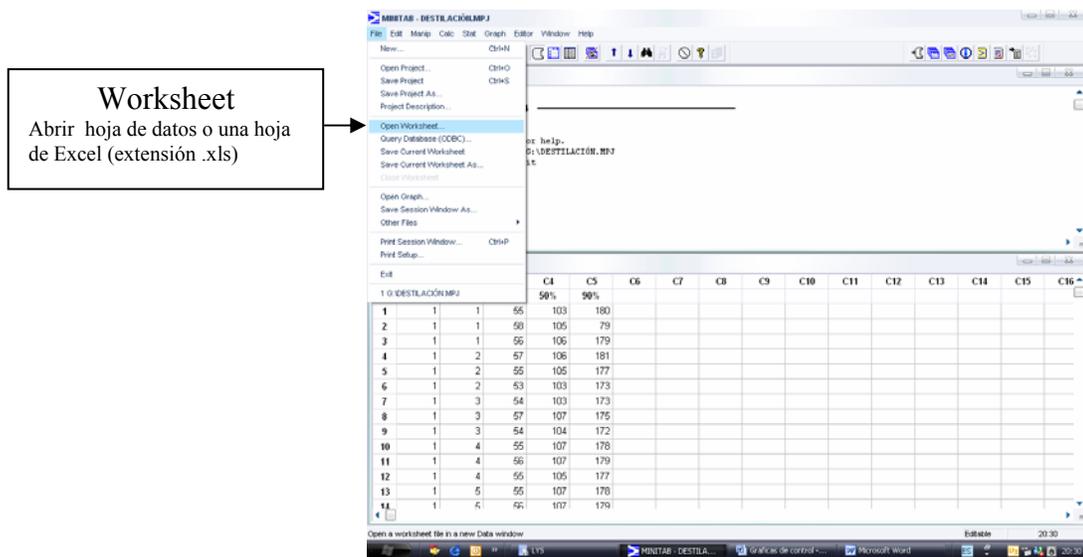


FIGURA 3.3 Abrir hoja de datos en Minitab

3.3 ESTUDIOS DE CAPACIDAD DEL PROCESO PARA VARIABLES QUE SIGUEN UNA DISTRIBUCIÓN NORMAL

A continuación se presenta el procedimiento para el estudio de capacidad en MINITAB.

1.-Seleccionar las siguientes opciones Stat> Quality Tools> Capability Analysis>Normal como se ilustra en la figura 3.4

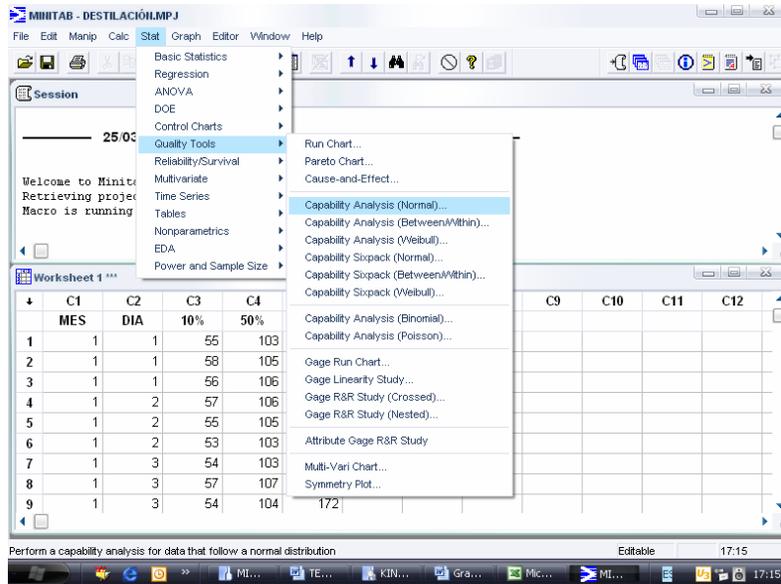


FIGURA 3.4 Ilustración del paso 1 de estudio de capacidad

2.-Estando en la ventana de Análisis de capacidad posteriormente se continúa con la introducción de los datos requeridos, como se muestra en la figura 3.5

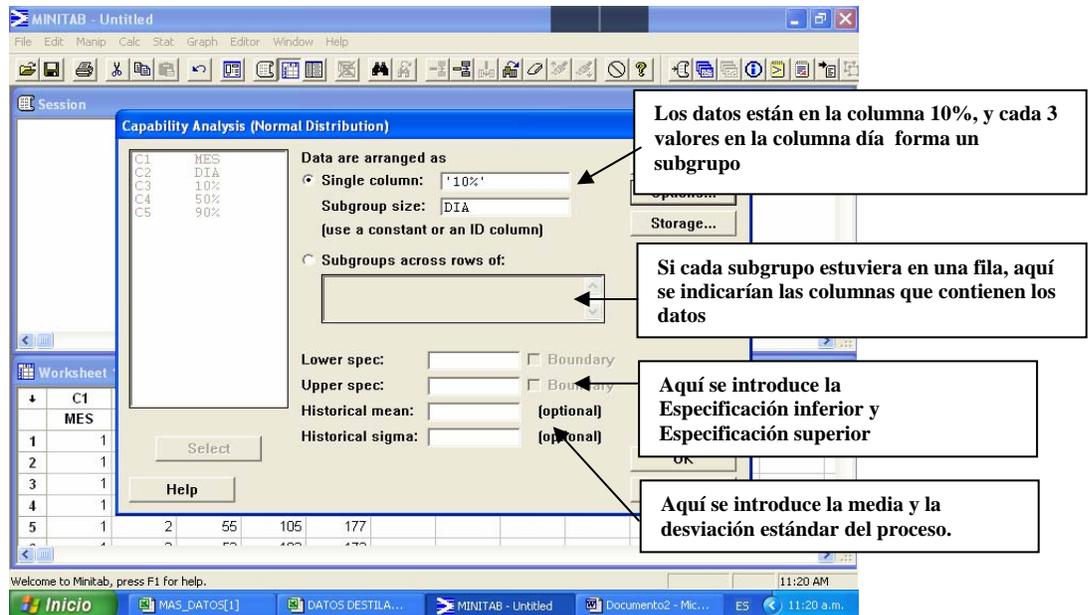


FIGURA 3.5 Ilustración de la introducción de datos para estudio de capacidad

3.-Para finalizar se obtiene una gráfica de Capacidad del Proceso y su interpretación como se muestra en la figura 3.6

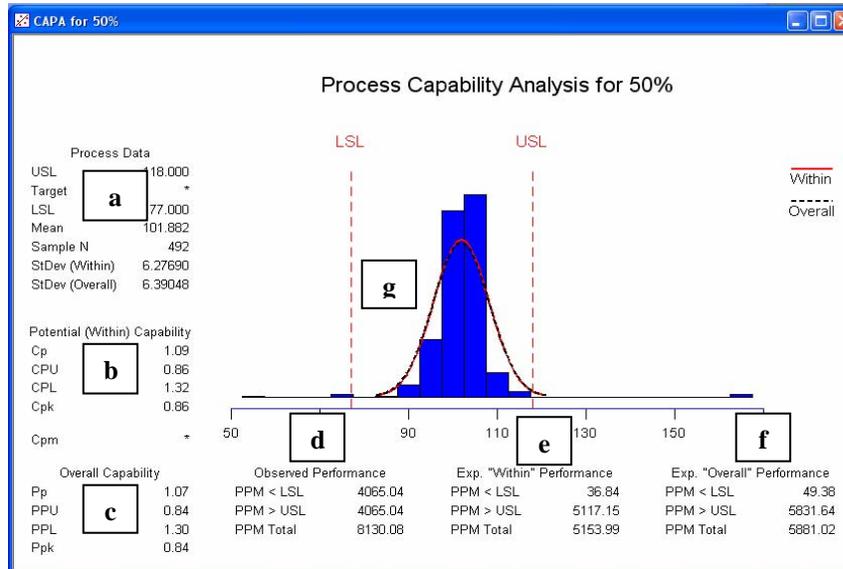


FIGURA 3.6 Gráfica de Capacidad de Proceso

Interpretación de la figura 3.6

a) Indica los datos del proceso: Límites superior e inferior de especificaciones (USL y LSL, como mínimo hay que introducir uno). Valor objetivo (Target): Lo muestra si se ha introducido (es opcional). Media (Simple Mean), número total de valores introducidos (Simple N) y desviaciones tipo estimadas a partir de la variabilidad dentro de los subgrupos (StDev Within) y estimada a partir de la variabilidad global (StDev Overall).

b) Indica los Índices de capacidad a corto plazo: son los índices calculados a partir de la variabilidad dentro de los subgrupos.

c) Indica los Índices de capacidad a largo plazo basándose en la variabilidad global.

d) Indica las Partes por millón (PPM) observadas por debajo y por encima de los límites de tolerancias, es decir cuantos valores, en ppm, de los que tenemos, están por debajo o por encima de los límites de tolerancias.

e) Indica las PPM esperadas fuera de tolerancias basándose en la variabilidad dentro de las muestras. Es un cálculo teórico a partir de la distribución normal que refleja esta variabilidad, centrada en el valor medio de los datos.

f) Indica las PPM esperadas fuera de tolerancias basándose en la variabilidad total. Es un cálculo teórico a partir de la distribución normal que refleja esta variabilidad, centrada en el valor medio de los datos.

g) Indica los Histograma de los datos y campanas que representan la variabilidad teórica global (overall, campana a trazos) y una supuesta variabilidad mínima alcanzable (within, línea de trazo continuo) si el proceso se mantiene estable en el tiempo.

3.4 ESTUDIO DE GRÁFICOS DE CONTROL PARA VARIABLES MEDIAS Y RANGOS

A continuación se presenta el procedimiento para el estudio de Gráficos de control para variables en MINITAB.

1.- Seleccionar las siguientes opciones Stat> Control Charts> Variables Charts for Subgrupos> \bar{X} -R como se ilustra en la figura 3.7.

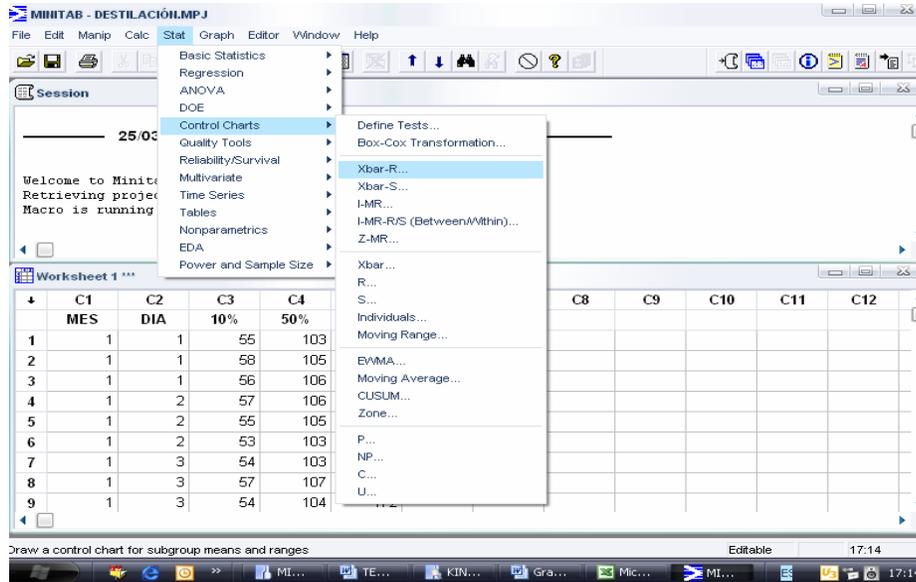


FIGURA 3.7 Ilustración del paso 1 para el estudio de gráficos de control

2.- Estando en la ventana de \bar{X} -R posteriormente se continúa con la introducción de los datos requeridos, como el ejemplo de la figura 3.8.

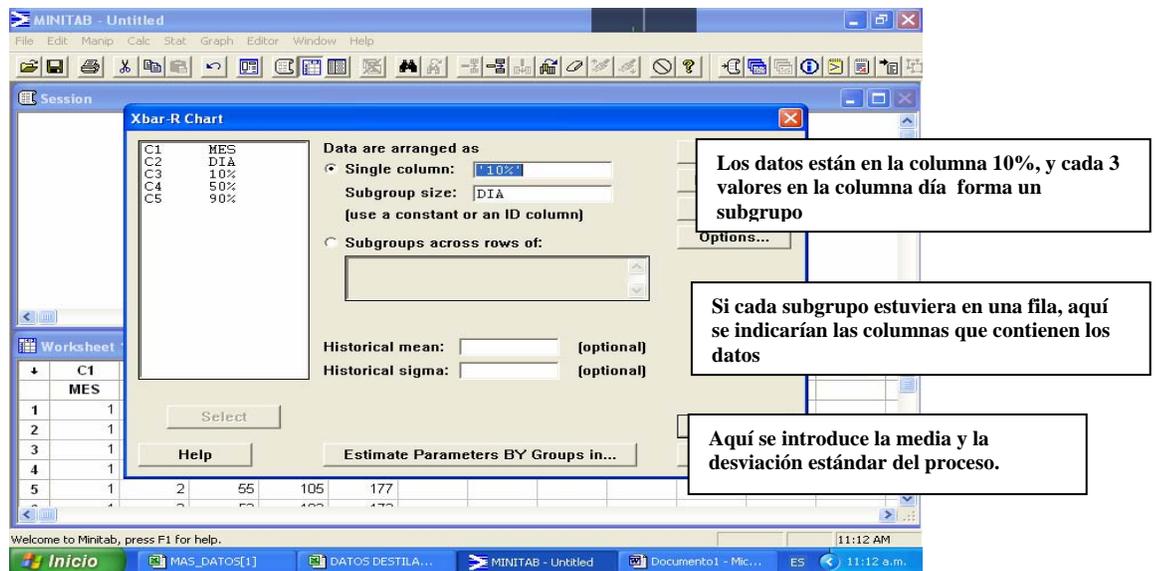


FIGURA 3.8 Ilustración de la introducción de datos para el estudio de gráficos de control

3.- En las figuras 3.9 y 3.10 se ilustran los pasos a ejecutar para el caso de definir grupos para parámetros estimados.

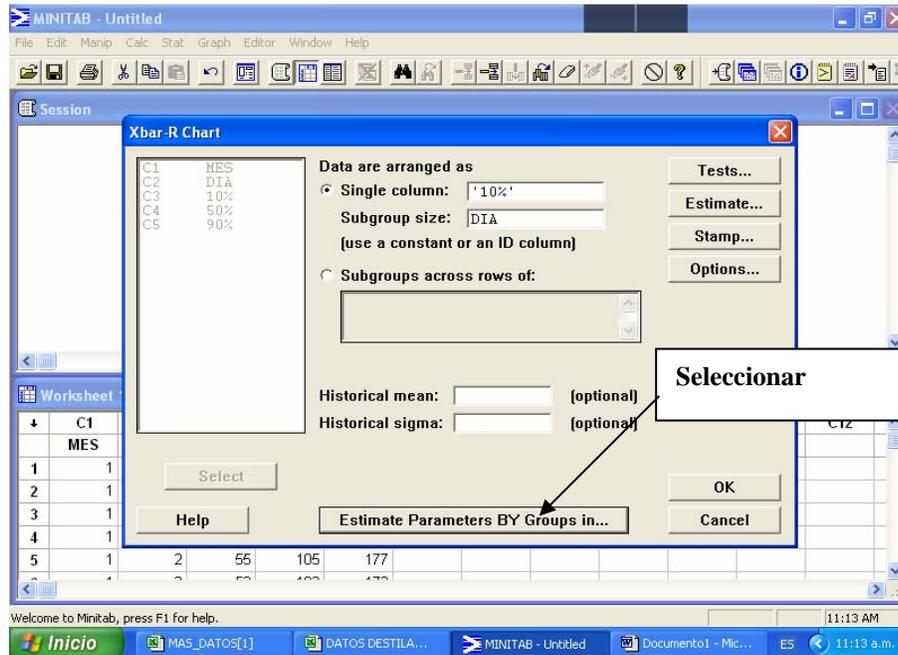


FIGURA 3.9 Ilustración para definir grupos en el estudio de capacidad

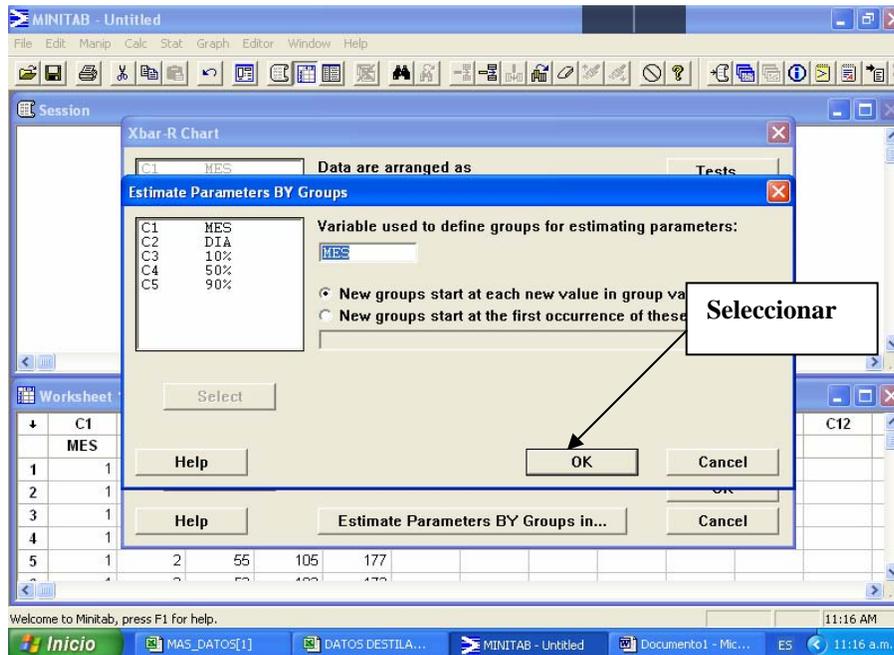


FIGURA 3.10 Ilustración de la introducción de datos para definir grupos

4.- Para finalizar se obtiene una gráfica de control para variables \bar{X} -R como se muestra en la figura 3.11, posteriormente se realiza el análisis para controlar las posibles causas especiales si estas hubieran, y así prevenir la producción futura.

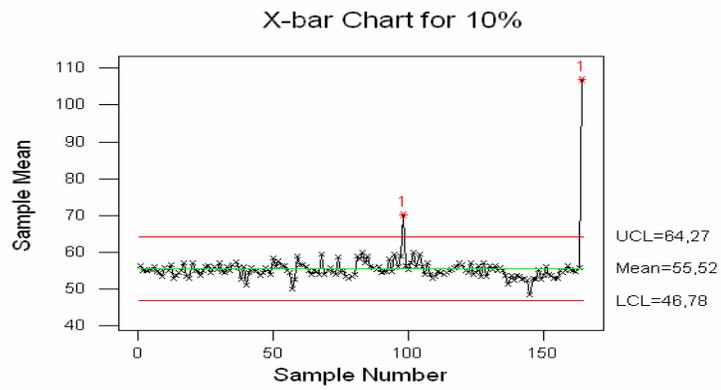


FIGURA 3.11 Gráfica de control \bar{X}

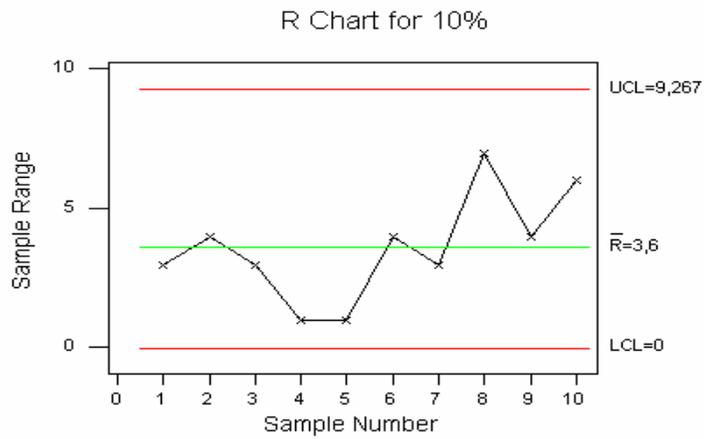


FIGURA 3.12 Gráfica de control R

CAPÍTULO IV. APLICACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO

CUMPLIR CON LA LEGISLACIÓN
Y OTROS REQUISITOS EN LA ELABORACIÓN
DE GASOLINA, PARA SATISFACER
LAS NECESIDADES DESEADAS,
ES NUESTRO OBJETIVO

4.1 PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE LECTURAS DEL RANGO DE DESTILACIÓN DE LA GASOLINA

La obtención de las lecturas del rango de destilación de la muestra de gasolina Magna resto del país, se obtuvieron utilizando el Procedimiento 303-42210-IT-008, aplicando el método de prueba ASTM D-86. Que a continuación se detalla:

4.1.1 EQUIPO, MATERIAL Y REACTIVOS.

- Equipo manual para destilación (DESTILADOR PRECISION SCIENTIFIC). En la figura 4.1 se muestra las partes principales de este equipo.
- Matraz Engler de 125ml de capacidad.
- Condensador y baño de enfriamiento.
- Probeta de 100ml.
- Termómetros ASTM 7C con rango de 0 a 300°C.
- Placas de soporte para el matraz de destilación de 1.5 pulg. de diámetro en el orificio central.
- Tapones de corcho para tubo de vapores.
- Franela atada a un alambre.

4.1.2 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- La prueba que se realiza a la gasolina Magna resto del país, es una mezcla de las muestras extraídas del fondo, de la mitad y del nivel máximo de un tanque de almacenamiento de gasolina Magna resto del país y es colocada en una botella tequilera de un litro.
- La muestra es transportada en un carrito al Laboratorio de Control o Laboratorio Experimental por el encargado de repartir las muestras para llevar a cabo la prueba.
- El Probador Físico debe usar lentes de seguridad, ya que es el encargado de ejecutar las actividades de acuerdo a lo descrito en este procedimiento.

Estando en el Laboratorio el Probador Físico debe:

- Verificar que la muestra esté tapada y libre de humedad, en caso de no ser así pasarla por papel filtro para eliminársela, o bien volver a tomar otra muestra.
- Enfriar la muestra en una tina con hielos.
- Debe enjuagar el matraz Engler de 125ml con la muestra a destilar y verter los enjuagues en el recipiente colocado para este fin.
- Medir 100ml de la muestra en la probeta de 100ml y depositarlos en el matraz Engler teniendo cuidado de que no fluya el líquido por el tubo de vapores.
- Colocar el tapón que soporta el termómetro en la boca del matraz haciendo coincidir la parte baja del capilar del termómetro con la parte inferior del tubo de vapores del matraz Engler. Como se muestra en la figura 4.2
- Antes de iniciar la prueba limpiar el tubo condensador pasando por su interior una franela atada a un alambre.
- Montar el matraz con el termómetro en el destilador, ajustando la parrilla de calentamiento, colocando previamente la placa de soporte de 1.5 de diámetro.
- Colocar la probeta graduada de tal forma que ajuste en el tubo condensador.
- Prender la parrilla y proporcionar calentamiento lentamente al matraz para

que se inicie la destilación y atendiendo las indicaciones que se muestran en la Tabla de Destilación. Ver tabla 4.3

- El tiempo desde la aplicación de calor a la primera gota (punto en el cual se toma la TIE) es entre 5 y 10 min.
- Mover la probeta hasta que la salida del condensador toque su pared interna.
- Destilar a una velocidad de 4 a 5 ml por minuto, tomar lecturas al 10, 50, 90 y 95% de Destilado. La temperatura final de ebullición se toma cuando la máxima temperatura es alcanzada durante la prueba y la temperatura del termómetro, este es el punto final de la prueba.
- Bajar el calentamiento de la parilla y apagarla.
- Dejar enfriar el matraz.
- Observar el matraz ya frío y transferir líquido residual a una probeta con subdivisiones de 0.2 ml. Anotar el volumen como residuo.
- Empleando la fórmula de Sydney Young, efectuar las correcciones de la temperatura en cada punto de destilación por presión barométrica. En la tabla 4.4 se muestran las correcciones correspondientes a cada rango de temperatura.
- Registrar los datos en la bitácora y en el SICOLAB.
- Cuando las pruebas han concluido, el remanente de las muestras es vertido en tambores de 200 L, para posteriormente ser transportados al área de efluentes para su desecho.

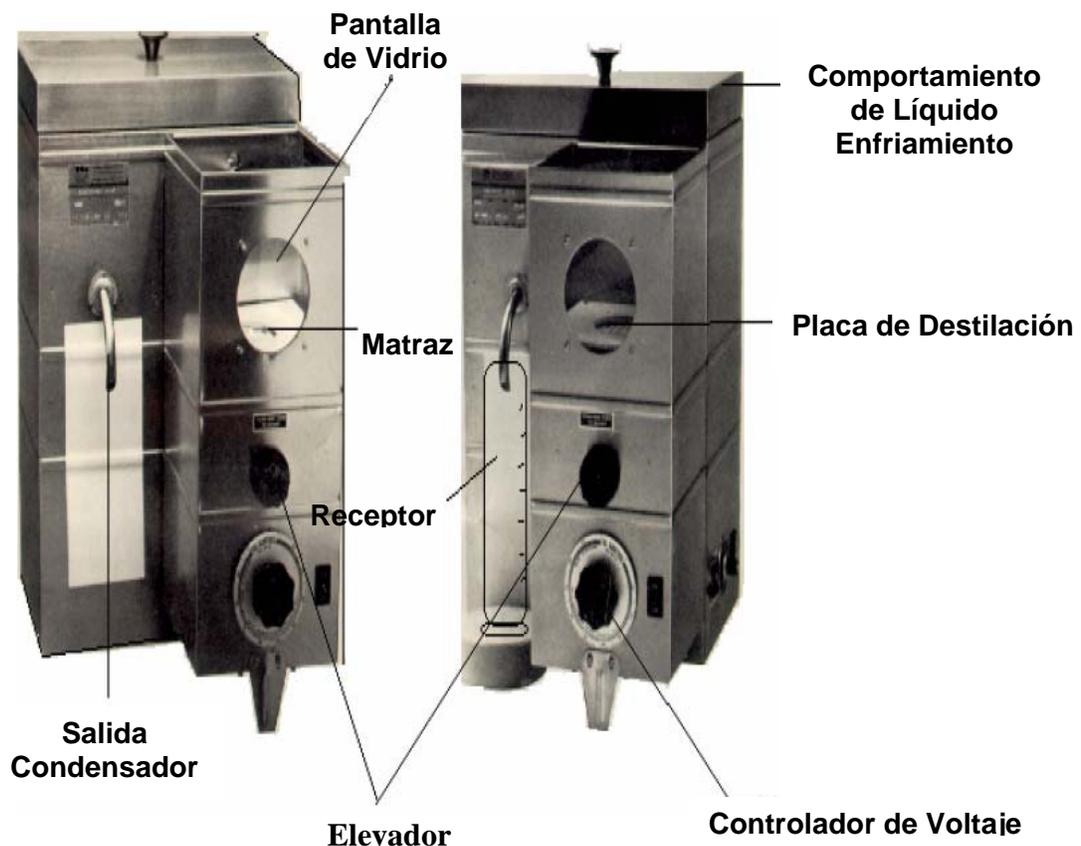


FIGURA 4.1 Esquema de partes principales Destilador Precisión

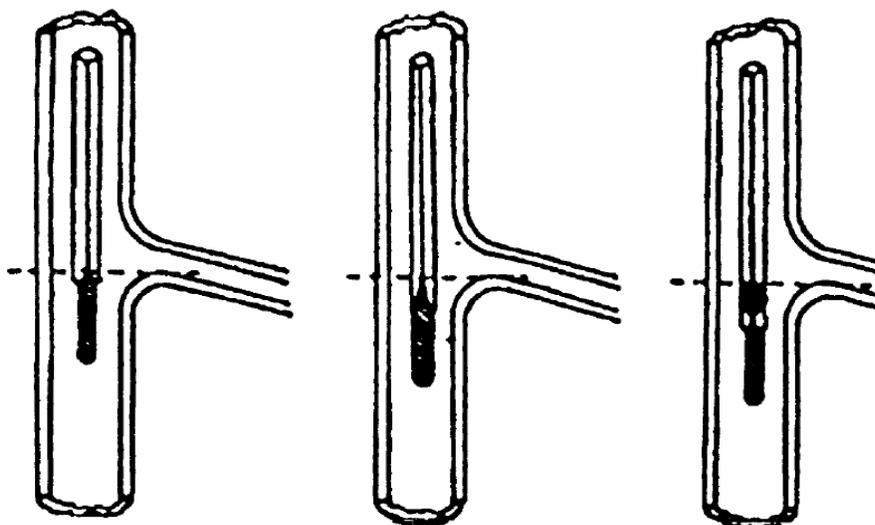


FIGURA 4.2 Termómetro en la boca del matraz

Característica por Grupo	Unidades	(Gasolinas)
Tipo de Destilado		
PVR a 37.8 °C	<i>Lb/ plg²</i>	<9.5
Tie:	°C	-
Tfe:	°C	<=250
Muestras		
Temp. De la botella de Muestreo	°C	-
Temp. De Almacenamiento de la muestra:	°C	0 a 10
Si la muestra esta húmeda:	-	Remuestreo
Preparación del equipo		
Matraz de Destilación:	<i>MI</i>	125
Termómetro ASTM:	<i>No.</i>	7C
Placa Soporte del Matraz:	<i>Pulg.</i>	1.50
Temp. Del Matraz y del Termómetro:	°C	13 a 18
Temp. De la placa y la parrilla:	°C	*Naa
Temp. De la probeta y la muestra:	°C	13 a 18
Condiciones durante el procedimiento de prueba		
Tiempo desde la primera aplicación de calor al punto inicial de ebullición:	<i>Min.</i>	5 a 10
Tiempo desde el punto inicial de ebullición		
Al 50% de Recuperado:	<i>Min.</i>	60 a 75
Al 10% de Recuperado:	<i>Min.</i>	-
Tiempo registrado desde el 5% de Residuo al Punto Final:	<i>Min.</i>	3 a 5
Velocidad uniforme de condensación desde el 5% de Recuperado al 5% de Residuo en el matraz:	<i>MI/min.</i>	4 a 5

*Naa=no arriba de la temperatura ambiente.

Tabla 4.3 Características de Destilación

RANGO DE TEMPERATURA (RANGO DEL TERMÓMETRO) °C	CORRECCIÓN (QUE SE SUMARÁ A LA LECTURA DEL TERMÓMETRO) °C
30 A 59	6
60 A 109	7
110 A 159	8
160 A 209	9
210 A 259	10
260 A 309	11
310 A 359	12
360 A 409	13

Tabla 4.4 Corrección para Temperaturas de destilación*

Los factores de corrección se obtuvieron a partir de la ecuación de Sydney Young:

$$C_c = 0.00012 (760 - P)(273 + T_c)$$

donde:

C_c = Corrección en °C que hay que agregar a la temperatura observada en el termómetro.

P = Presión barométrica en mm de mercurio (mm Hg) de la ciudad de Tula.

T_c = Temperatura en °C observada en el termómetro.

4.1.3 RIESGOS DE ESTE MÉTODO DE PRUEBA SON DE SEGURIDAD, SALUD Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

- Quemaduras por el manejo de matraces calientes.
- Peligros y medidas de control. Para evitar el riesgo de quemadura cuando se desmontan los matraces de destilación calientes deberán tener puestos los guantes de carnaza.
- Requisitos de equipo de protección personal. Se debe usar siempre el equipo de protección personal que consiste de camisola y pantalón de algodón, botas de seguridad, lentes contra impacto y tener disponibles guantes de carnaza.
- Precauciones en manejo y almacenamiento de materiales. Los matraces calientes deben manipularse con guantes.
- Límites seguros de operación y qué hacer en caso de salirse de estos parámetros. Cuando el valor de las destilaciones de la gasolina esté fuera de la especificación se le informará inmediatamente al ingeniero de calidad de área quien dará aviso al personal de operación del sector IV.

*Referencia, método ASTM D 86-05 ecuación 4.

Las lecturas obtenidas por la aplicación del procedimiento antes descrito se encuentran en el apéndice 1. Se obtuvieron 492 lecturas para el 10%, 50% y 90% de destilado de gasolina.

4.2 RECOLECCIÓN DE DATOS

Como hemos mencionado, el rango de destilación es un parámetro principal en la volatilidad de la gasolina, de tal forma que es básico su control, para obtener una gasolina sin problemas de volatilidad.

El rango de destilación es el resultado de la aplicación del método de prueba ASTM D-86 descrito en el capítulo 4.1. Este método es el que marca la Norma ECOL-086-1994, para determinar cuantitativamente las características del rango de destilación, así mismo la Norma establece las especificaciones que debe cumplir el rango de destilación de la gasolina Magna resto del país, estas son descritas en la tabla 1.4 del capítulo 1.4.

El Laboratorio de Control de la Superintendencia de Química de la Refinería Miguel Hidalgo, Hidalgo, proporciona periódicamente los resultados obtenidos por este método de prueba, las pruebas se realizan 3 veces al día todos los días del año y regularmente una prueba se realiza en un solo turno, lo que significa que se puede realizar un buen control de proceso. El probador físico es el encargado de ejecutar este método llevando acabo los lineamientos correspondientes. Las temperaturas resultantes en 10, 50 y 90 por ciento de destilado son registradas en la bitácora y posteriormente en el SICOLAB. Este es un sistema de control del Laboratorio en el cual se registran todas las pruebas realizadas a los diferentes productos intermedios y terminados elaborados por las 6 Refinerías de PEMEX.

También en este sistema se puede observar por categoría las cuales son: por producto, por zona, por planta, por sector, en la fecha que se requiera. Toda la información que es reportada en el SICOLAB es interpretada y procesada por el laboratorio de control para ajustar las condiciones de operación, si es necesario.

Para este estudio se recolectaron del SICOLAB lecturas de 10, 50 y 90 por ciento de destilado de la Refinería Miguel Hidalgo, por categoría de producto terminado de la Gasolina Magna resto del país y se tomaron 492 lecturas de cada porcentaje, las cuales corresponden del día primero de Enero hasta el día 13 de Junio de 2006.

Se formaron 164 subgrupos, ya que solo se hacen 3 lecturas al día, las cuales fueron tomadas consecutivamente.

Esta información se recolecto con la finalidad de presentar un seguimiento completo a las posibles causas que existieran y predecir el comportamiento de este proceso para los primeros 6 meses del año 2007.

4.3 APLICACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como ya se menciona en el capítulo 4.2 la variable de salida a controlar es la temperatura en °C del rango de destilación de la gasolina, se aplico el estudio de control estadístico de proceso para verificar que el rango de destilación de la gasolina Magna resto del país cumple con las especificaciones establecidas por la norma "NOM-086" descritas en el capítulo 1.4.

En primera parte se obtuvo el desempeño actual de la variable Temperatura (°C) para cada porcentaje (10%, 50% y 90%) de destilado, vía el análisis de su capacidad, utilizando histogramas, índices de capacidad y desempeño observado (porcentaje en partes por millón de los datos fuera de especificación) con la finalidad de encontrar discontinuidades que se producen en los datos y así mismo la relación que guarda el proceso con las especificaciones y normas establecidas, las cuales se encuentran en la tabla 1.2.

En la figura 4.5 se muestra el estudio de capacidad para el 10% de destilado dado por el *software* MINITAB (descrito en el capítulo 3.3).

En primera instancia se observa los Datos del Proceso (Process Data):

USL (Especificación o tolerancia Superior de la T (°C) para el 10% de destilado) es de 65°C y la cual esta dada por la Norma NOM-ECOL-086, que se encarga de establecer los límites de especificación sobre protección ambiental que deben reunir las gasolinas.

Mean (Media del Proceso) esta medida de tendencia central nos indica que la distribución de los datos de la muestra tienden a acumularse a 55.52, se obtuvo de la ecuación

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \text{ y de los datos que se encuentran en el apéndice 1 para el 10\% de destilado.}$$

Sample N (tamaño de la muestra) es el número de datos que se tomaron para realizar el estudio de Capacidad del 10% de destilado el cual fue de 492.

StDev Overall (Desviación estándar a largo plazo) nos indica la variabilidad total del proceso, incluyendo la variación entre subgrupos esta dada por el valor de 6.16, se obtuvo de la

ecuación $S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}$ y de los datos que se encuentran en el apéndice 1 para el 10% de destilado.

StDev Within (Desviación estándar a corto plazo) se refiere a la variabilidad dentro de los subgrupos y esta dada por el valor de 5.09, el cual se obtuvo de la siguiente ecuación:

$S_{within} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i^2)}$ y de los datos que se encuentran en el apéndice 2 para el 10% de destilado.

donde $S_i^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$, n es el tamaño de muestra de cada subgrupo.

Del histograma de la figura 4.5 se observa que algunas temperaturas están desplazadas hacia la derecha del cuerpo del histograma y están fuera de la especificación superior. La curva angosta es la distribución potencial (variación de corto plazo) que se tendría si se reduce la variabilidad entre subgrupos a los niveles de la variación dentro de subgrupos. La curva punteada y más amplia es la variación actual que tienen las temperaturas.

Así mismo la capacidad del 10% de destilación a corto plazo esta dada por el índice de capacidad C_{pk} , el cual tiene un valor de 0.63 que es pequeño con respecto al valor de 1.25 (mencionado en la tabla 2.12 del capítulo 2.7.3), lo que indica que el proceso es incapaz de cumplir con la especificación superior, así mismo la capacidad a largo plazo no garantiza el cumplimiento de la especificación superior notando que el valor de P_{pk} es 0.51, menor que 1.25, el cual sirve para considerar si el proceso es adecuado. Esto lleva a una realidad en la cual se tienen 62157 ppm fuera de la especificación superior. Los índices de capacidad C_{pk} y P_{pk} se calcularon con la fórmula 10 para el primero y para el segundo con la fórmula 13 del capítulo 2.7.3.

Análisis de Capacidad de Proceso para 10%

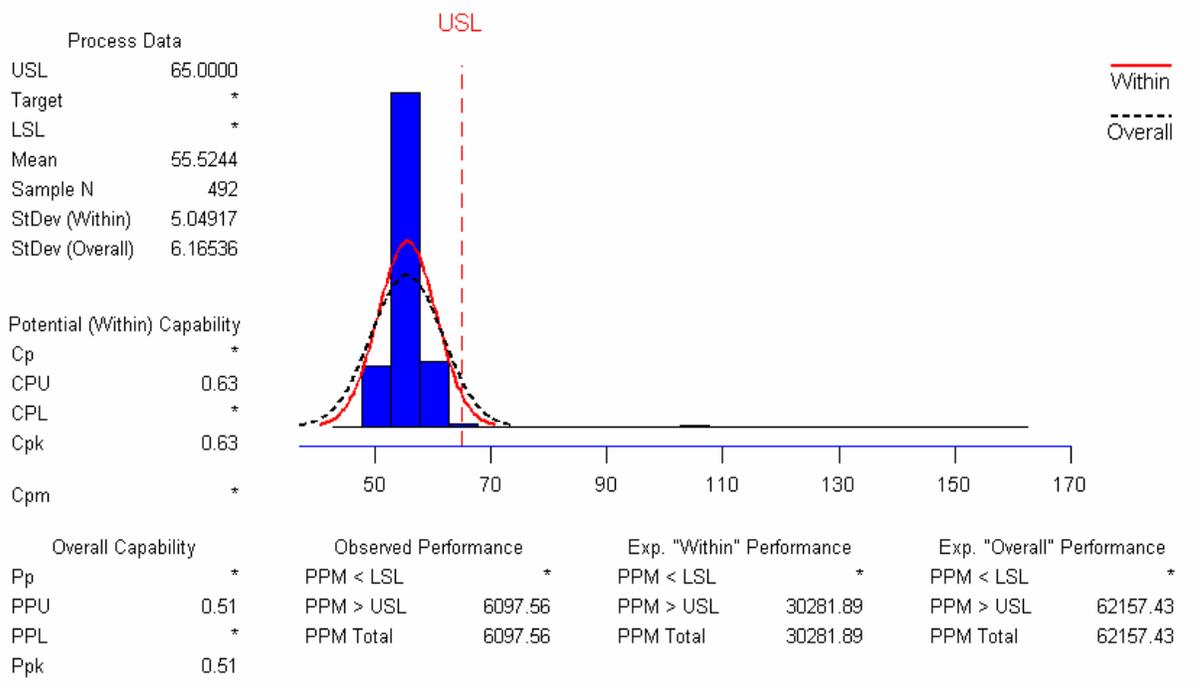


FIGURA 4.5 Gráfica de Estudio de capacidad para el 10% de destilado

De lo anterior se puede observar que el proceso es incapaz de cumplir con la especificación superior, y por tanto se realizó un estudio de estabilidad para conocer el estado inicial del proceso, así mismo encontrar las causas atribuibles de este proceso, fundamentar mejor la búsqueda de las soluciones, utilizando una gráfica de control \bar{X} -R.

En el marco teórico se comento que las gráficas de control para variables se utilizan para controlar una característica medible de calidad de un producto o una variable de salida de un proceso. El gráfico de \bar{X} -R es el gráfico de control de mayor sensibilidad, para descubrir e identificar causas directamente, ya que proporciona 3 tipos de información: Intervalo de variación en el que básicamente se mueve la característica de calidad, consistencia de la realización y nivel medio de la característica de calidad. Además la elaboración de esta gráfica tiene como propósito lograr un criterio para decidir si conviene investigar causas de

variación del proceso de producción o lograr un criterio para decisiones rutinarias, sobre la aplicación inadecuada del método de prueba (ASTM-086).

La gráfica de control \bar{X} -R se elaboró con tamaño de subgrupo igual a tres, los subgrupos se formaron de acuerdo con el tiempo de producción, y los elementos del subgrupo se tomaron consecutivamente durante el 1er día del mes de Enero al día 13 del mes de Junio.

En la figura 4.6 se muestra la gráfica de control \bar{X} -R para el 10% de destilado por mes dado por el *software* MINITAB (descrito en el capítulo 3.4), de la cual se aprecia que el proceso es inestable en cuanto a tendencia central y a dispersión en términos generales, ya que en la gráfica \bar{X} hay 10 puntos (subgrupos 40, 57, 59, 68, 81, 83, 85, 98, 145 y 164) que están fuera de los límites de control establecidos respectivamente para cada mes, así mismo en la gráfica R hay 5 puntos (subgrupos 26, 33, 98, 145 y 164) que están fuera de los límites de control.

Aplicando el criterio de puntos fuera de los límites por mes de la gráfica \bar{X} , vemos que en el mes de Febrero que de 28 puntos, 3 están fuera de los límites de control, en Marzo de 31 puntos, 4 están fuera de los límites de control, en Abril de 30 puntos, 1 esta fuera de los límites de control, en Mayo de 31 puntos, 1 esta fuera de los límites de control y en Junio de 13 puntos, 1 esta fuera de los límites de control.

Por tanto, sólo considerando los puntos fuera, una estimación del índice de inestabilidad para cada mes está dado por

$$S_{i,febrero} = \frac{3}{28} \times 100 = 10\%$$

$$S_{i,marzo} = \frac{4}{31} \times 100 = 12\%$$

$$S_{i,abril} = \frac{1}{30} \times 100 = 3\%$$

$$S_{i,mayo} = \frac{1}{31} \times 100 = 3\%$$

$$S_{i,junio} = \frac{1}{13} \times 100 = 7\%$$

De la misma manera para la gráfica R vemos que en el mes de Enero, Febrero, Abril, Mayo y Junio, 1 punto está fuera de los límites de control correspondiente a cada mes, por consiguiente el índice de inestabilidad para cada mes está dado por

$$S_{i,enero} = \frac{1}{31} \times 100 = 3\%$$

$$S_{i,febrero} = \frac{1}{28} \times 100 = 4\%$$

$$S_{i,abril} = \frac{1}{30} \times 100 = 3\%$$

$$S_{i,mayo} = \frac{1}{31} \times 100 = 3\%$$

$$S_{i, junio} = \frac{1}{13} \times 100 = 7\%$$

Los índices de inestabilidad del mes de Febrero, Marzo y Junio para la gráfica \bar{X} representan un porcentaje grande con respecto al 5%, el cual representa un proceso con estabilidad regular, por lo que el proceso puede considerarse inestable en cuanto a tendencia central. Así mismo los índices de inestabilidad del mes de Enero, Febrero, Marzo, Abril y Mayo para la gráfica R representan un porcentaje menor al 5%, por lo que el proceso puede considerarse regularmente estable en cuanto a dispersión.

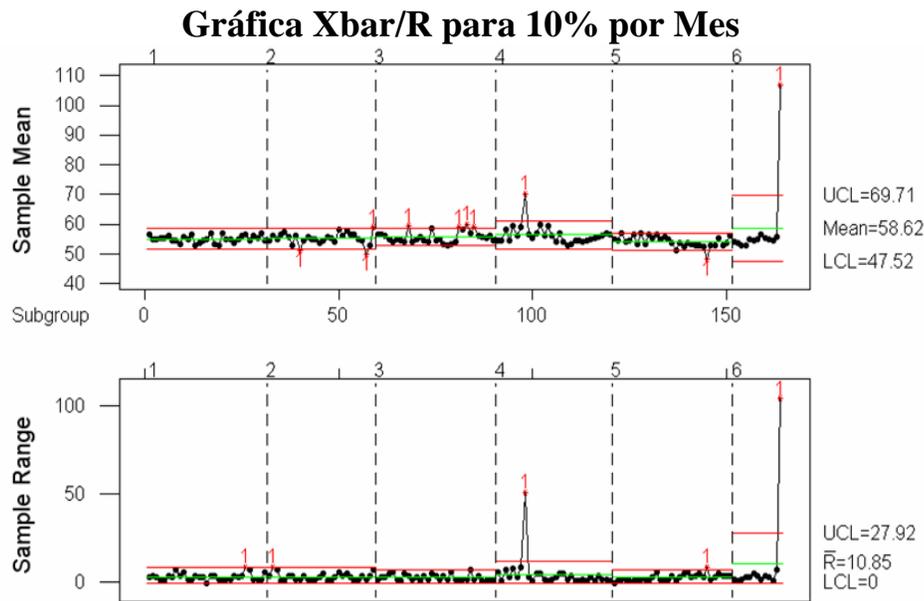


FIGURA 4.6 Gráfica de Control para el 10% de destilado

En suma, la situación inicial del proceso es inestable e incapaz.

Este hecho indica la presencia en el proceso de causas especiales, es decir, existen factores que producen variaciones de calidad que es posible identificar y corregir. Se tratará de buscar e identificar el factor que contribuye en mayor grado a estas causas de inestabilidad, las cuales pueden estar influyendo en el desempeño de la variable temperatura del 10% de destilado, así mismo se podrá establecer un criterio de localización de estas causas.

Se realizó una gráfica para 10% de destilado por mes para observar en que día se obtuvieron las lecturas que produjeron rangos fuera de los límites de control, con la finalidad de encontrar las causas de inestabilidad y así mismo las causas de incapacidad del proceso.

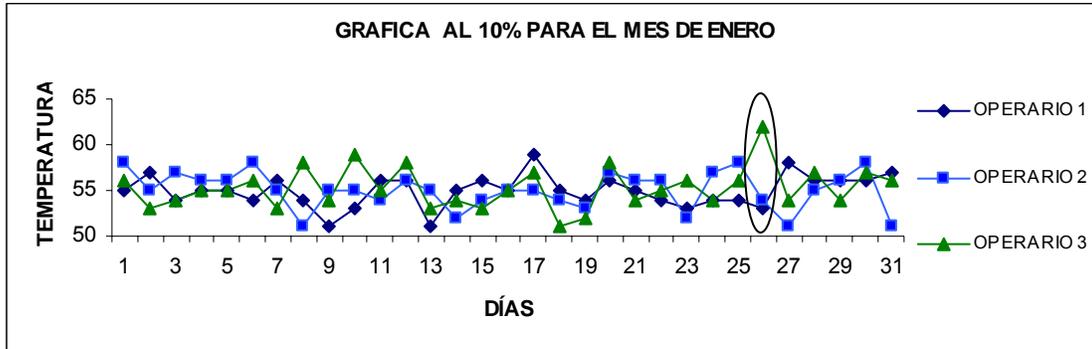


FIGURA 4.7 Gráfica para el 10% de destilado por operario mes de Enero

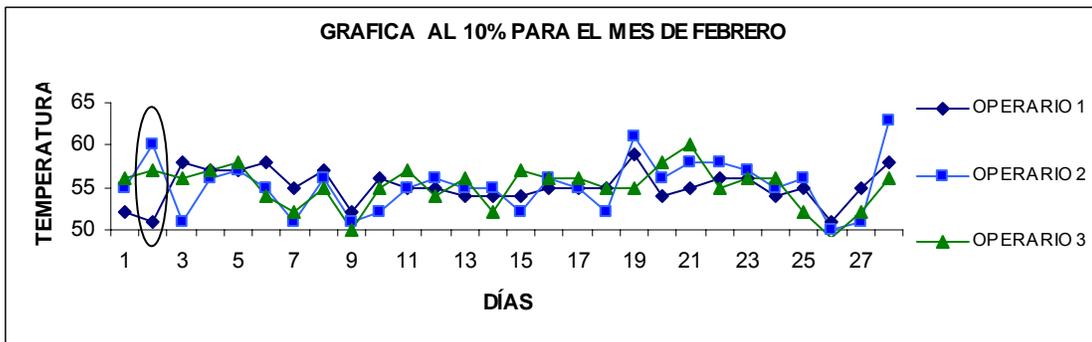


FIGURA 4.8 Gráfica para el 10% de destilado por operario mes de Febrero

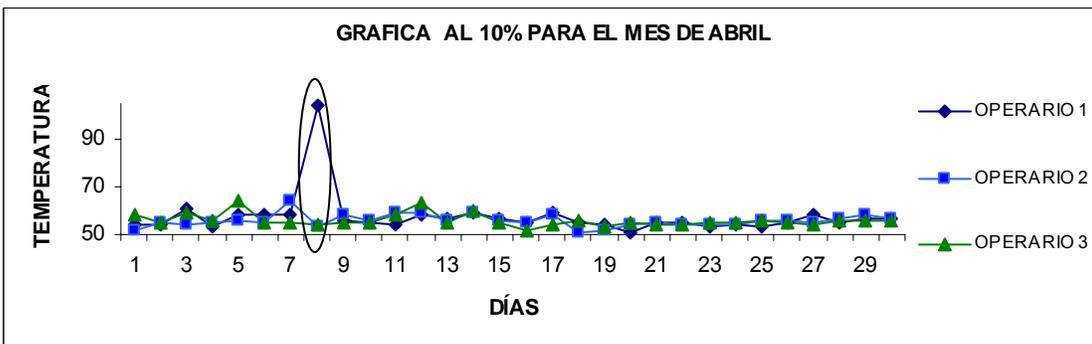


FIGURA 4.9 Gráfica para el 10% de destilado por operario mes de Abril

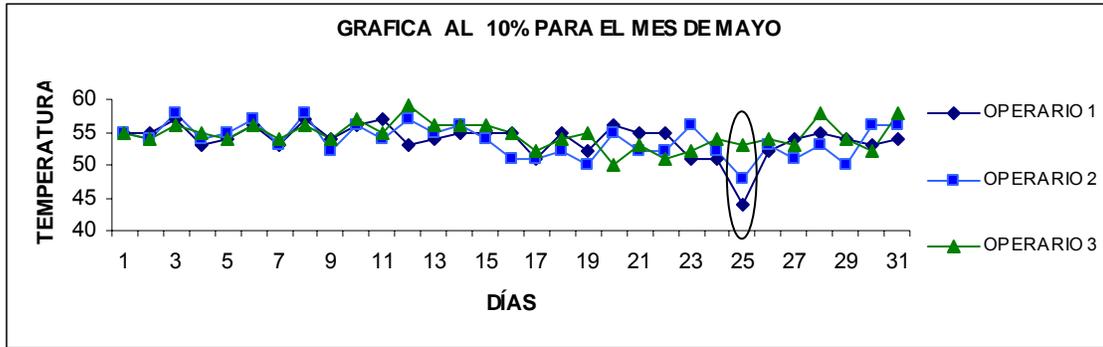


FIGURA 4.10 Gráfica para el 10% de destilado por operario mes de Mayo

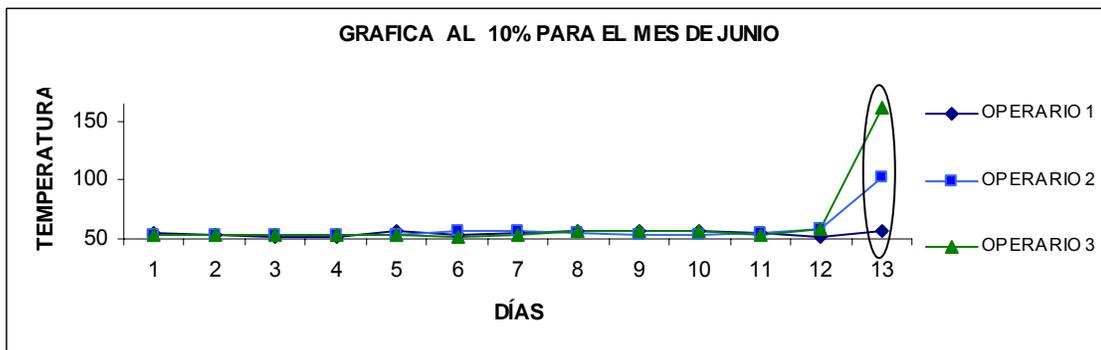


FIGURA 4.11 Gráfica para el 10% de destilado por operario mes de Junio

De las figuras 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11 se puede observar que las lecturas señaladas por un círculo produjeron un rango fuera de los límites de control, por lo que se analizó que el operario tres, obtuvo dos lecturas muy elevadas, así mismo el operario uno y dos obtuvieron una lectura elevada sobrepasando el límite de especificación, se realizó una visita al laboratorio para analizar los resultados y encontrar una posible causa de inestabilidad, en primera parte se reviso la bitácora, la cual demostró que las lecturas fueron correctamente introducidas al Sicolab, sin embargo se pudo encontrar mediante el registro de las personas que realizaron las pruebas, que la persona encargada en tomar las lecturas del tercer turno no se presento el día 26 de enero y fue rolada por otra persona del segundo turno que no fue capacitada para realizar este método de prueba. El operario uno obtuvo una lectura que sobrepaso el límite de especificación el día 8 de abril, la cual fue atribuida al proceso de elaboración de la gasolina magna, según el registro de la lectura para el 50% de destilado también se obtuvo una lectura fuera de límite de especificación. Los operarios dos y tres obtuvieron una lectura muy elevada el día 13 de junio, se investigo que la gasolina magna a prueba ese día en el segundo y tercer turno no estaba dentro de la categoría de producto terminado y no se debió introducir al Sicolab, esto se comprobó con la bitácora de registro por categoría de producto terminado.

De igual manera se realizo un análisis para el 50% y 90% de destilado, los resultados se muestran a continuación.

En la figura 4.12 se muestra el estudio de capacidad para el 50% de destilado dado por el software MINITAB (descrito en el capítulo 3.3).

En primera instancia se observa los Datos del Proceso (Process Data):

USL (Especificación o tolerancia Superior de la T (°C) para el 50% de destilado) es de 118°C, LSL (Especificación o tolerancia Inferior de la T (°C) para el 50% de destilado) y las cuales están dadas por la Norma NOM-ECOL-086, que se encarga de establecer los límites de especificación sobre protección ambiental que deben reunir las gasolinas.

Mean (Media del Proceso) esta medida de tendencia central nos indica que la distribución de los datos de la muestra tienden a acumularse a 101.88, se obtuvo de la ecuación

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \text{ y de los datos que se encuentran en el apéndice 1 para el 50\% de destilado.}$$

Sample N (tamaño de la muestra) es el número de datos que se tomaron para realizar el estudio de Capacidad del 50% de destilado el cual fue de 492.

StDev Overall (Desviación estándar a largo plazo) nos indica la variabilidad total del proceso, incluyendo la variación entre subgrupos esta dada por el valor de 6.39, se obtuvo de la

$$\text{ecuación } S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \text{ y de los datos que se encuentran en el apéndice 1 para el}$$

50% de destilado.

StDev Within (Desviación estándar a corto plazo) se refiere a la variabilidad dentro de los subgrupos y esta dada por el valor de 6.27, el cual se obtuvo de la siguiente ecuación:

$$S_{within} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i^2)} \text{ y de los datos que se encuentran en el apéndice 2 para el 50\% de}$$

destilado.

$$\text{donde } S_i^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2, \text{ n es el tamaño de muestra de cada subgrupo.}$$

Del histograma de la figura 4.12 se observa que algunas temperaturas están fuera de la especificación superior e inferior, además el cuerpo del histograma esta desplazado hacia la especificación superior. La curva angosta es la distribución potencial (variación de corto plazo) que se tendría si se reduce la variabilidad entre subgrupos a los niveles de la variación dentro de subgrupos. La curva punteada y más amplia es la variación actual que tienen las temperaturas del 50% de destilado.

Así mismo la capacidad real para el 50% de destilación a corto plazo esta dada por el índice real de capacidad C_{pk} , el cual tiene un valor de 0.86 que es pequeño con respecto al valor de 1.25 (mencionado en la tabla 2.12 del capítulo 2.7.3), misma que no garantiza a largo plazo el cumplimiento de las especificaciones, ya que a largo plazo la capacidad es $P_{pk}=0.84$. Esto lleva a una realidad en la cual se tienen 5881 ppm que no cumplen con las especificaciones.

La capacidad potencial para el 50% de destilado a corto plazo esta dado por $C_p = 1.09$, el cual es un valor pequeño con respecto al valor de 1.33 (mencionado en la tabla 2.12 del capítulo 2.7.3), misma que no garantiza a largo plazo el cumplimiento de las especificaciones, ya que a largo plazo la capacidad es $P_p = 1.07$, por lo que el proceso es incapaz de cumplir con las especificaciones para el 50% de destilado. Los índices de capacidad C_{pk} y P_{pk} se calcularon con la fórmula 9 y 10 para el primero y para el segundo con la fórmula 12 y 13 que se encuentran en el apartado 2.7.3 y para los índices de capacidad C_p y P_p se utilizaron las ecuaciones 7 y 11 respectivamente del capítulo 2.7.3.

Análisis de Capacidad de Proceso para 50%

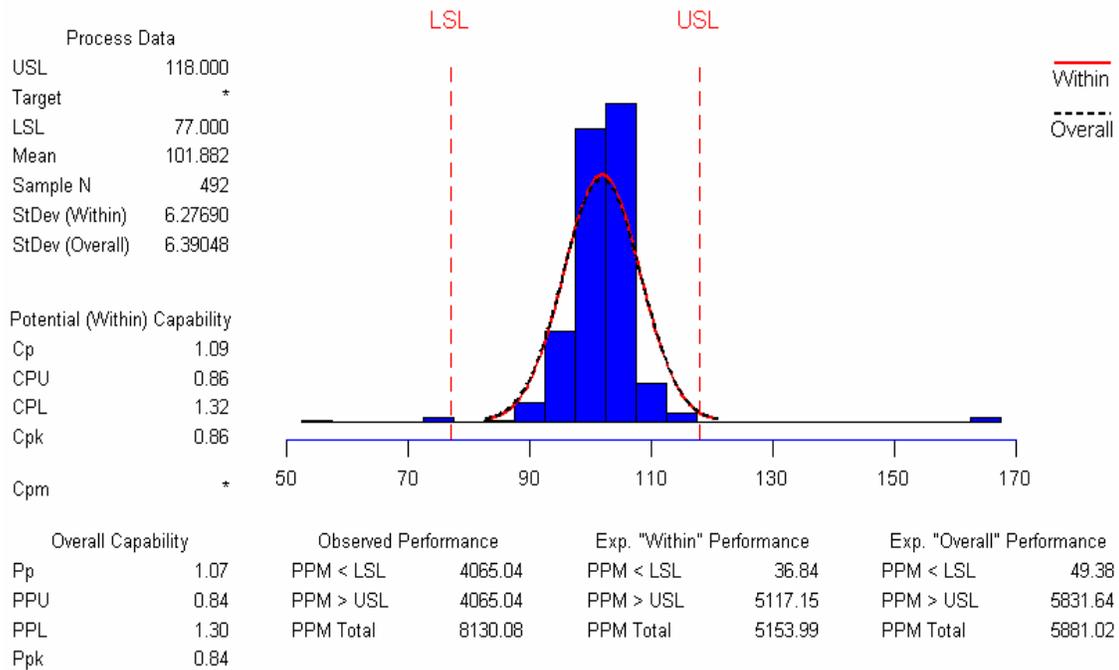


FIGURA 4.12 Gráfica de Estudio de capacidad para el 50% de destilado

De lo anterior se puede observar que el proceso para el 50% de destilado es incapaz de cumplir con las especificaciones, siguiendo el mismo análisis del 10% de destilado se realizó un estudio de estabilidad para conocer el estado inicial del proceso, así mismo encontrar las causas atribuibles de este proceso, fundamentar mejor la búsqueda de las soluciones, utilizando una gráfica de control \bar{X} -R.

La gráfica de control \bar{X} -R se elaboró con tamaño de subgrupo igual a tres, los subgrupos se formaron de acuerdo con el tiempo de producción, y los elementos del subgrupo se tomaron consecutivamente durante el 1er día del mes de Enero al día 13 del mes de Junio.

En la figura 4.13 se muestra la gráfica de control \bar{X} -R para el 50% de destilado por mes dado por el software MINITAB (descrito en el capítulo 3.4), de la cual se aprecia que el proceso es inestable en cuanto a tendencia central y a dispersión en términos generales, ya

que en la gráfica \bar{X} hay 9 puntos (subgrupos 10, 38, 51, 75, 86, 98, 116, 145 y 150) que están fuera de los límites de control establecidos respectivamente para cada mes, así mismo en la gráfica R hay 5 puntos (subgrupos 23, 67, 75, 98 y 164) que están fuera de los límites de control.

Aplicando el criterio de puntos fuera de los límites por mes de la gráfica \bar{X} , vemos que en el mes de Enero que de 31 puntos 1 está fuera de los límites de control, en Febrero que de 28 puntos, 2 están fuera de los límites de control, en Marzo de 31 puntos, 2 están fuera de los límites de control, en Abril de 30 puntos, 2 están fuera de los límites de control y en Mayo de 31 puntos, 2 están fuera de los límites de control.

Por tanto, sólo considerando los puntos fuera, una estimación del índice de inestabilidad para cada mes está dado por

$$S_{i,enero} = \frac{1}{31} \times 100 = 3\%$$

$$S_{i,febrero} = \frac{2}{28} \times 100 = 7\%$$

$$S_{i,marzo} = \frac{2}{31} \times 100 = 6\%$$

$$S_{i,abril} = \frac{2}{30} \times 100 = 6\%$$

$$S_{i,mayo} = \frac{2}{31} \times 100 = 6\%$$

De la misma manera para la gráfica R vemos que en el mes de Enero, Abril y Junio, 1 punto está fuera de los límites de control correspondiente a cada mes y en Marzo hay 2 puntos fuera de los límites de control por consiguiente el índice de inestabilidad para cada mes está dado por

$$S_{i,enero} = \frac{1}{31} \times 100 = 3\%$$

$$S_{i,marzo} = \frac{2}{30} \times 100 = 6\%$$

$$S_{i,abril} = \frac{1}{30} \times 100 = 3\%$$

$$S_{i,junio} = \frac{1}{13} \times 100 = 7\%$$

Los índices de inestabilidad del mes de Febrero, Marzo, Abril y Mayo para la gráfica \bar{X} representan un porcentaje grande con respecto al 5%, el cual representa un proceso con estabilidad regular, por lo que el proceso puede considerarse inestable en cuanto a tendencia central. Así mismo los índices de inestabilidad del mes de Marzo y Junio para la gráfica R representan un porcentaje mayor al 5%, por lo que el proceso puede considerarse inestable en cuanto a dispersión para el 50% de destilado.

Gráfica Xbar/R para 50% por Mes

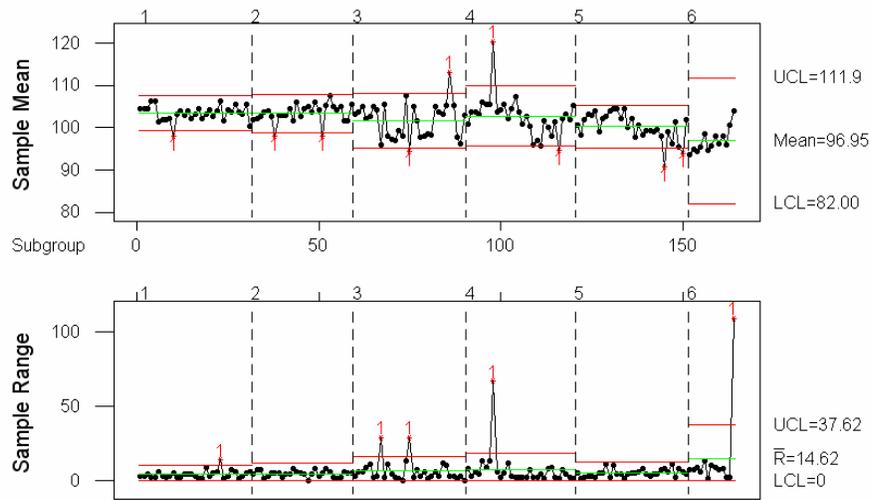


FIGURA 4.13 Gráfica de Control para 50% de destilado

En suma, la situación inicial para el 50% de destilado es inestable e incapaz.

Este hecho indica la presencia en el proceso de causas especiales, es decir, existen factores que producen variaciones de calidad que es posible identificar y corregir. Se tratara de buscar e identificar el factor que contribuye en mayor grado a estas causas de inestabilidad, las cuales pueden estar influyendo en el desempeño de la variable temperatura del 50% de destilado, así mismo se podrá establecer un criterio de localización de estas causas.

Se realizo una gráfica para 50% de destilado por mes para observar en que día se obtuvieron las lecturas que produjeron rangos fuera de los límites de control, con la finalidad de encontrar las causas de inestabilidad y así mismo las causas de incapacidad del proceso.

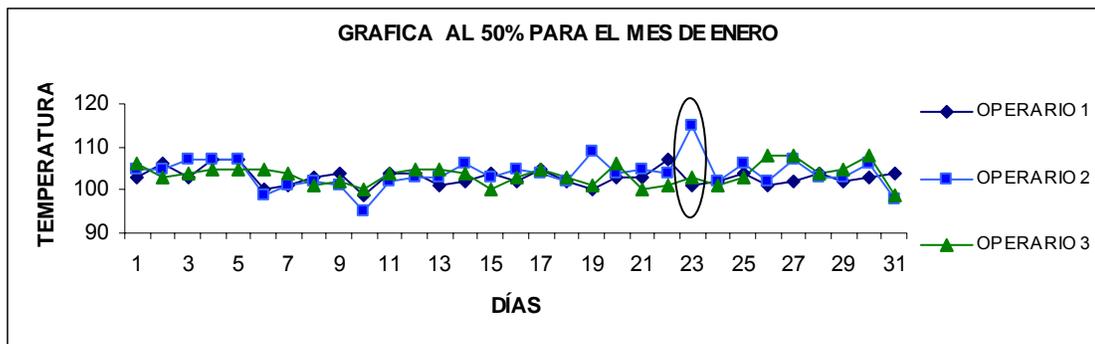


FIGURA 4.14 Gráfica para el 50% de destilado por operario mes de Enero

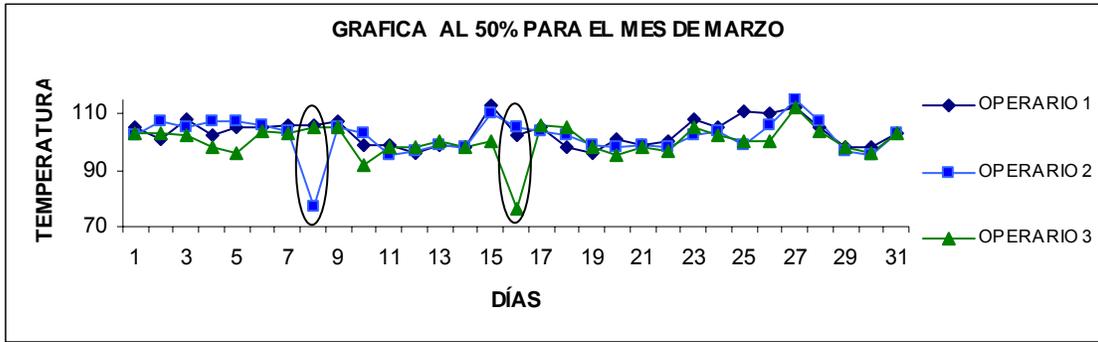


FIGURA 4.15 Gráfica para el 50% de destilado por operario mes de Marzo

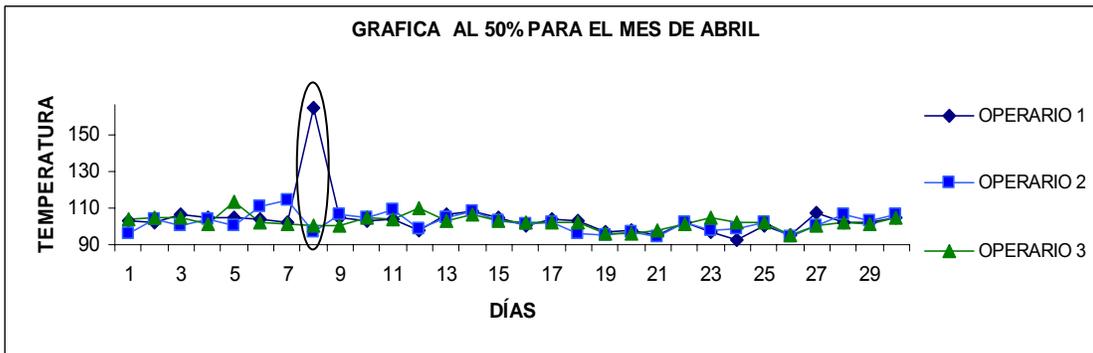


FIGURA 4.16 Gráfica para el 50% de destilado por operario mes de Abril

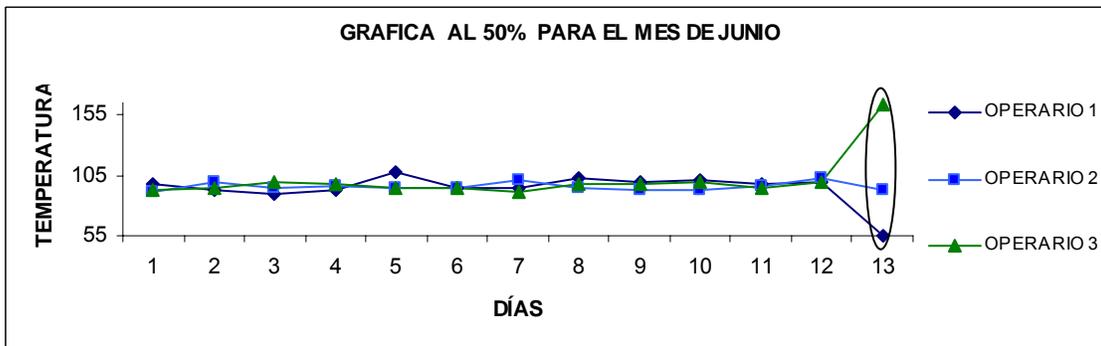


FIGURA 4.17 Gráfica para el 50% de destilado por operario mes de Junio

De las figuras 4.14, 4.15, 4.16 y 4.17 se puede observar que las lecturas señaladas por un círculo produjeron un rango fuera de los límites de control, por lo que se analizó que el operario tres obtuvo una lectura que sobrepaso el límite superior de especificación y otra que esta fuera del límite inferior de especificación, así mismo el operario uno obtuvo una lectura elevada sobrepasando el límite de especificación y otra que esta fuera del límite inferior de especificación, se realizó una visita al laboratorio para analizar los resultados y encontrar un posible causa de inestabilidad, en primera parte se reviso la bitácora, la cual demostró que las lecturas fueron correctamente introducidas al Sicolab, sin embargo se pudo encontrar mediante el registro de las personas que realizaron las pruebas, que la persona encargada en tomar las lecturas del tercer turno no se presento el día 16 de marzo y fue rolada por otra persona del segundo turno que no fue capacitada para realizar este método de prueba, ya que no tomo en cuenta las correcciones de la temperatura en cada punto de destilación por

presión barométrica. El operario uno obtuvo una lectura que sobrepaso el límite de especificación superior el día 8 de abril, la cual fue atribuida al proceso de elaboración de la gasolina magna, según el registro de la lectura para el 10% de destilado de ese mismo producto obteniendo una lectura fuera de límite de especificación. El día 13 de junio, el operario uno obtuvo una lectura que esta fuera del límite de especificación inferior y el operario tres obtuvo una lectura muy elevada, se investigo que la gasolina magna a prueba ese día en el primero y tercer turno no estaba dentro de la categoría de producto terminado y no se debió introducir al Sicolab, esto se comprobó con la bitácora de registro por categoría de producto terminado.

En la figura 4.18 se muestra el estudio de capacidad para el 90% de destilado dado por el *software* MINITAB (descrito en el capítulo 3.3).

En primera instancia se observa los Datos del Proceso (Process Data):

USL (Especificación o tolerancia Superior de la T (°C) para el 90% de destilado) es de 190°C y la cual esta dada por la Norma NOM-ECOL-086, que se encarga de establecer los límites de especificación sobre protección ambiental que deben de reunir las gasolinas.

Mean (Media del Proceso) esta medida de tendencia central nos indica que la distribución de los datos de la muestra tienden a acumularse a 167.82, se obtuvo de la ecuación

$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$ y de los datos que se encuentran en el apéndice 1 para el 90% de destilado.

Sample N(tamaño de la muestra) es el número de datos que se tomaron para realizar el estudio de Control Estadístico del 90% de destilado el cual fue de 492.

StDev Overall (Desviación estándar a largo plazo) nos indica la variabilidad total del proceso, incluyendo la variación entre subgrupos esta dada por 11.01, se obtuvo de la ecuación

$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}$ y de los datos que se encuentran en el apéndice 1 para el 90% de destilado.

StDev Within (Desviación estándar a corto plazo) se refiere a la variabilidad dentro de los subgrupos y esta dada por el valor de 8.23, el cual se obtuvo de la siguiente ecuación:

$S_{within} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i^2)}$ y de los datos que se encuentran en el apéndice 2 para el 90% de destilado.

donde $S_i^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2$, n es el tamaño de muestra de cada subgrupo.

Del histograma de la figura 4.18 se observa que algunas temperaturas están desplazadas hacia la izquierda del cuerpo del histograma y algunas están fuera de la especificación superior. La curva angosta es la distribución potencial (variación de corto plazo) que se tendría si se reduce la variabilidad entre subgrupos a los niveles de la variación dentro de subgrupos. La curva punteada y más amplia es la variación actual que tienen las temperaturas.

Así mismo la capacidad de este proceso a corto plazo esta dada por el índice de capacidad C_{pk} , el cual tiene un valor de 0.90 que es pequeño con respecto al valor de 1.25 (mencionado en la tabla 2.12 del capítulo 2.7.3), lo que indica que el proceso es incapaz de cumplir con la especificación superior, así mismo la capacidad a largo plazo no garantiza el cumplimiento de la especificación superior notando que el valor de P_{pk} es 0.67, menor que 1.25, el cual sirve para considerar si el proceso es adecuado. Esto lleva a una realidad en la cual se tienen 22082 ppm fuera de la especificación superior. Los índices de capacidad representan una capacidad pobre, la cual se muestra en los largos desplazamientos de la distribución del histograma.

Los índices de capacidad C_{pk} y P_{pk} se calcularon con la fórmula 10 para el primero y para el segundo con la fórmula 13 que se encuentran en el capítulo 2.7.3.

Análisis de Capacidad de Proceso para 90%

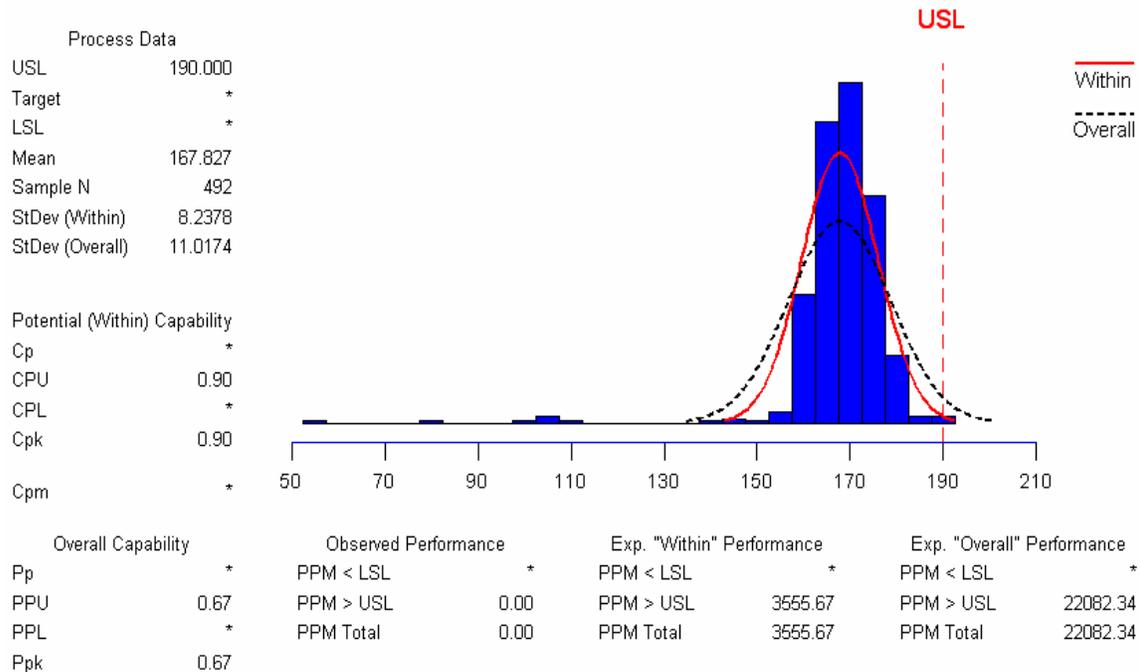


FIGURA 4.18 Gráfica de Estudio de capacidad para el 90% de destilado

De lo anterior se puede observar que el proceso es incapaz de cumplir con la especificación superior, y por tanto se realizó un estudio de estabilidad para conocer el estado inicial del proceso, así mismo encontrar las causas atribuibles de este proceso, fundamentar mejor la búsqueda de las soluciones, utilizando una gráfica de control \bar{X} -R.

La gráfica de control \bar{X} -R se elaboró con tamaño de subgrupo igual a tres, los subgrupos se formaron de acuerdo con el tiempo de producción, y los elementos del subgrupo se tomaron consecutivamente durante el 1er día del mes de Enero al día 13 del mes de Junio.

En la figura 4.19 se muestra la gráfica de control \bar{X} -R para el 90% de destilado por mes dado por el *software* MINITAB (descrito en el capítulo 3.4), de la cual se aprecia que el proceso es inestable en cuanto a tendencia central y a dispersión en términos generales, ya que en la gráfica \bar{X} hay 12 puntos (subgrupos 1, 10, 27, 52, 62, 65, 88, 93, 103, 118, 134 y 164) que están fuera de los límites de control establecidos respectivamente para cada mes, así mismo en la gráfica R hay 7 puntos (subgrupos 1, 52, 67, 75, 76, 134 y 164) que están fuera de los límites de control.

Aplicando el criterio de puntos fuera de los límites por mes de la gráfica \bar{X} , vemos que en el mes de Enero que de 31 puntos, 3 están fuera de los límites de control, en Febrero que de 28 puntos, 1 esta fuera de los límites de control, en Marzo de 31 puntos, 3 están fuera de los límites de control, en Abril de 30 puntos, 3 esta fuera de los límites de control, en Mayo de 31 puntos, 1 esta fuera de los límites de control y en Junio de 13 puntos, 1 esta fuera de los límites de control.

Por tanto, sólo considerando los puntos fuera, una estimación del índice de inestabilidad para cada mes está dado por

$$S_{i,enero} = \frac{3}{31} \times 100 = 9\%$$

$$S_{i,febrero} = \frac{3}{28} \times 100 = 10\%$$

$$S_{i,marzo} = \frac{3}{31} \times 100 = 9\%$$

$$S_{i,abril} = \frac{3}{30} \times 100 = 10\%$$

$$S_{i,mayo} = \frac{1}{31} \times 100 = 3\%$$

$$S_{i,junio} = \frac{1}{13} \times 100 = 7\%$$

De la misma manera para la gráfica R vemos que en el mes de Enero, Febrero, Mayo y Junio, 1 punto está fuera de los límites de control correspondiente a cada mes y en Marzo hay 3 puntos fuera de los límites de control por consiguiente el índice de inestabilidad para cada mes está dado por

$$S_{i,enero} = \frac{1}{31} \times 100 = 3\%$$

$$S_{i,febrero} = \frac{1}{28} \times 100 = 4\%$$

$$S_{i, \text{abril}} = \frac{1}{30} \times 100 = 3\%$$

$$S_{i, \text{mayo}} = \frac{1}{31} \times 100 = 3\%$$

$$S_{i, \text{junio}} = \frac{1}{13} \times 100 = 7\%$$

Los índices de inestabilidad del mes de Enero, Febrero, Marzo, Abril y Junio para la gráfica \bar{X} representan un porcentaje grande con respecto al 5%, el cual representa un proceso con estabilidad regular, por lo que el proceso puede considerarse inestable en cuanto a tendencia central. Así mismo los índices de inestabilidad del mes de Enero, Febrero, Marzo, Abril y Mayo para la gráfica R representan un porcentaje menor al 5%, por lo que el proceso puede considerarse regularmente estable en cuanto a dispersión.

Gráfica Xbar/R para 90% por Mes

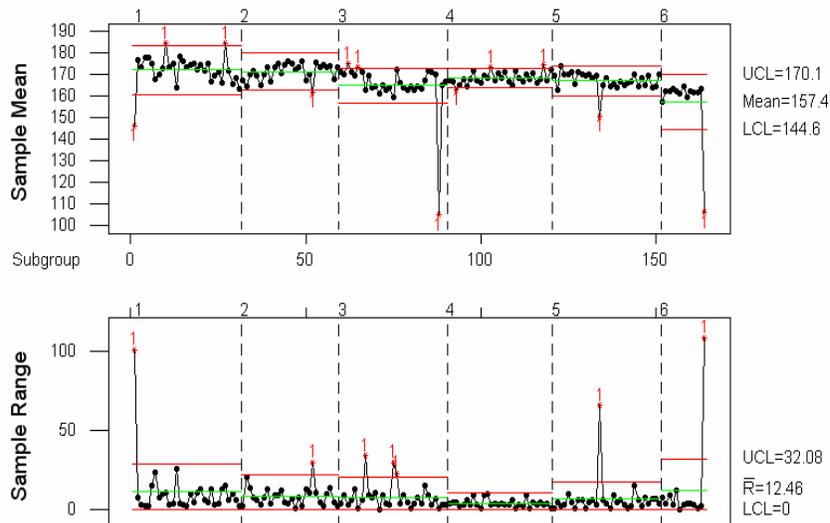


FIGURA 4.19 Gráfica de Control para el 90% de destilado

En suma, la situación inicial del proceso es inestable e incapaz.

Este hecho indica la presencia en el proceso de causas especiales, es decir, existen factores que producen variaciones de calidad que es posible identificar y corregir. Se tratará de buscar e identificar el factor que contribuye en mayor grado a estas causas de inestabilidad, las cuales pueden estar influyendo en el desempeño de la variable temperatura del 90% de destilado, así mismo se podrá establecer un criterio de localización de estas causas.

Se realizó una gráfica para 90% de destilado por mes para observar en que día se obtuvieron las lecturas que produjeron rangos fuera de los límites de control, con la finalidad de encontrar las causas de inestabilidad y así mismo las causas de incapacidad del proceso.

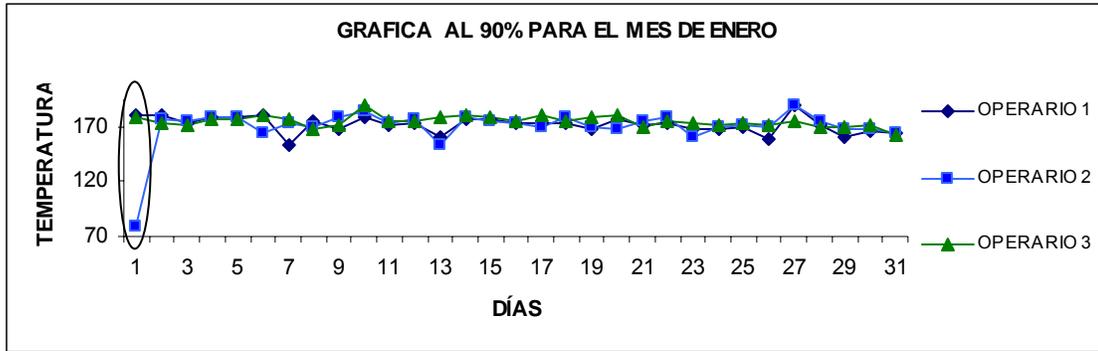


FIGURA 4.20 Gráfica para el 90% de destilado por operario mes de Enero

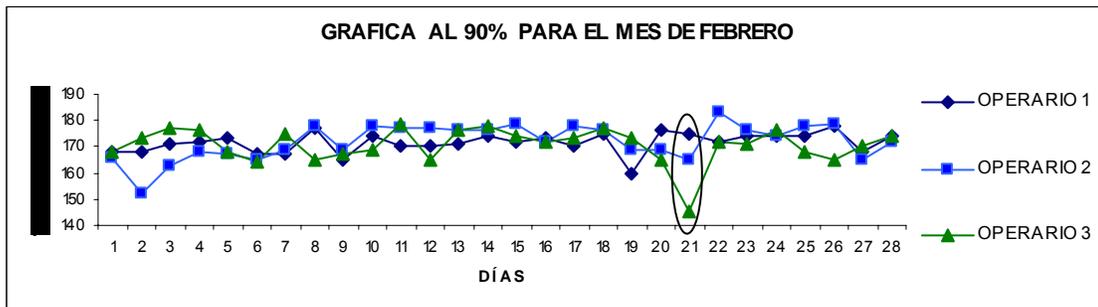


FIGURA 4.21 Gráfica para el 90% de destilado por operario mes de Febrero

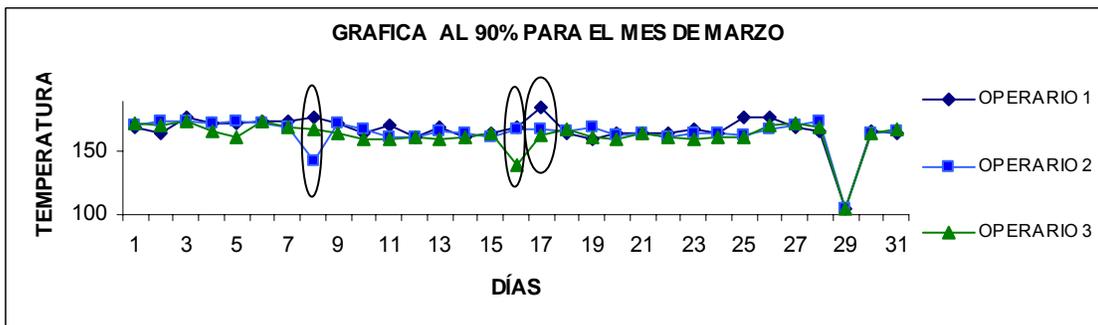


FIGURA 4.22 Gráfica para el 90% de destilado por operario mes de Marzo

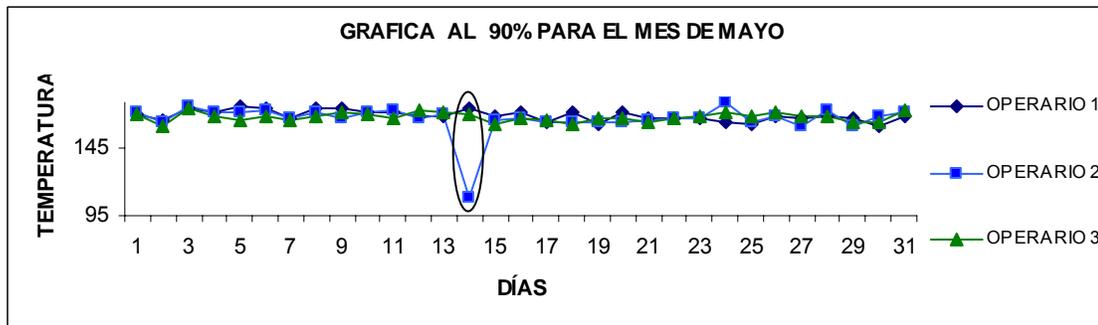


FIGURA 4.23 Gráfica para el 90% de destilado por operario mes de Mayo

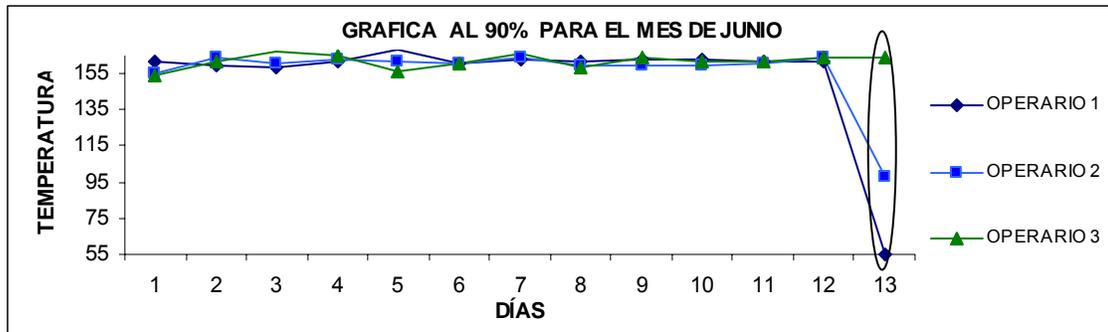


FIGURA 4.24 Gráfica para el 90% de destilado por operario mes de Junio

De las figuras 4.20, 4.21, 4.22, 4.23 y 4.24, se puede observar que las lecturas señaladas por un círculo produjeron un rango fuera de los límites de control, por lo que se analizó que el día 13 de junio en los tres turnos se aplicó la prueba a un producto intermedio, el cual tenía que seguir el proceso de producción y no registrar las lecturas al sicolab, se debe principalmente a la distracción del encargado de llevar las muestras y colocarlas en el recipiente correspondiente.

Se realizaron los cálculos manualmente para la elaboración de las gráficas de control \bar{X} -R por mes para cada uno de los porcentajes de destilado, con la finalidad de verificar que el *software* utilizado (MINITAB) es confiable en los resultados que arroja. A continuación se presentan los cálculos:

DATOS DE ENERO													
DIA	T.d.D al X_{ij}			OPERARIO	\bar{X}_i			S_i			R_i		
	10%	50%	90%		10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
1	55	103	180	1	56.33	104.67	146.00	1.53	1.53	58.03	3	3	101
	58	105	79	2									
	56	106	179	3									
2	57	106	181	G	55.00	104.67	177.00	2.00	1.53	4.00	4	3	8
	55	105	177	2									
	53	103	173	3									
3	54	103	173	1	55.00	104.67	173.33	1.73	2.08	1.53	3	4	3
	57	107	175	2									
	54	104	172	3									
4	55	107	178	1	55.33	106.33	178.00	0.58	1.15	1.00	1	2	2
	56	107	179	2									
	55	105	177	3									
5	55	107	178	1	55.33	106.33	178.00	0.58	1.15	1.00	1	2	2
	56	107	179	2									
	55	105	177	3									
6	54	100	180	1	56.00	101.33	175.00	2.00	3.21	8.66	4	6	15
	58	99	165	2									
	56	105	180	3									
7	56	101	153	1	54.67	102.00	168.00	1.53	1.73	13.08	3	3	24
	55	101	174	2									
	53	104	177	3									
8	54	103	175	1	54.33	102.00	170.33	3.51	1.00	4.16	7	2	8
	51	102	169	2									
	58	101	167	3									
9	51	104	168	1	53.33	102.33	172.67	2.08	1.53	5.03	4	3	10
	55	101	178	2									
	54	102	172	3									
10	53	99	179	1	55.67	98.00	184.67	3.06	2.65	5.51	6	5	11
	55	95	185	2									
	59	100	190	3									
11	56	104	172	1	55.00	103.33	173.67	1.00	1.15	1.53	2	2	3
	54	102	174	2									
	55	104	175	3									
12	56	104	173	1	56.67	104.00	175.00	1.15	1.00	2.00	2	2	4
	56	103	177	2									
	58	105	175	3									
13	51	101	160	1	53.00	103.00	164.00	2.00	2.00	13.45	4	4	26
	55	103	153	2									
	53	105	179	3									
14	55	102	176	1	53.67	104.00	178.33	1.53	2.00	2.08	3	4	4
	52	106	179	2									
	54	104	180	3									
15	56	104	176	1	54.33	102.33	176.33	1.53	2.08	1.53	3	4	3
	54	103	175	2									
	53	100	178	3									
16	55	102	173	1	55.00	103.33	173.67	0.00	1.53	1.15	0	3	2
	55	105	173	2									
	55	103	175	3									
17	59	105	173	1	57.00	104.67	174.33	2.00	0.58	5.13	4	1	10
	55	104	170	2									
	57	105	180	3									
18	55	102	173	1	53.33	102.33	175.33	2.08	0.58	2.52	4	1	5
	54	102	178	2									
	51	103	175	3									
19	54	100	168	1	53.00	103.33	172.33	1.00	4.93	5.86	2	9	11
	53	109	170	2									
	52	101	179	3									
20	56	103	176	1	57.00	104.33	174.33	1.00	1.53	6.66	2	3	13
	57	104	167	2									
	58	106	180	3									

21	55	103	172	1	55.00	102.67	172.00	1.00	2.52	3.00	2	5	6
	56	105	175	2									
	54	100	169	3									
22	54	107	173	1	55.00	104.00	175.33	1.00	3.00	2.52	2	6	5
	56	104	178	2									
	55	101	175	3									
23	53	101	167	1	53.67	106.33	166.67	2.08	7.57	6.51	4	14	13
	52	115	160	2									
	56	103	173	3									
24	54	102	168	1	55.00	101.67	169.67	1.73	0.58	1.53	3	1	3
	57	102	170	2									
	54	101	171	3									
25	54	104	169	1	56.00	104.33	171.33	2.00	1.53	2.08	4	3	4
	58	106	172	2									
	56	103	173	3									
26	53	101	158	1	56.33	103.67	166.00	4.93	3.79	7.00	9	7	13
	54	102	169	2									
	62	108	171	3									
27	58	102	189	1	54.33	105.67	184.67	3.51	3.21	8.39	7	6	15
	51	107	190	2									
	54	108	175	3									
28	56	104	172	1	56.00	103.67	172.00	1.00	0.58	3.00	2	1	6
	55	103	175	2									
	57	104	169	3									
29	56	102	160	1	55.33	103.33	165.67	1.15	1.53	5.13	2	3	10
	56	103	167	2									
	54	105	170	3									
30	56	103	166	1	57.00	105.67	168.67	1.00	2.52	3.06	2	5	6
	58	106	168	2									
	57	108	172	3									
31	57	104	164	1	54.67	100.33	163.33	3.21	3.21	1.15	6	6	2
	51	98	164	2									
	56	99	162	3									
					\bar{X}								
					10%	50%	90%						
					55.08	103.49	172.12						
								\bar{R}					
								10%	50%	90%			
								3.3871	3.9677	11.226			

Tabla 4.5 Datos para elaborar las gráficas de control del mes de Enero

Límites de Control para la Gráfica \bar{X} para el 10% de destilado del mes de Enero

$$LCS = \bar{X} + A_2 \bar{R} = 55.08 + (1.023 \cdot 3.387) = 58.5402688$$

$$\text{Línea central} = \bar{X} = 55.08$$

$$LCI = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 55.08 - (1.023 \cdot 3.387) = 51.61026$$

Nota A_2 , D_4 y D_3 se tomaron de la tabla 2.4 tomando como tamaño de muestra n igual a 3 para el 10%, 50% y 90% de destilado.

Límites de Control para la Gráfica R para el 10% de destilado del mes de Enero

$$LCS = D_4 \bar{R} = 2.5735 * 3.387 = 8.71669355$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 3.387$$

$$LCI = D_3 \bar{R} = 0 * 3.387 = 0$$

Límites de Control para la Gráfica \bar{X} para el 50% de destilado del mes de Enero

$$LCS = \bar{X} + A_2 \bar{R} = 103.5 + (1.023 * 3.968) = 107.553624$$

$$\text{Línea central} = \bar{X} = 103.5$$

$$LCI = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 103.5 - (1.023 * 3.968) = 99.4356237$$

Límites de Control para la Gráfica R para el 50% de destilado del mes de Enero

$$LCS = D_4 \bar{R} = 2.5735 * 3.968 = 10.2109839$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 3.968$$

$$LCI = D_3 \bar{R} = 0 * 3.968 = 0$$

Límites de Control para la Gráfica \bar{X} para el 90% de destilado del mes de Enero

$$LCS = \bar{X} + A_2 \bar{R} = 172.1 + (1.023 * 11.23) = 183.60228$$

$$\text{Línea central} = \bar{X} = 172.1$$

$$LCI = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 172.1 - (1.023 * 11.23) = 160.63428$$

Límites de Control para la Gráfica R para el 90% de destilado del mes de Enero

$$LCS = D_4 \bar{R} = 2.5735 * 11.23 = 28.8896129$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 11.23$$

$$LCI = D_3 \bar{R} = 0 * 11.23 = 0$$

DATOS DE FEBRERO													
DIA	T.d.D al X_{ij}			OPERARIO	\bar{X}_i			S_i			R_i		
	10%	50%	90%		10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
1	52	100	168	1	54.33	102.00	167.33	2.08	2.00	1.15	4	4	2
	55	102	166	2									
	56	104	168	3									
2	51	99	168	1	56.00	102.33	164.33	4.58	3.51	10.97	9	7	21
	60	102	152	2									
	57	106	173	3									
3	58	105	171	1	55.00	102.67	170.33	3.61	4.04	7.02	7	7	14
	51	98	163	2									
	56	105	177	3									
4	57	103	172	1	56.67	103.67	172.00	0.58	0.58	4.00	1	1	8
	56	104	168	2									
	57	104	176	3									
5	57	106	173	1	57.33	104.00	169.33	0.58	1.73	3.21	1	3	6
	57	103	167	2									
	58	103	168	3									
6	58	100	167	1	55.67	102.67	165.33	2.08	2.52	1.53	4	5	3
	55	103	165	2									
	54	105	164	3									
7	55	100	167	1	52.67	98.00	170.33	2.08	2.65	4.16	4	5	8
	51	99	169	2									
	52	95	175	3									
8	57	105	177	1	56.00	103.00	173.33	1.00	2.65	7.23	2	5	13
	56	104	178	2									
	55	100	165	3									
9	52	102	165	1	51.00	103.00	167.00	1.00	1.00	2.00	2	2	4
	51	103	169	2									
	50	104	167	3									
10	56	105	174	1	54.33	103.00	173.67	2.08	2.00	4.51	4	4	9
	52	101	178	2									
	55	103	169	3									
11	55	102	170	1	55.67	104.67	175.33	1.15	2.31	4.73	2	4	9
	55	106	177	2									
	57	106	179	3									
12	55	101	170	1	55.00	101.67	170.67	1.00	4.04	6.03	2	8	12
	56	106	177	2									
	54	98	165	3									
13	54	103	171	1	55.00	106.00	174.33	1.00	3.00	2.89	2	6	5
	55	106	176	2									
	56	109	176	3									
14	54	103	174	1	53.67	102.67	176.00	1.53	2.52	2.00	3	5	4
	55	105	176	2									
	52	100	178	3									
15	54	103	172	1	54.33	104.67	175.00	2.52	2.08	3.61	5	4	7
	52	104	179	2									
	57	107	174	3									
16	55	105	173	1	55.67	105.00	172.33	0.58	0.00	0.58	1	0	1
	56	105	172	2									
	56	105	172	3									
17	55	103	170	1	55.33	103.67	173.67	0.58	2.08	4.04	1	4	8
	55	106	178	2									
	56	102	173	3									
18	55	102	175	1	54.00	106.00	176.00	1.73	4.00	1.00	3	8	2
	52	110	176	2									
	55	106	177	3									
19	59	103	160	1	58.33	104.33	167.33	3.06	1.53	6.66	6	3	13
	61	104	169	2									
	55	106	173	3									
20	54	100	176	1	56.00	98.00	170.00	2.00	2.65	5.57	4	5	11
	56	99	169	2									
	58	95	165	3									

21	55	106	175	1	57.67	105.33	161.67	2.52	4.04	15.28	5	8	30
	58	109	165	2									
	60	101	145	3									
22	56	104	172	1	56.33	107.67	175.67	1.53	3.21	6.35	3	6	11
	58	110	183	2									
	55	109	172	3									
23	56	105	174	1	56.33	105.00	173.67	0.58	1.00	2.52	1	2	5
	57	106	176	2									
	56	104	171	3									
24	54	104	174	1	55.00	104.33	174.67	1.00	0.58	1.15	2	1	2
	55	104	174	2									
	56	105	176	3									
25	55	105	174	1	54.33	105.00	173.33	2.08	1.00	5.03	4	2	10
	56	106	178	2									
	52	104	168	3									
26	51	101	178	1	50.00	101.67	174.00	1.00	3.06	7.81	2	6	14
	50	99	179	2									
	49	105	165	3									
27	55	104	168	1	52.67	101.67	167.67	2.08	2.52	2.52	4	5	5
	51	102	165	2									
	52	99	170	3									
28	58	106	174	1	59.00	105.67	173.33	3.61	2.52	1.15	7	5	2
	63	108	172	2									
	56	103	174	3									
					\bar{X}								
					10%	50%	90%						
					55.119	103.48	171.35						
								\bar{R}					
								10%	50%	90%			
								3.3929	4.4643	8.5357			

Tabla 4.6 Datos para elaborar las gráficas de control del mes de Febrero

Límites de Control para la Gráfica \bar{X} para el 10% de destilado del mes de Febrero

$$LCS = \bar{X} + A_2 \bar{R} = 55.12 + (1.023 * 3.393) = 58.5899405$$

$$\text{Línea central} = \bar{X} = 55.12$$

$$LCI = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 55.12 - (1.023 * 3.393) = 51.6481548$$

Límites de Control para la Gráfica R para el 10% de destilado del mes de Febrero

$$LCS = D_4 \bar{R} = 2.5735 * 3.393 = 8.73151786$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 3.393$$

$$LCI = D_3 \bar{R} = 0 * 3.393 = 0$$

Límites de Control para la Gráfica \bar{X} para el 50% de destilado del mes de Febrero

$$LCS = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 103.5 + (1.023 * 4.464) = 108.043155$$

$$\text{Línea central} = \bar{\bar{X}} = 103.5$$

$$LCI = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 103.5 - (1.023 * 4.464) = 98.9092262$$

Límites de Control para la Gráfica R para el 50% de destilado del mes de Febrero

$$LCS = = D_4 \bar{R} = 2.5735 * 4.464 = 11.4888393$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 4.464$$

$$LCI = = D_3 \bar{R} = 0 * 4.464 = 0$$

Límites de Control para la Gráfica \bar{X} para el 90% de destilado del mes de Febrero

$$LCS = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 171.3 + (1.023 * 8.536) = 180.077274$$

$$\text{Línea central} = \bar{\bar{X}} = 171.3$$

$$LCI = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 171.3 - (1.023 * 8.536) = 162.613202$$

Límites de Control para la Gráfica R para el 90% de destilado del mes de Febrero

$$LCS = = D_4 \bar{R} = 2.5735 * 8.536 = 21.9666607$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 8.536$$

$$LCI = = D_3 \bar{R} = 0 * 8.536 = 0$$

DATOS DE MARZO													
DIA	T.d.D al X_{ij}			OPERARIO	\bar{X}_i			S_i			R_i		
	10%	50%	90%		10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
1	56	105	169	1	56.67	103.33	171.00	1.15	1.53	2.00	2	3	4
	58	102	171	2									
	56	103	173	3									
2	55	101	165	1	56.67	103.67	170.00	1.53	3.06	4.58	3	6	9
	58	107	174	2									
	57	103	171	3									
3	58	108	177	1	56.00	105.00	175.00	1.73	3.00	1.73	3	6	3
	55	105	174	2									
	55	102	174	3									
4	56	102	173	1	55.00	102.33	171.00	2.65	4.51	3.46	5	9	6
	57	107	173	2									
	52	98	167	3									
5	54	105	173	1	54.00	102.67	169.33	3.00	5.86	7.23	6	11	13
	57	107	174	2									
	51	96	161	3									
6	55	105	174	1	55.00	105.00	173.67	1.00	1.00	0.58	2	2	1
	54	106	173	2									
	56	104	174	3									
7	55	106	175	1	54.67	104.33	171.33	0.58	1.53	3.21	1	3	6
	55	104	170	2									
	54	103	169	3									
8	55	106	177	1	54.00	96.00	162.67	2.65	16.46	17.62	5	29	34
	51	77	143	2									
	56	105	168	3									
9	58	107	173	1	59.33	105.67	169.67	2.31	1.15	4.93	4	2	9
	62	105	172	2									
	58	105	164	3									
10	55	99	164	1	54.00	98.00	164.00	1.00	5.57	4.00	2	11	8
	54	103	168	2									
	53	92	160	3									
11	53	99	171	1	55.00	97.33	164.33	1.73	2.08	5.86	3	4	11
	56	95	162	2									
	56	98	160	3									
12	55	96	161	1	55.67	97.00	161.00	0.58	1.00	0.00	1	2	0
	56	97	161	2									
	56	98	161	3									
13	53	99	169	1	54.33	99.33	165.00	2.31	0.58	4.58	4	1	9
	53	99	166	2									
	57	100	160	3									
14	55	98	162	1	54.00	98.00	162.67	1.00	0.00	2.08	2	0	4
	54	98	165	2									
	53	98	161	3									
15	56	113	165	2	58.67	107.67	164.00	2.52	6.81	1.73	5	13	3
	61	110	162	3									
	59	100	165	1									
16	56	102	170	1	54.33	94.33	159.33	2.08	15.95	16.77	4	29	30
	55	105	168	2									
	52	76	140	3									
17	55	105	186	1	55.00	105.00	172.33	1.00	1.00	12.10	2	2	23
	54	104	168	2									
	56	106	163	3									
18	51	98	164	1	53.33	101.67	166.33	2.08	3.51	2.08	4	7	4
	55	102	167	2									
	54	105	168	3									
19	52	96	160	1	53.00	97.67	163.67	1.00	1.53	4.73	2	3	9
	53	99	169	2									
	54	98	162	3									
20	50	101	165	1	53.33	98.00	162.67	3.06	3.00	2.52	6	6	5
	54	98	163	2									
	56	95	160	3									

21	53	99	164	1	54.00	98.67	164.33	1.00	0.58	0.58	2	1	1
	55	99	165	2									
	54	98	164	3									
22	60	100	165	1	59.00	98.33	162.67	1.00	1.53	2.08	2	3	4
	59	98	162	2									
	58	97	161	3									
23	59	108	168	1	58.00	105.00	164.33	1.00	3.00	4.04	2	6	8
	58	102	165	2									
	57	105	160	3									
24	60	105	165	1	60.00	103.67	163.33	1.00	1.53	2.08	2	3	4
	61	104	164	2									
	59	102	161	3									
25	60	111	177	1	57.00	103.33	167.33	3.61	6.66	8.39	7	12	15
	53	99	163	2									
	58	100	162	3									
26	60	110	177	1	59.00	105.33	172.00	1.00	5.03	4.58	2	10	9
	58	106	168	2									
	59	100	171	3									
27	54	112	170	1	56.00	113.00	171.33	2.00	1.73	1.53	4	3	3
	56	115	171	2									
	58	112	173	3									
28	56	105	167	1	55.67	105.33	170.00	0.58	1.53	3.61	1	3	7
	55	107	174	2									
	56	104	169	3									
29	55	98	105	1	55.33	97.67	104.67	0.58	0.58	0.58	1	1	1
	56	97	104	2									
	55	98	105	3									
30	55	98	167	1	56.00	96.33	165.33	1.00	1.53	1.53	2	3	3
	56	95	165	2									
	57	96	164	3									
31	54	103	165	1	54.33	103.00	166.67	0.58	0.00	1.53	1	0	3
	55	103	167	2									
	54	103	168	3									
					\bar{X}								
					10%	50%	90%						
					55.688	101.67	164.87						
								\bar{R}					
					10%	50%	90%						
					2.9677	6.2581	8.0323						

Tabla 4.7 Datos para elaborar las gráficas de control del mes de Marzo

Límites de Control para la Gráfica \bar{X} para el 10% de destilado del mes de Marzo

$$LCS = \bar{X} + A_2 \bar{R} = 55.69 (1.023*2.968) = 58.724172$$

$$\text{Línea central} = \bar{X} = 55.69$$

$$LCI = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 55.69 - (1.023*2.968) = 52.652172$$

Límites de Control para la Gráfica R para el 10% de destilado del mes de Marzo

$$LCS = D_4 \bar{R} = 2.5735 * 2.968 = 7.63748387$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 2.968$$

$$LCI = D_3 \bar{R} = 0 * 2.968 = 0$$

Límites de Control para la Gráfica \bar{X} para el 50% de destilado del mes de Marzo

$$LCS = \bar{X} + A_2 \bar{R} = 101.7 + (1.023 * 6.258) = 108.068667$$

$$\text{Línea central} = \bar{X} = 101.7$$

$$LCI = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 101.7 - (1.023 * 6.258) = 95.2646667$$

Límites de Control para la Gráfica R para el 50% de destilado del mes de Marzo

$$LCS = D_4 \bar{R} = 2.5735 * 6.258 = 16.105129$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 6.258$$

$$LCI = D_3 \bar{R} = 0 * 6.258 = 0$$

Límites de Control para la Gráfica \bar{X} para el 90% de destilado del mes de Marzo

$$LCS = \bar{X} + A_2 \bar{R} = 164.9 + (1.023 * 8.032) = 173.087968$$

$$\text{Línea central} = \bar{X} = 164.9$$

$$LCI = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 164.9 - (1.023 * 8.032) = 156.653968$$

Límites de Control para la Gráfica R para el 90% de destilado del mes de Marzo

$$LCS = D_4 \bar{R} = 2.5735 * 8.032 = 20.6710161$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 8.032$$

$$LCI = D_3 \bar{R} = 0 * 8.032 = 0$$

DATOS DE ABRIL													
DIA	T.d.D al X_{ij}			OPERARIO	\bar{X}_i			S_i			R_i		
	10%	50%	90%		10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
1	54	103	166	1	54.67	101.00	167.33	3.06	4.36	2.31	6	8	4
	52	96	166	2									
	58	104	170	3									
2	54	102	170	1	54.67	103.67	167.00	0.58	1.53	2.65	1	3	5
	55	104	165	2									
	55	105	166	3									
3	61	106	161	1	58.00	103.67	162.67	3.61	3.21	2.89	7	6	5
	54	100	166	2									
	59	105	161	3									
4	53	105	165	1	54.67	103.33	165.00	1.53	2.08	1.00	3	4	2
	55	104	166	2									
	56	101	164	3									
5	58	105	167	1	59.33	106.00	168.00	4.16	6.56	1.73	8	13	3
	56	100	167	2									
	64	113	170	3									
6	58	104	161	1	56.00	105.67	164.67	1.73	4.73	3.21	3	9	6
	55	111	167	2									
	55	102	166	3									
7	58	102	166	1	59.00	105.67	168.00	4.58	7.23	1.73	9	13	3
	64	114	169	2									
	55	101	169	3									
8	104	164	177	1	70.33	120.33	171.67	29.16	37.85	4.73	51	67	9
	53	97	168	2									
	54	100	170	3									
9	56	105	169	1	56.33	103.67	167.33	1.53	3.21	1.53	3	6	3
	58	106	167	2									
	55	100	166	3									
10	55	103	167	1	55.33	104.33	166.33	0.58	1.15	0.58	1	2	1
	56	105	166	2									
	55	105	166	3									
11	54	104	166	1	57.00	105.67	169.33	2.65	2.89	4.93	5	5	9
	59	109	175	2									
	58	104	167	3									
12	58	98	164	1	60.00	102.33	168.33	2.65	6.66	5.13	5	12	10
	59	99	167	2									
	63	110	174	3									
13	57	106	175	1	56.00	104.67	173.33	1.00	1.53	1.53	2	3	3
	56	105	172	2									
	55	103	173	3									
14	59	108	168	1	59.33	107.33	167.33	0.58	1.15	2.08	1	2	4
	59	108	169	2									
	60	106	165	3									
15	57	105	169	1	56.00	103.67	170.67	1.00	1.15	1.53	2	2	3
	56	103	171	2									
	55	103	172	3									
16	55	100	167	1	54.00	101.00	168.67	1.73	1.00	2.08	3	2	4
	55	101	171	2									
	52	102	168	3									
17	59	104	173	1	57.00	102.67	171.33	2.65	1.15	1.53	5	2	3
	58	102	171	2									
	54	102	170	3									
18	55	103	168	1	54.00	100.33	166.67	2.65	3.79	1.53	5	7	3
	51	96	167	2									
	56	102	165	3									
19	54	97	168	1	53.00	96.00	165.00	1.00	1.00	3.00	2	2	6
	52	95	165	2									
	53	96	162	3									
20	51	98	172	1	53.33	97.00	171.67	2.08	1.00	0.58	4	2	1
	54	97	172	2									
	55	96	171	3									

21	55	95	167	3	54.67	95.67	168.33	0.58	2.08	1.53	1	4	3
	55	94	168	1									
	54	98	170	2									
22	55	102	168	1	54.33	101.67	167.00	0.58	0.58	1.00	1	1	2
	54	102	167	2									
	54	101	166	3									
23	53	97	165	1	54.00	100.00	170.33	1.00	4.36	4.73	2	8	9
	54	98	172	2									
	55	105	174	3									
24	54	93	167	1	54.33	98.00	167.67	0.58	4.58	0.58	1	9	1
	54	99	168	2									
	55	102	168	3									
25	53	100	168	1	55.00	101.33	170.67	1.73	1.15	2.52	3	2	5
	56	102	173	2									
	56	102	171	3									
26	55	95	168	1	55.33	94.67	166.33	0.58	0.58	1.53	1	1	3
	56	94	165	2									
	55	95	166	3									
27	58	107	170	1	55.67	102.33	167.67	2.08	4.04	2.52	4	7	5
	55	100	168	2									
	54	100	165	3									
28	55	102	174	1	56.00	103.33	174.33	1.00	2.31	1.53	2	4	3
	57	106	176	2									
	56	102	173	3									
29	57	102	168	1	57.00	102.00	167.33	1.00	1.00	2.08	2	2	4
	58	103	169	2									
	56	101	165	3									
30	57	105	173	1	56.67	105.33	172.33	0.58	0.58	0.58	1	1	1
	57	106	172	2									
	56	105	172	3									
					\bar{X}								
					10%	50%	90%						
					56.367	102.74	168.41						
					\bar{R}								
					10%	50%	90%						
					4.8	6.9667	4.1						

Tabla 4.8 Datos para elaborar las gráficas de control del mes de Abril

Límites de Control para la Gráfica \bar{X} para el 10% de destilado del mes de Abril

$$LCS = \bar{X} + A_2 \bar{R} = 168.4 + (1.023 \cdot 4.1) = 172.605411$$

$$\text{Línea central} = \bar{X} = 168.4$$

$$LCI = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 168.4 - (1.023 \cdot 4.1) = 164.216811$$

Límites de Control para la Gráfica R para el 10% de destilado del mes de Abril

$$LCS = D_4 \bar{R} = 2.5735 \cdot 4.1 = 10.55135$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 4.1$$

$$\text{LCI} = D_3 \bar{R} = 0 * 4.1 = 0$$

Límites de Control para la Gráfica \bar{X} para el 50% de destilado del mes de Abril

$$\text{LCS} = \bar{X} + A_2 \bar{R} = 102.7 + (1.023 * 6.967) = 109.871344$$

$$\text{Línea central} = \bar{X} = 102.7$$

$$\text{LCI} = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 102.7 - (1.023 * 6.967) = 95.6175444$$

Límites de Control para la Gráfica R para el 50% de destilado del mes de Abril

$$\text{LCS} = D_4 \bar{R} = 2.5735 * 6.967 = 17.9287167$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 6.967$$

$$\text{LCI} = D_3 \bar{R} = 0 * 6.967 = 0$$

Límites de Control para la Gráfica \bar{X} para el 90% de destilado del mes de Abril

$$\text{LCS} = \bar{X} + A_2 \bar{R} = 56.37 + (1.023 * 4.8) = 61.2770667$$

$$\text{Línea central} = \bar{X} = 56.37$$

$$\text{LCI} = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 56.37 - (1.023 * 4.8) = 51.4562667$$

Límites de Control para la Gráfica R para el 90% de destilado del mes de Abril

$$\text{LCS} = D_4 \bar{R} = 2.5735 * 4.8 = 12.3528$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 4.8$$

$$\text{LCI} = D_3 \bar{R} = 0 * 4.8 = 0$$

DATOS DE MAYO													
DIA	T.d.D al X_{ij}			OPERARIO	\bar{X}_i			S_i			R_i		
	10%	50%	90%		10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
1	55	103	169	1	55.00	100.67	169.33	0.00	2.52	0.58	0	5	1
	55	101	170	2									
	55	98	169	3									
2	55	98	165	1	54.33	98.33	163.00	0.58	0.58	2.65	1	1	5
	54	98	164	2									
	54	99	160	3									
3	57	101	173	1	57.00	102.00	174.00	1.00	1.00	1.00	2	2	2
	58	102	175	2									
	56	103	174	3									
4	53	103	171	1	54.00	103.33	170.00	1.00	1.53	1.73	2	3	3
	54	102	171	2									
	55	105	168	3									
5	54	105	175	1	54.33	103.00	170.00	0.58	1.73	5.00	1	3	10
	55	102	170	2									
	54	102	165	3									
6	56	103	173	1	56.33	104.00	171.00	0.58	1.00	2.65	1	2	5
	57	104	172	2									
	56	105	168	3									
7	53	97	166	1	53.33	99.00	165.67	0.58	2.65	0.58	1	5	1
	53	98	166	2									
	54	102	165	3									
8	57	102	174	1	57.00	102.33	171.00	1.00	2.52	3.00	2	5	6
	58	105	171	2									
	56	100	168	3									
9	54	103	173	1	53.33	102.67	170.33	1.15	5.51	3.06	2	11	6
	52	97	167	2									
	54	108	171	3									
10	56	105	170	1	56.33	104.00	169.67	0.58	1.00	0.58	1	2	1
	56	104	170	2									
	57	103	169	3									
11	57	111	171	1	55.33	104.67	170.00	1.53	5.51	2.65	3	10	5
	54	101	172	2									
	55	102	167	3									
12	53	106	168	1	56.33	104.67	168.67	3.06	2.31	3.06	6	4	6
	57	102	166	2									
	59	106	172	3									
13	54	100	168	1	55.00	102.33	169.33	1.00	2.08	1.53	2	4	3
	55	104	169	2									
	56	103	171	3									
14	55	105	174	1	55.67	104.67	150.33	0.58	0.58	36.75	1	1	66
	56	104	108	2									
	56	105	169	3									
15	55	100	168	1	55.00	100.00	165.00	1.00	2.00	3.00	2	4	6
	54	98	165	2									
	56	102	162	3									
16	55	104	171	1	53.67	102.33	168.33	2.31	2.89	2.31	4	5	4
	51	99	167	2									
	55	104	167	3									
17	51	100	164	1	51.33	97.67	164.33	0.58	2.52	0.58	1	5	1
	51	98	164	2									
	52	95	165	3									
18	55	104	171	1	53.67	100.67	165.67	1.53	3.06	4.73	3	6	9
	52	100	164	2									
	54	98	162	3									
19	52	99	162	1	52.33	98.33	164.00	2.52	4.04	2.65	5	8	5
	50	94	163	2									
	55	102	167	3									
20	56	101	170	1	53.67	99.33	167.00	3.21	2.08	3.00	6	4	6
	55	100	164	2									
	50	97	167	3									

21	55	101	167	1	53.33	99.33	165.33	1.53	1.53	1.53	3	3	3
	52	98	165	2									
	53	99	164	3									
22	55	101	167	1	52.67	99.00	166.33	2.08	2.00	0.58	4	4	1
	52	99	166	2									
	51	97	166	3									
23	51	97	167	1	53.00	99.67	167.00	2.65	2.31	1.00	5	4	2
	56	101	166	2									
	52	101	168	3									
24	51	97	163	1	52.33	98.00	170.33	1.53	3.61	7.51	3	7	15
	52	95	178	2									
	54	102	170	3									
25	44	87	162	1	48.33	90.67	164.33	4.51	4.04	3.21	9	8	6
	48	90	163	2									
	53	95	168	3									
26	52	102	168	1	53.00	99.00	168.67	1.00	3.00	1.15	2	6	2
	53	96	168	2									
	54	99	170	3									
27	54	98	167	1	52.67	96.33	165.00	1.53	5.69	4.36	3	11	8
	51	90	160	2									
	53	101	168	3									
28	55	100	168	1	55.33	101.33	169.33	2.52	1.15	2.31	5	2	4
	53	102	172	2									
	58	102	168	3									
29	54	98	167	1	52.67	95.33	163.67	2.31	4.62	3.51	4	8	7
	50	90	160	2									
	54	98	164	3									
30	53	96	161	1	53.67	94.00	164.33	2.08	3.46	3.51	4	6	7
	56	90	168	2									
	52	96	164	3									
31	54	100	168	1	56.00	102.00	170.00	2.00	2.00	2.00	4	4	4
	56	102	170	2									
	58	104	172	3									
					\bar{X}								
					10%	50%	90%						
					54.065	100.28	167.13						
								\bar{R}					
								10%	50%	90%			
								2.9677	4.9355	6.7742			

Tabla 4.9 Datos para elaborar las gráficas de control del mes de Mayo

Límites de Control para la Gráfica \bar{X} para el 10% de destilado del mes de Mayo

$$LCS = \bar{X} + A_2 \bar{R} = 167.1 + (1.023 * 6.774) = 174.059032$$

$$\text{Línea central} = \bar{X} = 167.1$$

$$LCI = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 167.1 - (1.023 * 6.774) = 160.199032$$

Límites de Control para la Gráfica R para el 10% de destilado del mes de Abril

$$LCS = D_4 \bar{R} = 2.5735 * 6.774 = 17.4333871$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 6.774$$

$$LCI = D_3 \bar{R} = 0 * 6.774 = 0$$

Límites de Control para la Gráfica \bar{X} para el 50% de destilado del mes de Abril

$$LCS = \bar{X} + A_2 \bar{R} = 100.3 + (1.023 * 4.935) = 105.32857$$

$$\text{Línea central} = \bar{X} = 100.3$$

$$LCI = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 100.3 - (1.023 * 4.935) = 95.2305699$$

Límites de Control para la Gráfica R para el 50% de destilado del mes de Abril

$$LCS = D_4 \bar{R} = 2.5735 * 4.935 = 12.7014677$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 4.935$$

$$LCI = D_3 \bar{R} = 0 * 4.935 = 0$$

Límites de Control para la Gráfica \bar{X} para el 90% de destilado del mes de Abril

$$LCS = \bar{X} + A_2 \bar{R} = 54.06 + (1.023 * 2.968) = 57.1005161$$

$$\text{Línea central} = \bar{X} = 54.06$$

$$LCI = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 54.06 - (1.023 * 2.968) = 51.0285161$$

Límites de Control para la Gráfica R para el 90% de destilado del mes de Abril

$$LCS = D_4 \bar{R} = 2.5735 * 2.968 = 7.63748387$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 2.968$$

$$LCI = D_3 \bar{R} = 0 * 2.968 = 0$$

DATOS DE JUNIO													
DIA	T.d.D al X_{ij}			OPERARIO	\bar{X}_i			S_i			R_i		
	10%	50%	90%		10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
1	55	98	162	1	54.00	93.67	157.00	1.00	3.79	4.36	2	7	8
	53	91	155	2									
	54	92	154	3									
2	53	92	160	1	53.67	95.00	162.00	0.58	3.61	2.00	1	7	4
	54	99	164	2									
	54	94	162	3									
3	52	90	158	1	53.00	94.33	162.00	1.00	4.51	4.58	2	9	9
	53	94	161	2									
	54	99	167	3									
4	51	92	162	1	53.00	95.33	163.33	1.73	3.06	1.53	3	6	3
	54	96	163	2									
	54	98	165	3									
5	57	107	168	1	55.00	98.67	162.00	1.73	7.23	6.00	3	13	12
	54	95	162	2									
	54	94	156	3									
6	54	95	161	1	54.33	94.67	161.00	2.52	0.58	0.00	5	1	0
	57	95	161	2									
	52	94	161	3									
7	55	95	163	1	55.00	95.67	164.33	2.00	5.03	1.53	4	10	3
	57	101	164	2									
	53	91	166	3									
8	57	103	162	1	56.33	98.00	159.67	1.15	4.58	2.08	2	9	4
	55	94	159	2									
	57	97	158	3									
9	57	99	163	1	55.33	96.33	162.33	2.08	3.79	2.08	4	7	4
	53	92	160	2									
	56	98	164	3									
10	56	101	163	1	55.00	98.00	161.67	1.73	4.36	1.53	3	8	3
	53	93	160	2									
	56	100	162	3									
11	55	97	162	1	54.67	96.00	161.67	0.58	1.00	0.58	1	2	1
	55	96	161	2									
	54	95	162	3									
12	51	100	162	1	55.67	100.67	163.33	4.04	1.15	1.15	7	2	2
	58	102	164	2									
	58	100	164	3									
13	57	55	55	1	107.00	104.00	105.67	52.12	55.33	54.90	104	109	109
	103	93	98	2									
	161	164	164	3									
					\bar{X}						\bar{R}		
					10%	50%	90%				10%	50%	90%
					58.615	96.949	157.38				10.846	14.615	12.462

Tabla 4.10 Datos para elaborar las gráficas de control del mes de Junio

Límites de Control para la Gráfica \bar{X} para el 10% de destilado del mes de Junio

$$LCS = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 157.4 + (1.023 * 12.46) = 170.32769$$

$$\text{Línea central} = \bar{\bar{X}} = 157.4$$

$$LCI = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 157.4 - (1.023 * 12.46) = 144.636462$$

Límites de Control para la Gráfica R para el 10% de destilado del mes de Junio

$$LCS = = D_4 \bar{R} = 2.5735 * 12.46 = 32.0697692$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 12.46$$

$$LCI = = D_3 \bar{R} = 0 * 12.46 = 0$$

Límites de Control para la Gráfica \bar{X} para el 50% de destilado del mes de Junio

$$LCS = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 96.95 + (1.023 * 14.62) = 111.900256$$

$$\text{Línea central} = \bar{\bar{X}} = 96.95$$

$$LCI = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 96.95 - (1.023 * 14.62) = 81.9971795$$

Límites de Control para la Gráfica R para el 50% de destilado del mes de Junio

$$LCS = = D_4 \bar{R} = 2.5735 * 14.62 = 37.6126923$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 14.62$$

$$LCI = = D_3 \bar{R} = 0 * 14.62 = 0$$

Límites de Control para la Gráfica \bar{X} para el 90% de destilado del mes de Junio

$$LCS = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 58.62 + (1.023 * 10.85) = 69.711$$

$$\text{Línea central} = \bar{\bar{X}} = 58.62$$

$$LCI = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 58.62 - (1.023 * 10.85) = 47.5197692$$

Límites de Control para la Gráfica R para el 10% de destilado del mes de Junio

$$LCS = D_4 \bar{R} = 2.5735 * 10.85 = 27.9125769$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 10.85$$

$$LCI = D_3 \bar{R} = 0 * 10.85 = 0$$

Donde:

T.d.D al, significa Temperatura de destilación al 10%, 50% y 90% según sea el caso.

\bar{X} es la media de las medias de los subgrupos y esta dada por la ecuación

$$\bar{X} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{X}_i$$

donde k son los días de cada mes (subgrupos), \bar{X}_i es la media de cada subgrupo y esta dada por la ecuación

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij}$$

donde n es el tamaño de los subgrupos.

R_i es el rango de cada subgrupo y esta dado por

$$R_i = \text{Max}\{X_{ij} / 1 \leq j \leq n\} - \text{Min}\{X_{ij} / 1 \leq j \leq n\}$$

\bar{R} es el promedio de los R_i y esta dado por

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i$$

Los resultados que se obtuvieron fueron aproximados a los que el programa arrojó, por lo que se puede decir que es un programa confiable.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El Presente estudio demuestra, que las herramientas de control estadístico son una base para la mejora continua de cualquier proceso, ya que se obtienen grandes beneficios para cualquier empresa interesada en satisfacer las necesidades y la demanda del cliente, cumpliendo así con las especificaciones establecidas por norma.

Algunos beneficios se mencionan enseguida:

- Tener un sistema natural de control
- Se detecta la fuente de cualquier error y se aplica su corrección
- Agilización de la capacitación del probador físico
- Minimización de desperdicios y rechazos
- Confiabilidad del producto y consecuentemente mayor mercado
- Reducción de costos y aumento de calidad

Aplicando correctamente el Control Estadístico de Proceso, las personas indicadas, en este caso el área de Calidad, se dan cuenta de inmediato de la irregularidad del proceso y en caso que la hubiera proceden rápidamente a la corrección, logrando que el producto final cubra las especificaciones señaladas.

El objetivo de aplicar las herramientas de Control Estadístico de Proceso fue determinar si el proceso, en este caso, que el rango de destilación de la gasolina, era o no capaz de cumplir con las especificaciones, éstas ya establecidas por norma las cuales son para el 10% de destilado la especificación superior es de 65 °C, para el 50% de destilado la especificación superior es de 118 °C y la especificación inferior es de 75 °C y para el 90% de destilado la especificación superior es de 190 °C, como resultado se obtuvo que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones mencionadas anteriormente, lo que llevo a indagar las causas que provocan esto y realizar los ajustes y recomendaciones pertinentes y necesarias para alcanzar el objetivo de calidad.

En este caso el objetivo de calidad es elaborar gasolina que cumpla con las especificaciones establecidas del rango de destilación de la misma, ya que es un parámetro primordial de la volatilidad de la gasolina y si no se controla su calidad podría afectar el desempeño en el manejo, en el vehículo y en el ambiente, las consecuencias podrían ser el aumento de las pérdidas de evaporación, en el vehículo la formación potencial de depósitos en el sistema de quemado del combustible, así como ineficiencia en el funcionamiento del motor y en el ambiente el aumento de emisiones de compuestos tóxicos a la salud.

Así mismo cada punto del rango de destilación afecta diferentes áreas del rendimiento del vehículo las cuales son:

- La temperatura para 10% de evaporación debe ser lo bastante baja para facilitar el arranque en frío pero lo bastante alta para minimizar problemas de tapón de vapor/manejabilidad en caliente.

- La temperatura para 50% de evaporación debe ser lo bastante baja para lograr un buen calentamiento y manejabilidad en clima frío sin ser tan baja como para provocar problemas de manejabilidad caliente y tapón de vapor. Este tramo del galón también impacta en el consumo en trayectos cortos.

- La temperatura para 90% de evaporación y punto final debe ser lo bastante baja para minimizar los depósitos en el cárter y cámara de combustión y los problemas de bujías y de dilución del aceite del motor.

Se encontraron las causas especiales de inestabilidad del rango de destilación de la gasolina las cuales deben ser tomadas en cuenta para el siguiente periodo de elaboración de esta gasolina, con la finalidad de ahorrar tiempo y conseguir un proceso estable, las cuales fueron debidas a la distracción del encargado de colocar muestras de producto intermedio, ya que las coloco en la de categoría producto terminado, así mismo un reclutamiento inadecuado y un control ineficiente del encargado.

Se recomienda mantener en constante capacitación a los probadores físicos que realizan las pruebas y toman las lecturas del rango de destilación, por que cualquier descuido podría influir en estas variaciones.

Así mismo dar mantenimiento y tener calibrados los instrumentos, aparatos y equipos (manuales y automáticos) que se utilizan para la aplicación de las pruebas en el laboratorio y de igual manera las personas encargadas en la mezcla deben tener mayor capacitación ya que en este proceso intervienen varias corrientes de otros procesos y cada una tiene sus especificaciones establecidas.

En consecuencia el objetivo de este trabajo se cumplió, al verificar que el rango de destilación de la gasolina no cumplió con las especificaciones establecidas por la NOM-086 y aun más poder encontrar las irregularidades y corregirlas.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Control Total de la Calidad
Figenbaum, Armand V.
Ed. CECSA, 6ta edición.
México, D.F. 1989.
- 2.- Calidad, Productividad y Competitividad
Deming, Edwads W.
Ed. Díaz de Santos, S.A.
Madrid 1990.
- 3.- Estadística
Richard C. Weimer.
Ed. CECSA 1era edición.
México, 1996.
- 4.- TESIS “Control de Calidad. Control Estadístico de Proceso en la obtención del Dodecibencensulfonato de sodio como base para la elaboración detergente en Polvo”
González Carmona Alberto
México, D.F. 1993.
- 5.-Estadística Práctica con Minitab
Pere Grima Cintas.et
Esc. Técnica Superior de Ing. Industrial. De Barcelona
Ed. Pearson Prentice Hall
- 6.-Control Estadístico de la Calidad
Cesar Pérez
Ed. Alfaomega
- 7.-Control Estadístico de Calidad
Av. Douglas C. Montgomery
Ed. Iberoamérica

APÉNDICE

APÉNDICE 1

Tabla de lecturas de Destilación de la Gasolina Magna

DESTILACION				
	X_i			OPERARIO
	10%	50%	90%	
1	55	103	180	1
2	58	105	79	2
3	56	106	179	3
4	57	106	181	1
5	55	105	177	2
6	53	103	173	3
7	54	103	173	1
8	57	107	175	2
9	54	104	172	3
10	55	107	178	1
11	56	107	179	2
12	55	105	177	3
13	55	107	178	1
14	56	107	179	2
15	55	105	177	3
16	54	100	180	1
17	58	99	165	2
18	56	105	180	3
19	56	101	153	1
20	55	101	174	2
21	53	104	177	3
22	54	103	175	1
23	51	102	169	2
24	58	101	167	3
25	51	104	168	1
26	55	101	178	2
27	54	102	172	3
28	53	99	179	1
29	55	95	185	2
30	59	100	190	3
31	56	104	172	1
32	54	102	174	2
33	55	104	175	3
34	56	104	173	1
35	56	103	177	2
36	58	105	175	3
37	51	101	160	1
38	55	103	153	2
39	53	105	179	3
40	55	102	176	1
DESTILACION				
	X_i			OPERARIO
	10%	50%	90%	
41	52	106	179	2
42	54	104	180	3
43	56	104	176	1
44	54	103	175	2
45	53	100	178	3
46	55	102	173	1
47	55	105	173	2
48	55	103	175	3
49	59	105	173	1
50	55	104	170	2
51	57	105	180	3
52	55	102	173	1
53	54	102	178	2
54	51	103	175	3
55	54	100	168	1
56	53	109	170	2
57	52	101	179	3
58	56	103	176	1
59	57	104	167	2
60	58	106	180	3
61	55	103	172	1
62	56	105	175	2
63	54	100	169	3
64	54	107	173	1
65	56	104	178	2
66	55	101	175	3
67	53	101	167	1
68	52	115	160	2
69	56	103	173	3
70	54	102	168	1
71	57	102	170	2
72	54	101	171	3
73	54	104	169	1
74	58	106	172	2
75	56	103	173	3
76	53	101	158	1
77	54	102	169	2
78	62	108	171	3
79	58	102	189	1
80	51	107	190	2

DESTILACION				
	X _i			OPERARIO
	10%	50%	90%	
81	54	108	175	3
82	56	104	172	1
83	55	103	175	2
84	57	104	169	3
85	56	102	160	1
86	56	103	167	2
87	54	105	170	3
88	56	103	166	1
89	58	106	168	2
90	57	108	172	3
91	57	104	164	1
92	51	98	164	2
93	56	99	162	3
94	52	100	168	1
95	55	102	166	2
96	56	104	168	3
97	51	99	168	1
98	60	102	152	2
99	57	106	173	3
100	58	105	171	1
101	51	98	163	2
102	56	105	177	3
103	57	103	172	1
104	56	104	168	2
105	57	104	176	3
106	57	106	173	1
107	57	103	167	2
108	58	103	168	3
109	58	100	167	1
110	55	103	165	2
111	54	105	164	3
112	55	100	167	1
113	51	99	169	2
114	52	95	175	3
115	57	105	177	1
116	56	104	178	2
117	55	100	165	3
118	52	102	165	1
119	51	103	169	2
120	50	104	167	3

DESTILACION				
	X _i			OPERARIO
	10%	50%	90%	
121	56	105	174	1
122	52	101	178	2
123	55	103	169	3
124	55	102	170	1
125	55	106	177	2
126	57	106	179	3
127	55	101	170	1
128	56	106	177	2
129	54	98	165	3
130	54	103	171	1
131	55	106	176	2
132	56	109	176	3
133	54	103	174	1
134	55	105	176	2
135	52	100	178	3
136	54	103	172	1
137	52	104	179	2
138	57	107	174	3
139	55	105	173	1
140	56	105	172	2
141	56	105	172	3
142	55	103	170	1
143	55	106	178	2
144	56	102	173	3
145	55	102	175	1
146	52	110	176	2
147	55	106	177	3
148	59	103	160	1
149	61	104	169	2
150	55	106	173	3
151	54	100	176	1
152	56	99	169	2
153	58	95	165	3
154	55	106	175	1
155	58	109	165	2
156	60	101	145	3
157	56	104	172	1
158	58	110	183	2
159	55	109	172	3
160	56	105	174	1

DESTILACION				
	X_i			OPERARIO
	10%	50%	90%	
161	57	106	176	2
162	56	104	171	3
163	54	104	174	1
164	55	104	174	2
165	56	105	176	3
166	55	105	174	1
167	56	106	178	2
168	52	104	168	3
169	51	101	178	1
170	50	99	179	2
171	49	105	165	3
172	55	104	168	1
173	51	102	165	2
174	52	99	170	3
175	58	106	174	1
176	63	108	172	2
177	56	103	174	3
178	56	105	169	1
179	58	102	171	2
180	56	103	173	3
181	55	101	165	1
182	58	107	174	2
183	57	103	171	3
184	58	108	177	1
185	55	105	174	2
186	55	102	174	3
187	56	102	173	1
188	57	107	173	2
189	52	98	167	3
190	54	105	173	1
191	57	107	174	2
192	51	96	161	3
193	55	105	174	1
194	54	106	173	2
195	56	104	174	3
196	55	106	175	1
197	55	104	170	2
198	54	103	169	3
199	55	106	177	1
200	51	77	143	2

DESTILACION				
	X_i			OPERARIO
	10%	50%	90%	
201	56	105	168	3
202	58	107	173	1
203	62	105	172	2
204	58	105	164	3
205	55	99	164	1
206	54	103	168	2
207	53	92	160	3
208	53	99	171	1
209	56	95	162	2
210	56	98	160	3
211	55	96	161	1
212	56	97	161	2
213	56	98	161	3
214	53	99	169	1
215	53	99	166	2
216	57	100	160	3
217	55	98	162	1
218	54	98	165	2
219	53	98	161	3
220	56	113	165	2
221	61	110	162	3
222	59	100	165	1
223	56	102	170	1
224	55	105	168	2
225	52	76	140	3
226	55	105	186	1
227	54	104	168	2
228	56	106	163	3
229	51	98	164	1
230	55	102	167	2
231	54	105	168	3
232	52	96	160	1
233	53	99	169	2
234	54	98	162	3
235	50	101	165	1
236	54	98	163	2
237	56	95	160	3
238	53	99	164	1
239	55	99	165	2
240	54	98	164	3

DESTILACION				
	X _i			OPERARIO
	10%	50%	90%	
241	60	100	165	1
242	59	98	162	2
243	58	97	161	3
244	59	108	168	1
245	58	102	165	2
246	57	105	160	3
247	60	105	165	1
248	61	104	164	2
249	59	102	161	3
250	60	111	177	1
251	53	99	163	2
252	58	100	162	3
253	60	110	177	1
254	58	106	168	2
255	59	100	171	3
256	54	112	170	1
257	56	115	171	2
258	58	112	173	3
259	56	105	167	1
260	55	107	174	2
261	56	104	169	3
262	55	98	105	1
263	56	97	104	2
264	55	98	105	3
265	55	98	167	1
266	56	95	165	2
267	57	96	164	3
268	54	103	165	1
269	55	103	167	2
270	54	103	168	3
271	54	103	166	1
272	52	96	166	2
273	58	104	170	3
274	54	102	170	1
275	55	104	165	2
276	55	105	166	3
277	61	106	161	1
278	54	100	166	2
279	59	105	161	3
280	53	105	165	1

DESTILACION				
	X _i			OPERARIO
	10%	50%	90%	
281	55	104	166	2
282	56	101	164	3
283	58	105	167	1
284	56	100	167	2
285	64	113	170	3
286	58	104	161	1
287	55	111	167	2
288	55	102	166	3
289	58	102	166	1
290	64	114	169	2
291	55	101	169	3
292	104	164	177	1
293	53	97	168	2
294	54	100	170	3
295	56	105	169	1
296	58	106	167	2
297	55	100	166	3
298	55	103	167	1
299	56	105	166	2
300	55	105	166	3
301	54	104	166	1
302	59	109	175	2
303	58	104	167	3
304	58	98	164	1
305	59	99	167	2
306	63	110	174	3
307	57	106	175	1
308	56	105	172	2
309	55	103	173	3
310	59	108	168	1
311	59	108	169	2
312	60	106	165	3
313	57	105	169	1
314	56	103	171	2
315	55	103	172	3
316	55	100	167	1
317	55	101	171	2
318	52	102	168	3
319	59	104	173	1
320	58	102	171	2

DESTILACION				
	X _i			OPERARIO
	10%	50%	90%	
321	54	102	170	3
322	55	103	168	1
323	51	96	167	2
324	56	102	165	3
325	54	97	168	1
326	52	95	165	2
327	53	96	162	3
328	51	98	172	1
329	54	97	172	2
330	55	96	171	3
331	55	95	167	3
332	55	94	168	1
333	54	98	170	2
334	55	102	168	1
335	54	102	167	2
336	54	101	166	3
337	53	97	165	1
338	54	98	172	2
339	55	105	174	3
340	54	93	167	1
341	54	99	168	2
342	55	102	168	3
343	53	100	168	1
344	56	102	173	2
345	56	102	171	3
346	55	95	168	1
347	56	94	165	2
348	55	95	166	3
349	58	107	170	1
350	55	100	168	2
351	54	100	165	3
352	55	102	174	1
353	57	106	176	2
354	56	102	173	3
355	57	102	168	1
356	58	103	169	2
357	56	101	165	3
358	57	105	173	1
359	57	106	172	2
360	56	105	172	3

DESTILACION				
	X _i			OPERARIO
	10%	50%	90%	
361	55	103	169	1
362	55	101	170	2
363	55	98	169	3
364	55	98	165	1
365	54	98	164	2
366	54	99	160	3
367	57	101	173	1
368	58	102	175	2
369	56	103	174	3
370	53	103	171	1
371	54	102	171	2
372	55	105	168	3
373	54	105	175	1
374	55	102	170	2
375	54	102	165	3
376	56	103	173	1
377	57	104	172	2
378	56	105	168	3
379	53	97	166	1
380	53	98	166	2
381	54	102	165	3
382	57	102	174	1
383	58	105	171	2
384	56	100	168	3
385	54	103	173	1
386	52	97	167	2
387	54	108	171	3
388	56	105	170	1
389	56	104	170	2
390	57	103	169	3
391	57	111	171	1
392	54	101	172	2
393	55	102	167	3
394	53	106	168	1
395	57	102	166	2
396	59	106	172	3
397	54	100	168	1
398	55	104	169	2
399	56	103	171	3
400	55	105	174	1

DESTILACION				
	X_i			OPERARIO
	10%	50%	90%	
401	56	104	108	2
402	56	105	169	3
403	55	100	168	1
404	54	98	165	2
405	56	102	162	3
406	55	104	171	1
407	51	99	167	2
408	55	104	167	3
409	51	100	164	1
410	51	98	164	2
411	52	95	165	3
412	55	104	171	1
413	52	100	164	2
414	54	98	162	3
415	52	99	162	1
416	50	94	163	2
417	55	102	167	3
418	56	101	170	1
419	55	100	164	2
420	50	97	167	3
421	55	101	167	1
422	52	98	165	2
423	53	99	164	3
424	55	101	167	1
425	52	99	166	2
426	51	97	166	3
427	51	97	167	1
428	56	101	166	2
429	52	101	168	3
430	51	97	163	1
431	52	95	178	2
432	54	102	170	3
433	44	87	162	1
434	48	90	163	2
435	53	95	168	3
436	52	102	168	1
437	53	96	168	2
438	54	99	170	3
439	54	98	167	1
440	51	90	160	2

DESTILACION				
	X_i			OPERARIO
	10%	50%	90%	
441	53	101	168	3
442	55	100	168	1
443	53	102	172	2
444	58	102	168	3
445	54	98	167	1
446	50	90	160	2
447	54	98	164	3
448	53	96	161	1
449	56	90	168	2
450	52	96	164	3
451	54	100	168	1
452	56	102	170	2
453	58	104	172	3
454	55	98	162	1
455	53	91	155	2
456	54	92	154	3
457	53	92	160	1
458	54	99	164	2
459	54	94	162	3
460	52	90	158	1
461	53	94	161	2
462	54	99	167	3
463	51	92	162	1
464	54	96	163	2
465	54	98	165	3
466	57	107	168	1
467	54	95	162	2
468	54	94	156	3
469	54	95	161	1
470	57	95	161	2
471	52	94	161	3
472	55	95	163	1
473	57	101	164	2
474	53	91	166	3
475	57	103	162	1
476	55	94	159	2
477	57	97	158	3
478	57	99	163	1
479	53	92	160	2
480	56	98	164	3

DESTILACION				
	X_i			
	10%	50%	90%	OPERARIO
481	56	101	163	1
482	53	93	160	2
483	56	100	162	3
484	55	97	162	1
485	55	96	161	2
486	54	95	162	3
487	51	100	162	1
488	58	102	164	2
489	58	100	164	3
490	57	55	55	1
491	103	93	98	2
492	161	164	164	3

APÉNDICE 2
Tabla de Varianzas por subgrupo

DIA	T.d.D al X_{ij}			OPERARIO	S_i^2		
	10%	50%	90%		10%	50%	90%
1	55	103	180	1			
	58	105	79	2	2.33	2.33	3367
	56	106	179	3			
2	57	106	181	G			
	55	105	177	2	4.00	2.33	16
	53	103	173	3			
3	54	103	173	1			
	57	107	175	2	3.00	4.33	2
	54	104	172	3			
4	55	107	178	1			
	56	107	179	2	0.33	1.33	1
	55	105	177	3			
5	55	107	178	1			
	56	107	179	2	0.33	1.33	1
	55	105	177	3			
6	54	100	180	1			
	58	99	165	2	4.00	10.33	75
	56	105	180	3			
7	56	101	153	1			
	55	101	174	2	2.33	3.00	171
	53	104	177	3			
8	54	103	175	1			
	51	102	169	2	12.33	1.00	17
	58	101	167	3			
9	51	104	168	1			
	55	101	178	2	4.33	2.33	25
	54	102	172	3			
10	53	99	179	1			
	55	95	185	2	9.33	7.00	30
	59	100	190	3			
11	56	104	172	1			
	54	102	174	2	1.00	1.33	2
	55	104	175	3			
12	56	104	173	1			
	56	103	177	2	1.33	1.00	4
	58	105	175	3			
13	51	101	160	1			
	55	103	153	2	4.00	4.00	181
	53	105	179	3			
14	55	102	176	1			
	52	106	179	2	2.33	4.00	4
	54	104	180	3			
15	56	104	176	1			
	54	103	175	2	2.33	4.33	2
	53	100	178	3			
16	55	102	173	1			
	55	105	173	2	0.00	2.33	1
	55	103	175	3			
17	59	105	173	1			
	55	104	170	2	4.00	0.33	26
	57	105	180	3			
18	55	102	173	1			
	54	102	178	2	4.33	0.33	6
	51	103	175	3			
19	54	100	168	1			
	53	109	170	2	1.00	24.33	34
	52	101	179	3			
20	56	103	176	1			
	57	104	167	2	1.00	2.33	44
	58	106	180	3			

DIA	T.d.D al X_{ij}			OPERARIO	S_i^2		
	10%	50%	90%		10%	50%	90%
21	55	103	172	1			
	56	105	175	2	1.00	6.33	9
	54	100	169	3			
22	54	107	173	1			
	56	104	178	2	1.00	9.00	6
	55	101	175	3			
23	53	101	167	1			
	52	115	160	2	4.33	57.33	42
	56	103	173	3			
24	54	102	168	1			
	57	102	170	2	3.00	0.33	2
	54	101	171	3			
25	54	104	169	1			
	58	106	172	2	4.00	2.33	4
	56	103	173	3			
26	53	101	158	1			
	54	102	169	2	24.33	14.33	49
	62	108	171	3			
27	58	102	189	1			
	51	107	190	2	12.33	10.33	70
	54	108	175	3			
28	56	104	172	1			
	55	103	175	2	1.00	0.33	9
	57	104	169	3			
29	56	102	160	1			
	56	103	167	2	1.33	2.33	26
	54	105	170	3			
30	56	103	166	1			
	58	106	168	2	1.00	6.33	9
	57	108	172	3			
31	57	104	164	1			
	51	98	164	2	10.33	10.33	1
	56	99	162	3			
32	52	100	168	1			
	55	102	166	2	4.33	4.00	1.33
	56	104	168	3			
33	51	99	168	1			
	60	102	152	2	21.00	12.33	120.33
	57	106	173	3			
34	58	105	171	1			
	51	98	163	2	13.00	16.33	49.33
	56	105	177	3			
35	57	103	172	1			
	56	104	168	2	0.33	0.33	16.00
	57	104	176	3			
36	57	106	173	1			
	57	103	167	2	0.33	3.00	10.33
	58	103	168	3			
37	58	100	167	1			
	55	103	165	2	4.33	6.33	2.33
	54	105	164	3			
38	55	100	167	1			
	51	99	169	2	4.33	7.00	17.33
	52	95	175	3			
39	57	105	177	1			
	56	104	178	2	1.00	7.00	52.33
	55	100	165	3			

DIA	T.d.D al X_{ij}			OPERARIO	S_i^2		
	10%	50%	90%		10%	50%	90%
40	52	102	165	1	1.00	1.00	4.00
	51	103	169	2			
	50	104	167	3			
41	56	105	174	1	4.33	4.00	20.33
	52	101	178	2			
	55	103	169	3			
42	55	102	170	1	1.33	5.33	22.33
	55	106	177	2			
	57	106	179	3			
43	55	101	170	1	1.00	16.33	36.33
	56	106	177	2			
	54	98	165	3			
44	54	103	171	1	1.00	9.00	8.33
	55	106	176	2			
	56	109	176	3			
45	54	103	174	1	2.33	6.33	4.00
	55	105	176	2			
	52	100	178	3			
46	54	103	172	1	6.33	4.33	13.00
	52	104	179	2			
	57	107	174	3			
47	55	105	173	1	0.33	0.00	0.33
	56	105	172	2			
	56	105	172	3			
48	55	103	170	1	0.33	4.33	16.33
	55	106	178	2			
	56	102	173	3			
49	55	102	175	1	3.00	16.00	1.00
	52	110	176	2			
	55	106	177	3			
50	59	103	160	1	9.33	2.33	44.33
	61	104	169	2			
	55	106	173	3			
51	54	100	176	1	4.00	7.00	31.00
	56	99	169	2			
	58	95	165	3			
52	55	106	175	1	6.33	16.33	233.33
	58	109	165	2			
	60	101	145	3			
53	56	104	172	1	2.33	10.33	40.33
	58	110	183	2			
	55	109	172	3			
54	56	105	174	1	0.33	1.00	6.33
	57	106	176	2			
	56	104	171	3			
55	54	104	174	1	1.00	0.33	1.33
	55	104	174	2			
	56	105	176	3			
56	55	105	174	1	4.33	1.00	25.33
	56	106	178	2			
	52	104	168	3			
57	51	101	178	1	1.00	9.33	61.00
	50	99	179	2			
	49	105	165	3			
58	55	104	168	1	4.33	6.33	6.33
	51	102	165	2			
	52	99	170	3			
59	58	106	174	1	13.00	6.33	1.33
	63	108	172	2			
	56	103	174	3			
60	56	105	169	1	1.33	2.33	4.00
	58	102	171	2			
	56	103	173	3			

DIA	T.d.D al X_{ij}			OPERARIO	S_i^2		
	10%	50%	90%		10%	50%	90%
61	55	101	165	1	2.33	9.33	21.00
	58	107	174	2			
	57	103	171	3			
62	58	108	177	1	3.00	9.00	3.00
	55	105	174	2			
	55	102	174	3			
63	56	102	173	1	7.00	20.33	12.00
	57	107	173	2			
	52	98	167	3			
64	54	105	173	1	9.00	34.33	52.33
	57	107	174	2			
	51	96	161	3			
65	55	105	174	1	1.00	1.00	0.33
	54	106	173	2			
	56	104	174	3			
66	55	106	175	1	0.33	2.33	10.33
	55	104	170	2			
	54	103	169	3			
67	55	106	177	1	7.00	271.00	310.33
	51	77	143	2			
	56	105	168	3			
68	58	107	173	1	5.33	1.33	24.33
	62	105	172	2			
	58	105	164	3			
69	55	99	164	1	1.00	31.00	16.00
	54	103	168	2			
	53	92	160	3			
70	53	99	171	1	3.00	4.33	34.33
	56	95	162	2			
	56	98	160	3			
71	55	96	161	1	0.33	1.00	0.00
	56	97	161	2			
	56	98	161	3			
72	53	99	169	1	5.33	0.33	21.00
	53	99	166	2			
	57	100	160	3			
73	55	98	162	1	1.00	0.00	4.33
	54	98	165	2			
	53	98	161	3			
74	56	113	165	2	6.33	46.33	3.00
	61	110	162	3			
	59	100	165	1			
75	56	102	170	1	4.33	254.33	281.33
	55	105	168	2			
	52	76	140	3			
76	55	105	186	1	1.00	1.00	146.33
	54	104	168	2			
	56	106	163	3			
77	51	98	164	1	4.33	12.33	4.33
	55	102	167	2			
	54	105	168	3			
78	52	96	160	1	1.00	2.33	22.33
	53	99	169	2			
	54	98	162	3			
79	50	101	165	1	9.33	9.00	6.33
	54	98	163	2			
	56	95	160	3			
80	53	99	164	1	1.00	0.33	0.33
	55	99	165	2			
	54	98	164	3			

DIA	T.d.D al X_{ij}			OPERARIO	S_i^2		
	10%	50%	90%		10%	50%	90%
81	60	100	165	1			
	59	98	162	2	1.00	2.33	4.33
	58	97	161	3			
82	59	108	168	1			
	58	102	165	2	1.00	9.00	16.33
	57	105	160	3			
83	60	105	165	1			
	61	104	164	2	1.00	2.33	4.33
	59	102	161	3			
84	60	111	177	1			
	53	99	163	2	13.00	44.33	70.33
	58	100	162	3			
85	60	110	177	1			
	58	106	168	2	1.00	25.33	21.00
	59	100	171	3			
86	54	112	170	1			
	56	115	171	2	4.00	3.00	2.33
	58	112	173	3			
87	56	105	167	1			
	55	107	174	2	0.33	2.33	13.00
	56	104	169	3			
88	55	98	105	1			
	56	97	104	2	0.33	0.33	0.33
	55	98	105	3			
89	55	98	167	1			
	56	95	165	2	1.00	2.33	2.33
	57	96	164	3			
90	54	103	165	1			
	55	103	167	2	0.33	0.00	2.33
	54	103	168	3			
91	54	103	166	1			
	52	96	166	2	3.06	4.36	2.31
	58	104	170	3			
92	54	102	170	1			
	55	104	165	2	0.58	1.53	2.65
	55	105	166	3			
93	61	106	161	1			
	54	100	166	2	3.61	3.21	2.89
	59	105	161	3			
94	53	105	165	1			
	55	104	166	2	1.53	2.08	1.00
	56	101	164	3			
95	58	105	167	1			
	56	100	167	2	4.16	6.56	1.73
	64	113	170	3			
96	58	104	161	1			
	55	111	167	2	1.73	4.73	3.21
	55	102	166	3			
97	58	102	166	1			
	64	114	169	2	4.58	7.23	1.73
	55	101	169	3			
98	104	164	177	1			
	53	97	168	2	29.16	37.85	4.73
	54	100	170	3			
99	56	105	169	1			
	58	106	167	2	1.53	3.21	1.53
	55	100	166	3			
100	55	103	167	1			
	56	105	166	2	0.58	1.15	0.58
	55	105	166	3			

DIA	T.d.D al X_{ij}			OPERARIO	S_i^2		
	10%	50%	90%		10%	50%	90%
101	54	104	166	1			
	59	109	175	2	2.65	2.89	4.93
	58	104	167	3			
102	58	98	164	1			
	59	99	167	2	2.65	6.66	5.13
	63	110	174	3			
103	57	106	175	1			
	56	105	172	2	1.00	1.53	1.53
	55	103	173	3			
104	59	108	168	1			
	59	108	169	2	0.58	1.15	2.08
	60	106	165	3			
105	57	105	169	1			
	56	103	171	2	1.00	1.15	1.53
	55	103	172	3			
106	55	100	167	1			
	55	101	171	2	1.73	1.00	2.08
	52	102	168	3			
107	59	104	173	1			
	58	102	171	2	2.65	1.15	1.53
	54	102	170	3			
108	55	103	168	1			
	51	96	167	2	2.65	3.79	1.53
	56	102	165	3			
109	54	97	168	1			
	52	95	165	2	1.00	1.00	3.00
	53	96	162	3			
110	51	98	172	1			
	54	97	172	2	2.08	1.00	0.58
	55	96	171	3			
111	55	95	167	3			
	55	94	168	1	0.58	2.08	1.53
	54	98	170	2			
112	55	102	168	1			
	54	102	167	2	0.58	0.58	1.00
	54	101	166	3			
113	53	97	165	1			
	54	98	172	2	1.00	4.36	4.73
	55	105	174	3			
114	54	93	167	1			
	54	99	168	2	0.58	4.58	0.58
	55	102	168	3			
115	53	100	168	1			
	56	102	173	2	1.73	1.15	2.52
	56	102	171	3			
116	55	95	168	1			
	56	94	165	2	0.58	0.58	1.53
	55	95	166	3			
117	58	107	170	1			
	55	100	168	2	2.08	4.04	2.52
	54	100	165	3			
118	55	102	174	1			
	57	106	176	2	1.00	2.31	1.53
	56	102	173	3			
119	57	102	168	1			
	58	103	169	2	1.00	1.00	2.08
	56	101	165	3			
120	57	105	173	1			
	57	106	172	2	0.58	0.58	0.58
	56	105	172	3			

DIA	T.d.D al X_{ij}			OPERARIO	S_i^2		
	10%	50%	90%		10%	50%	90%
121	55	103	169	1	0.00	2.52	0.58
	55	101	170	2			
	55	98	169	3			
122	55	98	165	1	0.58	0.58	2.65
	54	98	164	2			
	54	99	160	3			
123	57	101	173	1	1.00	1.00	1.00
	58	102	175	2			
	56	103	174	3			
124	53	103	171	1	1.00	1.53	1.73
	54	102	171	2			
	55	105	168	3			
125	54	105	175	1	0.58	1.73	5.00
	55	102	170	2			
	54	102	165	3			
126	56	103	173	1	0.58	1.00	2.65
	57	104	172	2			
	56	105	168	3			
127	53	97	166	1	0.58	2.65	0.58
	53	98	166	2			
	54	102	165	3			
128	57	102	174	1	1.00	2.52	3.00
	58	105	171	2			
	56	100	168	3			
129	54	103	173	1	1.15	5.51	3.06
	52	97	167	2			
	54	108	171	3			
130	56	105	170	1	0.58	1.00	0.58
	56	104	170	2			
	57	103	169	3			
131	57	111	171	1	1.53	5.51	2.65
	54	101	172	2			
	55	102	167	3			
132	53	106	168	1	3.06	2.31	3.06
	57	102	166	2			
	59	106	172	3			
133	54	100	168	1	1.00	2.08	1.53
	55	104	169	2			
	56	103	171	3			
134	55	105	174	1	0.58	0.58	36.75
	56	104	108	2			
	56	105	169	3			
135	55	100	168	1	1.00	2.00	3.00
	54	98	165	2			
	56	102	162	3			
136	55	104	171	1	2.31	2.89	2.31
	51	99	167	2			
	55	104	167	3			
137	51	100	164	1	0.58	2.52	0.58
	51	98	164	2			
	52	95	165	3			
138	55	104	171	1	1.53	3.06	4.73
	52	100	164	2			
	54	98	162	3			
139	52	99	162	1	2.52	4.04	2.65
	50	94	163	2			
	55	102	167	3			
140	56	101	170	1	3.21	2.08	3.00
	55	100	164	2			
	50	97	167	3			

DIA	T.d.D al X_{ij}			OPERARIO	S_i^2		
	10%	50%	90%		10%	50%	90%
141	55	101	167	1	2,33	2,33	2,33
	52	98	165	2			
	53	99	164	3			
142	55	101	167	1	4,33	4,00	0,33
	52	99	166	2			
	51	97	166	3			
143	51	97	167	1	7,00	5,33	1,00
	56	101	166	2			
	52	101	168	3			
144	51	97	163	1	2,33	13,00	56,33
	52	95	178	2			
	54	102	170	3			
145	44	87	162	1	20,33	16,33	10,33
	48	90	163	2			
	53	95	168	3			
146	52	102	168	1	1,00	9,00	1,33
	53	96	168	2			
	54	99	170	3			
147	54	98	167	1	2,33	32,33	19,00
	51	90	160	2			
	53	101	168	3			
148	55	100	168	1	6,33	1,33	5,33
	53	102	172	2			
	58	102	168	3			
149	54	98	167	1	5,33	21,33	12,33
	50	90	160	2			
	54	98	164	3			
150	53	96	161	1	4,33	12,00	12,33
	56	90	168	2			
	52	96	164	3			
151	54	100	168	1	4,00	4,00	4,00
	56	102	170	2			
	58	104	172	3			
152	55	98	162	1	1,00	14,33	19,00
	53	91	155	2			
	54	92	154	3			
153	53	92	160	1	0,33	13,00	4,00
	54	99	164	2			
	54	94	162	3			
154	52	90	158	1	1,00	20,33	21,00
	53	94	161	2			
	54	99	167	3			
155	51	92	162	1	3,00	9,33	2,33
	54	96	163	2			
	54	98	165	3			
156	57	107	168	1	3,00	52,33	36,00
	54	95	162	2			
	54	94	156	3			
157	54	95	161	1	6,33	0,33	0,00
	57	95	161	2			
	52	94	161	3			
158	55	95	163	1	4,00	25,33	2,33
	57	101	164	2			
	53	91	166	3			
159	57	103	162	1	1,33	21,00	4,33
	55	94	159	2			
	57	97	158	3			
160	57	99	163	1	4,33	14,33	4,33
	53	92	160	2			
	56	98	164	3			

DIA	T.d.D al X_{ij}			OPERARIO	S_i^2		
	10%	50%	90%		10%	50%	90%
161	56	101	163	1	3,00	19,00	2,33
	53	93	160	2			
	56	100	162	3			
162	55	97	162	1	0,33	1,00	0,33
	55	96	161	2			
	54	95	162	3			
163	51	100	162	1	16,33	1,33	1,33
	58	102	164	2			
	58	100	164	3			
164	57	55	55	1	2716	3061	3014
	103	93	98	2			
	161	164	164	3			