



30,0618
UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA
INCORPORADA A LA U. N. A. M.

12
20

**"DISEÑO E INSTALACION DE UN SISTEMA
DE CONTROL ESTADISTICO DE PROCESOS
EN UNA PLANTA DE FOSFATOS"**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :

MARIA DEL CARMEN VALDES VACA

Director de Tesis: ING. FERNANDO GARCIA MATA

MEXICO, D. F.

1994

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A USTEDES...

MIS PADRES, Héctor y Virginia, porque gracias a su sacrificio, apoyo y ejemplo he podido alcanzar esta meta.

MI ESPOSO, Gerardo, porque llenas mi vida de Amor e ilusiones.

MIS HERMANOS Y CURADOS, por rodearme siempre con su cariño, Juan José, Melly, Gina, Héctor, Claudia, Jorge y muy especialmente a tí Tere, porque fuiste para mí el mejor ejemplo de perseverancia.

MIS AMIGOS, José Ramón, Sandra, Gaby, Liz, Carmen, Angel, Chio, Claudia y TODOS los que compartieron conmigo algo más que años de estudio.

ING. FERNANDO GARCIA MATA, por su valiosa ayuda en la elaboración de este trabajo.

ING. EDUARDO MARTINEZ ACEVEDO, gracias por toda la ayuda, apoyo y amistad que me brindaste como Asesor Externo.

Y a todas las personas que participaron con tanto entusiasmo en este proyecto, muchas gracias.

I N D I C E

	Página
INTRODUCCION	... 1
CAPITULO I	
ORIGEN DE LA ORIENTACION HACIA LA CALIDAD Y EL CONTROL ESTADISTICO DE PROCESOS	
	... 4
Deming, los 14 puntos para la administración	... 7
Juran, los 10 pasos para el mejoramiento de la calidad	... 8
Crosby, los 14 puntos para el mejoramiento de la calidad	... 8
Puntos comunes entre los tres enfoques de Calidad	... 9
Total(Deming, Juran y Crosby)	... 9
CAPITULO II	
BASE TEORICA DEL CEP	
	... 11
Variables y Atributos	... 13
Causas comunes y causas especiales de variación	... 14
Hoja de inspección y Estratificación	... 15
Diagrama de Causa y Efecto	... 16
Diagrama de Pareto	... 17
Gráfico de desarrollo	... 19
Histograma	... 21
Diagrama de dispersión	... 23
Gráfico de Control para procesos continuos	... 25
Interpretación de los Gráficos de Control	... 27
CAPITULO III	
TRIPOLIFOSFATO DE SODIO (STP): PROCESO DE PRODUCCION, PROPIEDADES Y METODOS DE ANALISIS.	
	... 37

Descripción del proceso de producción del tripoli- fosfato de sodio	... 38
Diagrama de flujo del proceso de producción del tri- polifosfato de sodio	... 40
Fundamentos químicos del tripolifosfato de sodio	... 41
Propiedades físicas del tripolifosfato de sodio	... 45
Técnicas analíticas para el control en planta del producto	... 51

CAPITULO IV

ANALISIS ESTADISTICO DEL PROCESO DE PRODUCCION DE TRIPOLIFOSFATO DE SODIO ANTES DE LA IMPLANTACION DEL CEP	... 54
Relación DSP/MSP antes de CEP (Datos y cartas de control)	... 59
% P205 antes de CEP (Datos y cartas de control)	... 62
TR antes de CEP (Datos y cartas de control)	... 65
pH antes de CEP (Datos y cartas de control)	... 68

CAPITULO V

APLICACION DE LAS HERRAMIENTAS DEL CEP PARA LA MEJORA DEL PROCESO DEL STP	... 71
Formato de carta de control por lecturas individuales	... 73
Diagrama de Causa y efecto para la Relación DSP/MSP	... 74
Diagrama de Causa y efecto para el %P205	... 75
Diagrama de Causa y efecto para el TR	... 76
Diagrama de Causa y efecto para el pH	... 77
Causas básicas y Acciones correctivas	... 79
Relación DSP/MSP después de CEP (Datos y cartas de control)	... 81
% P205 después de CEP (Datos y cartas de control)	... 84
TR después de CEP (Datos y cartas de control)	... 87
pH después de CEP (Datos y cartas de control)	... 90

CONCLUSIONES	... 93
BIBLIOGRAFIA	... 97

INTRODUCCION

INTRODUCCIÓN

Factor importante en el mejoramiento de la calidad industrial es el Control Estadístico de Procesos, por lo que su implantación ha cobrado gran relevancia en la actualidad.

El objetivo del presente trabajo fue implantar el Control Estadístico de Procesos (CEP) en una planta productora de tripolifosfato de sodio, a fin de mejorar la calidad del producto cumpliendo satisfactoriamente con los requerimientos del cliente.

De esta manera, en este trabajo se muestran los pasos que se siguieron, llevando el proceso desde su estado inicial de "descontrol", hasta el estado actual de "control estadístico", reflejándose en una mejora de la calidad del producto (disminución de la variabilidad).

Para comprender mejor el proceso que se llevó a cabo, comienzo describiendo brevemente, en el capítulo I, el origen y desarrollo histórico de la Calidad Total, así como las filosofías y metodologías de los exponentes de la Calidad. El capítulo II contiene la base teórica del Control Estadístico de Procesos, explicando las herramientas estadísticas así como algunos conceptos básicos. En el capítulo III se describe el proceso de producción del tripolifosfato, mostrando un diagrama del proceso, las reacciones que se llevan a cabo, las propiedades físicas y químicas del mismo, y las técnicas analíticas de control de calidad en planta del producto. El capítulo IV contiene la recopilación de los datos históricos del proceso, sus cartas (o gráficos) de control correspondientes, y su análisis estadístico que muestra al proceso "fuera de control". En el capítulo V se describe cómo fueron aplicadas las herramientas del Control Estadístico de Procesos para encontrar las causas de desviación, y las acciones correctivas que, una vez ejecutadas, llevaron al proceso a un "control estadístico" reflejado en sus gráficos de control correspondientes.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1. Determinar la habilidad real del proceso (Cpk) antes de la implementación del Control Estadístico de Procesos.
2. Implantar el Control Estadístico de Procesos.
3. Valorar la habilidad real del proceso (Cpk) una vez implementado el Control Estadístico de Procesos, comprobando la mejora en la calidad del producto.

CAPITULO I

**ORIGEN DE LA ORIENTACION HACIA LA CALIDAD
Y EL CONTROL ESTADISTICO DE PROCESOS**

**BREVE RESUMEN DE LAS TEORIAS DE LOS EXPONENTES
AMERICANOS DE LA CALIDAD: DEMING, JURAN Y CROSBY**

CAPITULO I

-ORIGEN DE LA ORIENTACIÓN HACIA LA CALIDAD Y EL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS.

-BREVE RESUMEN DE LAS TEORÍAS DE LOS EXPONENTES AMERICANOS DE LA CALIDAD: DEMING, JURAN Y CROSBY.

El control de calidad moderno o control de calidad estadístico comenzó en los años 30 con la aplicación industrial del cuadro de control del Dr. Shewhart, de Bell Laboratories.

Al llegar la segunda guerra mundial, Estados Unidos se vio en la necesidad de producir grandes cantidades de armamento de alta calidad a bajo costo, a través de una fuerza laboral no especializada. Esta necesidad se pudo satisfacer gracias a los nuevos métodos de control desarrollados por personas como Deming, Juran y Shewhart. Se trataba del control de calidad estadístico, el cual logró hacer que la producción norteamericana durante la guerra fuera muy satisfactoria en términos cuantitativos, cualitativos y económicos, así como también estimuló los avances tecnológicos.

Al terminar la guerra, el Japón¹ quedó en ruinas. Se habían destruido prácticamente todas sus industrias, y el país carecía de alimentos, vestido y vivienda. Por otro lado, las fuerzas norteamericanas que desembarcaron en Japón se toparon con el deficiente servicio telefónico del lugar, resultante de la desigual y deficiente calidad del equipo. Viendo estos defectos, en 1950, con ayuda del gobierno estadounidense, la JUSE (Japanese Union of Scientists and Engineers) invitó al Dr. Deming a visitar Japón para iniciar la capacitación en

¹Kaoru Ishikawa, "¿QUE ES CONTROL TOTAL DE CALIDAD?...LA MODALIDAD JAPONESA", Ed. Norma, S.A., Colombia, 1986.

estadística, su especialidad, a unos 460 ingenieros japoneses. En los siguientes 4 años se capacitó en forma masiva a la gente de producción, manufactura, supervisión y operación. El Dr. Kaoru Ishikawa, miembro de la JUSE, comprendió que era indispensable que la alta gerencia se convenciera y participara del proceso de cambio, así que invitaron al Dr. Juran, también norteamericano, para que les explicara sus teorías sobre la importancia de la participación e involucramiento de la alta gerencia en el proceso de la mejora y la organización de grupos de trabajo para lograr las metas anuales de solución de problemas tipo prioritario. Además, Juran les habló de la importancia de los registros y controles que permitirían evaluar los avances en calidad.

A partir de la visita de Juran en 1954, y del involucramiento de la alta gerencia japonesa en el proceso de mejora continua y calidad total, Japón inició con pasos firmes el despegue tan impresionante que lo llevaría en tan solo tres décadas (en los 80's) a ser un país cuyos productos son de calidad internacionalesmente reconocida, y a precios altamente competitivos.

Esta transformación del Japón ha llamado la atención de los industriales de todo el mundo, principalmente las superpotencias, quienes le han prestado un enorme interés a la filosofía de calidad buscando eficientar sus procesos de inspección, abaratando costos de operación, eliminando los defectos y variaciones en procesos, todo esto con el fin de poder competir internacionalesmente con los productos de alta calidad a bajo costo.

En este punto considero importante resumir brevemente las diferentes filosofías y metodologías de los exponentes americanos de la Calidad: Deming, Juran y Crosby.

I.- DEMING.**Los 14 puntos para la administración.**

1. Consistencia de propósito para el mejoramiento de la calidad.
2. Adoptar la Nueva Filosofía.
3. Cesar la dependencia de inspección masiva, requiriendo a cambio la evidencia estadística de la mejora de la calidad.
4. Terminar con la costumbre de establecer negocios con base en el precio.
5. Mejorar constantemente el sistema de producción y servicio.
6. Instituir métodos modernos de en'renamiento.
7. Instituir métodos modernos de supervisión, cambiar de las cantidades a la calidad.
8. Romper el miedo.
9. Romper barreras entre departamentos.
10. Eliminar las metas numéricas, los carteles y los temas para la fuerza de trabajo, pidiendo nuevos niveles de productividad sin proporcionar métodos.
11. Eliminar los estándares de trabajo que prescriban cuotas numéricas sin proporcionar métodos.
12. Remover barreras entre el trabajador y su derecho a sentir orgullo por el trabajo.
13. Instituir un vigoroso programa de educación y reentrenamiento.
14. Crear una estructura en la alta gerencia, que impulse día a día los 13 puntos anteriores.

II. JURAN.

Los 10 pasos para el mejoramiento de la Calidad.

1. Detectar necesidades para mejorar puntos de oportunidad.
2. Establecer metas de mejora.
3. Organizar el logro de objetivos, estableciendo un consejo de calidad que identifique los problemas, seleccione los proyectos, nombre equipos y designe ayudantes).
4. Proveer entrenamiento.
5. Llevar a cabo proyectos para solución de problemas.
6. Registrar avance.
7. Dar reconocimiento.
8. Comunicar resultados.
9. Evaluar y mantener un registro.
10. Mantener el empuje haciendo mejoras anuales como parte de la estrategia de la organización.

III. CROSBY.

Una contribución más reciente a los esfuerzos para el logro de la calidad en las empresas norteamericanas es la aportación de Phillip Crosby:

- Cero defectos.
- Costo de calidad.

Donde el costo de calidad se divide en dos grandes rubros:

- a) Prevención - hacerlo bien.
- b) Corrección - no hacerlo bien (desperdicios, retrabajo, mano de obra perdida, etc.).

Los 14 puntos de Crosby para el mejoramiento de la calidad.

1. Aclarar el compromiso de la alta gerencia con la calidad.
2. Formar equipos de mejoramiento de calidad con representantes de cada departamento.
3. Determinar dónde residen los problemas urgentes o potenciales de la calidad.
4. Evaluar el costo de calidad.
5. Evaluar la conciencia de la calidad y el interés de todos los empleados.
6. Tomar acciones correctivas.
7. Establecer un comité para el programa de cero defectos.
8. Dar entrenamiento a supervisores.
9. Mantener un día de "Cero Defectos" para permitir que todos los empleados comprendan que ha habido un cambio.
10. Alentar a los individuos a establecer metas de mejoramiento para ellos mismos y sus grupos.
11. Alentar a los empleados a comunicar a la gerencia los obstáculos que ellos enfrentan para conseguir sus metas de mejoramiento.
12. Dar reconocimiento a los participantes.
13. Establecer consejos de calidad para comunicarse sobre una base regular.
14. Hacerlo todo de nuevo para enfatizar que el programa de mejoramiento de la calidad nunca termina.

En realidad las tres teorías aquí citadas pueden combinarse de tal modo que se logre una filosofía mejor adaptada a las características propias de cada empresa. Las tres teorías presentan puntos comunes.

Puntos comunes entre los tres enfoques de Calidad Total (Deming, Juran y Crosby).

1. El cliente es lo más importante.
2. Hay que prevenir, no corregir.
3. Reducir costos y desperdicios.

4. Largo plazo. No hay caminos cortos hacia la calidad.
5. Participación e involucramiento de todo el personal.
6. Trabajar en equipo.
7. Medir los resultados.
8. Dar reconocimiento a los participantes.
9. Compromiso y apoyo de la alta gerencia.
10. Instituir programas para un entrenamiento moderno.
11. Crear consciencia de la necesidad.
12. Tener un proceso o herramientas para el mejoramiento sistemático y permanente.

CAPITULO II

BASE TEORICA DEL CEP

CAPITULO II

BASE TEÓRICA DEL CEP

En este capítulo se explica qué son y para qué sirven cada una de las herramientas del Control Estadístico de Procesos, incluyendo una breve descripción de conceptos básicos.

Un proceso se describe utilizando un diagrama de flujo, después se analizan sus componentes: insumos (Mano de obra, materiales, energía y capital), bienes o servicios (salidas), tareas, flujos, inventarios y medio ambiente (condiciones económicas y el nivel tecnológico).

La diferencia entre flujos y tareas es que los primeros sólo cambian la posición del bien o servicio en el proceso, en tanto que las tareas cambian sus características.

La tecnología es el conjunto de conocimientos de los procesos, métodos, técnicas y bienes de capital (maquinaria y equipo) con los que son hechos los productos o servicios.

La Estadística es la ciencia que se ocupa de recopilar, organizar, representar, analizar, extraer y generalizar información contenida en un conjunto de datos.

Se llama "Población" o "Universo" al conjunto de elementos sobre los cuales se realiza un estudio estadístico.

Una Muestra está constituida por algunos elementos de la población.

Se llama "Muestra representativa" o "Muestra aleatoria" a aquella en la cual cada uno de los elementos de la población tienen la misma posibilidad de participar en ella.

- Variables y Atributos.

Cuando se registra la medida real de una característica de calidad, por ejemplo una dimensión expresada en milésimas de milímetro, se dice que la calidad viene expresada mediante variables.

Cuando sólo se anota el número de artículos que cumplen, y el número de los que no cumplen, ciertas condiciones específicas, se dice que se lleva un control por atributos.

El Rango (R) es la diferencia entre el valor más grande y el más pequeño de un conjunto de observaciones:

$$R = X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}$$

La Desviación estándar de un conjunto de valores es la raíz cuadrada de los cuadrados de las desviaciones de los valores de la variable respecto a su media:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n}}$$

Las características de calidad son aquellas variables que desea el cliente en el producto final.

Un parámetro es una variable que nos sirve para obtener una característica de calidad deseada, Por ejemplo, en un proceso de secado, la característica de calidad será el % de humedad del producto y los parámetros serán: temperatura, flujo de aire, etc.

Las características de calidad de un proceso son las que deben controlarse mediante gráficos de control. Los parámetros se monitorean con gráficos de corridas.

Los parámetros y las características de calidad deben reunir los siguientes requisitos:

- a) Ser indicadores de: calidad, duración-puntualidad, eficiencia-precisión- eficacia, confiabilidad, y costo.
- b) Tener unidades de medición: segundos, horas, etc.;
- c) Deben ser comparados contra un estándar.

Es importante tener en cuenta que no existen dos productos iguales, ya que todos los procesos de fabricación tienen variación. Lo que interesa es disminuir la diferencia entre productos a un mínimo posible.

Causas comunes y Causas especiales de variación.

- Cuando se tiene mano de obra adiestrada con métodos de trabajo apropiados, materiales de la calidad deseada, maquinaria en buenas condiciones y un medio ambiente controlado, la variación (diferencia) que existe de artículo a artículo se conoce como "Causa común de variación" o "Causa aleatoria de variación". Estas causas comunes las puede disminuir la Administración de la Empresa (es decir, su solución depende de la decisión que se tome en la alta gerencia).

- Cualquier variación en la calidad del producto que sea debida a materiales, mano de obra, métodos de trabajo, maquinaria o medio ambiente se conoce como "Causa especial de variación" o "Causa asignable de variación", y puede ser eliminada fácilmente por los operadores y la supervisión de la planta y oficinas.

Para saber cuándo hay causas especiales o causas comunes de variación en un proceso se usa un gráfico de control.

- Hoja de Inspección y Estratificación.

Las Hojas de Inspección y la Estratificación son las herramientas básicas del Control Estadístico de Procesos. Contestan a preguntas como: ¿Con qué frecuencia ocurren los defectos? y ¿Dónde ocurren los defectos?.

Ejemplo de hoja de inspección.

PIEZA: AA		FISURA: X	PINTURA: /	SOLDAD.: W	GOLPE: #	OTROS: &	
911010-911015		LUNES	MARTES	MIERC.	JUEVES	VIERNES	TOTAL
N: 100 PIEZAS							
PRIMER TURNO	MAQUINA UNO	XXX / /	XX &##	##W /W	XXXX	W W	21
	MAQUINA DOS	/## ##	# W ##	# /	W W	/	15
SEGUNDO TURNO	MAQUINA UNO	///X / /	X & W	XX W	X X #	#	15
	MAQUINA DOS	/// / &	/ W	W X	W /	/	12
T O T A L		21	14	12	11	5	63

En este ejemplo se ve que los defectos de pintura son más frecuentes el lunes (12 de 18 totales). La máquina Uno genera más defectos de fisuras (15 de 16 totales).

Los defectos se identificaron de acuerdo a su tipo (pintura, fisura, etc.), al turno, al día y a la máquina. Esto es **Estratificar: agrupar datos que tengan características semejantes.**

Al estratificar conviene separar los datos de acuerdo a los siguientes grupos:

- Maquinaria (reactor 1, filtro 2, etc.)
- Materia prima (proveedor A, proveedor B)
- Mano de obra (Juan, Pedro)
- Método de trabajo (estándar, no estándar)
- Medio ambiente (día, noche, verano, etc.)

- Diagrama de Causa y Efecto.

Este tipo de diagrama se utiliza cuando se necesita explorar y mostrar todas las causas posibles de un problema o una condición específica.

El diagrama de causa y efecto fue desarrollado por el señor Ishikawa, y su forma recuerda la de una espina de pescado, de ahí que también se le conozca como "diagrama de Ishikawa" o bien, "diagrama de pescado", y sirve para representar la relación entre algún efecto y todas las posibles causas que lo influyen.

El efecto o problema se coloca en el lado derecho del diagrama y las influencias o causas principales son listadas a su izquierda (Página siguiente).

Estos diagramas son trazados para ilustrar claramente las diferentes causas que afectan un proceso, identificándolas y relacionándolas unas con otras. Para cada efecto generalmente surgirán varias categorías de causas principales que pueden agruparse en: mano de obra, maquinaria, métodos, materiales y medio ambiente.

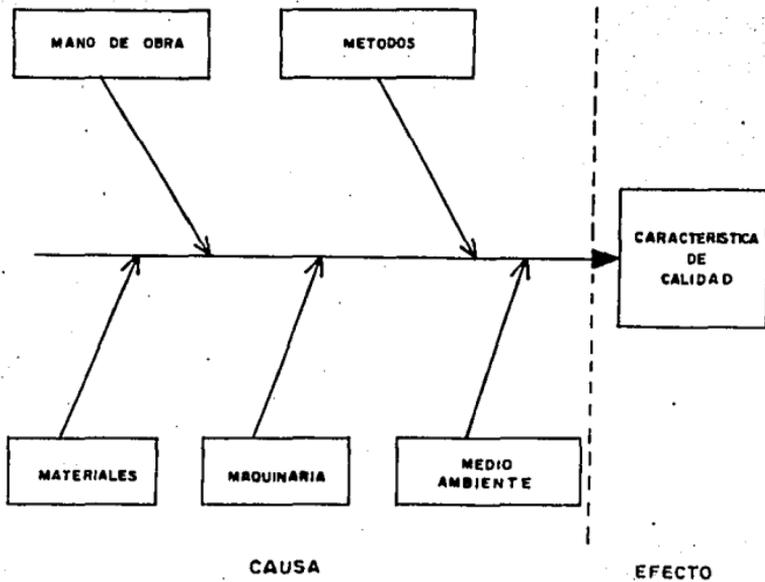


DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO.

- Diagrama de Pareto.

El diagrama de Pareto es una forma especial de gráfico de barras verticales el cual ayuda a determinar qué problemas resolver y en qué orden.

El hecho de hacer un diagrama de Pareto basado en Hojas de Inspección o en otras formas de recolección de datos nos ayuda a dirigir nuestra atención y esfuerzos a los problemas realmente importantes pudiendo ordenar la información por frecuencia o por costos (Página siguiente).

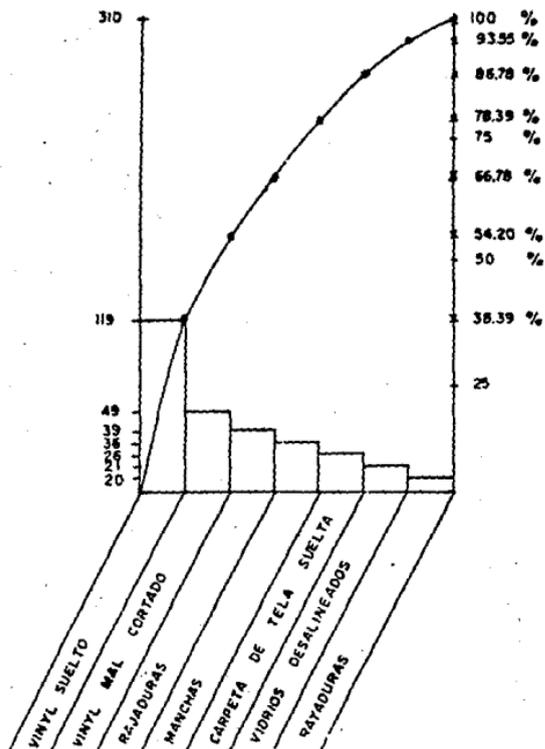
Se obtienen mejores resultados analizando los problemas en orden de importancia.

La experiencia indica que el 20% de las causas provocan el 80% del problema, lo cual se ve claramente en estos diagramas.

La utilización de este tipo de diagrama aporta los siguientes beneficios:

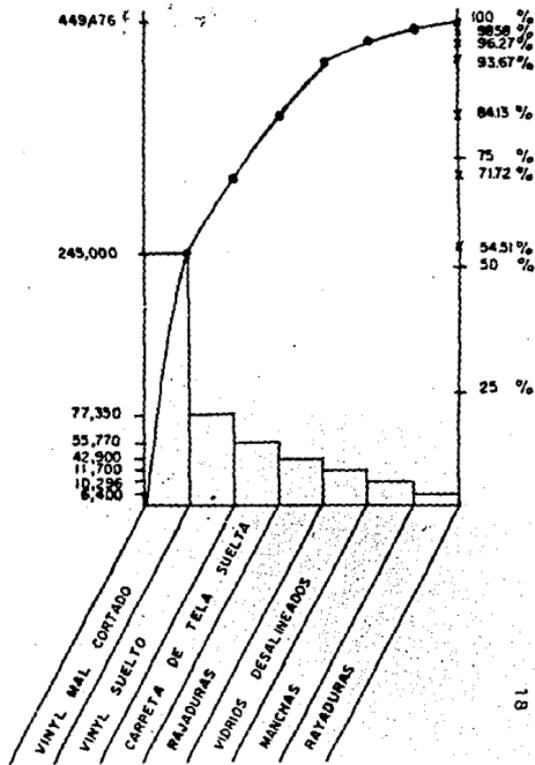
- a) Se utilizan en forma óptima los recursos.
- b) Facilita la toma de decisiones por consenso.
- c) Asigna prioridades.

NUMERO DE DEFECTOS



Y

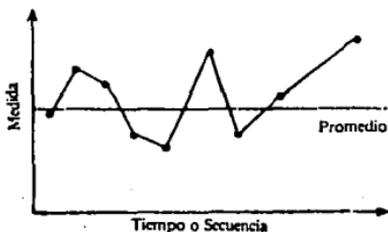
COSTO DE DEFECTOS



- Gráfico de desarrollo.

Los gráficos de desarrollo son usados para representar datos visualmente. Se utilizan para monitorear un sistema con el fin de ver si el promedio a largo plazo ha cambiado.

Los gráficos de desarrollo son la herramienta más simple de construir y usar. Los puntos son graficados de acuerdo a como se van obteniendo. Es común graficar los resultados de un proceso tal como el tiempo muerto de una máquina, la eficiencia, el material desperdiciado, los errores tipográficos o la productividad a medida que varían con el tiempo.



Un peligro que existe al emplear un gráfico de desarrollo es la tendencia a creer que cada variación en la información es importante. El gráfico de desarrollo, al igual que las demás técnicas gráficas, debe ser usado para enfocar la atención en los verdaderos cambios vitales del sistema.

Uno de los usos más importantes del gráfico de desarrollo es identificar cambios o tendencias importantes en el promedio. Por ejemplo, cuando se está observando un sistema se supone que vamos a encontrar un igual número de puntos que estén por encima y por debajo del promedio. Podemos decir que cuando tenemos una corrida

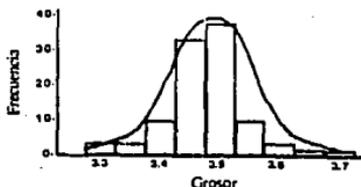
de siete u ocho puntos a uno de los lados del promedio (es decir, 7 u 8 puntos sucesivos) es un indicador (estadísticamente hablando) de que un evento inusitado ha ocurrido y que el promedio l. cambiado. Dichos cambios deben siempre ser investigados. Si el cambio es favorable, deberá hacerse parte permanente del sistema; si es desfavorable, deberá ser eliminado. Otro caso que puede ocurrir es una tendencia de seis o más puntos que asciendan o desciendan consecutivamente; desde luego, basados en los eventos aleatorios, se espera que ninguna de estas tendencias suceda, por lo que de suceder es un claro indicador de que un cambio importante ha ocurrido y es necesario por lo tanto investigar lo sucedido.

- Histograma.

El histograma se utiliza para descubrir y mostrar la distribución de datos graficando con barras el número de unidades en cada categoría.

Tal como sucede con el gráfico de Pareto, es muy útil mostrar en forma de gráficos de barras la frecuencia con que ciertos eventos ocurren (distribución de frecuencias). Sin embargo, el gráfico de Pareto solamente trabaja con las características de un producto o servicio, por ejemplo, tipo de defecto, problema, riesgos de seguridad, etc. (datos por atributos). Un Histograma toma datos de mediciones, por ejemplo, temperatura, dimensiones, etc. y muestra a su vez su distribución. Un histograma revela la cantidad de variación propia de un proceso.

Un Histograma típico se asemejaría a lo siguiente:



Nótese la curva sobrepuesta sobre el tradicional gráfico de barras. Esta curva mostrada es del tipo llamado "normal" debido a que la mayor parte de las observaciones caen en el centro de la distribución y el resto se distribuye a ambos lados del promedio.

Muchos datos de muestras tomadas aleatoriamente de procesos bajo control estadístico siguen esta distribución conocida como "curva

de distribución normal". Otros datos muestran distribuciones con todos los datos "apilados" en puntos lejos del centro; este tipo de distribución es conocida como "sesgada". Cabe hacer notar que podemos encontrar distribuciones que debieran ser normales y no lo son; lo mismo puede suceder con distribuciones que se sabe de antemano que son sesgadas.

Además de conocer la forma de distribución, se puede saber lo siguiente:

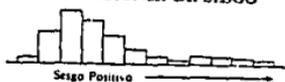
a) Si la "dispersión" de la curva cae dentro de las especificaciones. Si no es así, qué cantidad cae fuera de las mismas (variabilidad).

b) Si la curva está centrada en el lugar debido. Podemos saber si la mayoría de los datos caen en el lado alto o en el lado bajo (sesgo).

ILUSTRACIONES DE VARIABILIDAD



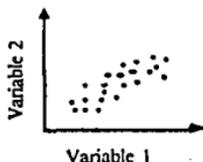
ILUSTRACIONES DE SESGO



- Diagrama de dispersión.

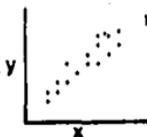
El diagrama de dispersión se usa para estudiar la posible relación entre dos variables. Este tipo de diagrama se usa para probar posibles relaciones entre causa y efecto; no puede probar que una variable causa la otra, pero sí aclara si existe alguna relación y la intensidad que pudiera tener la misma.

El diagrama de dispersión se traza de forma que el eje horizontal (Eje X) represente los valores de una variable y el eje vertical (Eje Y) represente los valores de la otra. Un diagrama de dispersión típico sería como el mostrado abajo:



Obsérvese cómo los puntos graficados forman un patrón determinado. La dirección y la unión de la agrupación le da idea sobre la fuerza de la relación entre las variables. Esto es lógico puesto que una línea recta indica que cada vez que una variable cambia la otra también cambia de la misma manera.

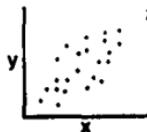
Casos Típicos de Diagramas de Dispersión



1. Correlación Positiva

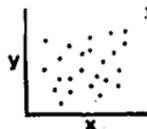
1. Un incremento en "Y" depende de un incremento en "X". Si "X" es controlada, "Y" será naturalmente controlada, por ej.:

- altura vs. peso
- entrenamiento vs. desempeño



2. Posible Correlación Positiva

2. Si "X" aumenta, "Y" incrementará un poco, aunque "Y" parece tener otras causas diferentes a "X"



3. No Correlación

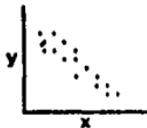
3. No hay correlación



4. Posible Correlación Negativa

4. Un aumento en "X" causará una tendencia a disminuir "Y", por ej.:

- calidad vs. quejas de clientes
- entrenamiento vs. rechazos



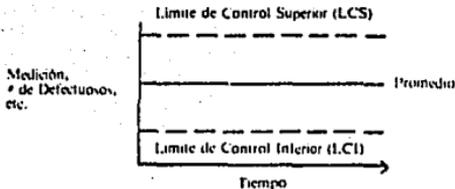
5. Correlación Negativa

5. Un aumento en "X" causará una disminución en "Y", por lo tanto, como en el punto 1, "X" puede ser controlada en lugar de "Y".

-Gráfico de Control x-R para procesos continuos.

Se utiliza para saber si la variabilidad de un proceso es debida a causas comunes o si es debida a causas especiales a fin de determinar si el proceso está bajo control (estadísticamente hablando).

Un gráfico de control es simplemente un gráfico de desarrollo con límites de control estadísticamente determinados; estos límites se denominan Límite Superior de Control (LSC) y Límite Inferior de Control (LIC) y se colocan equidistantes a ambos lados de la línea que indica la media de un proceso.



Los límites de control son calculados tomando datos de un proceso mediante muestras e introduciendo los promedios o medias de las muestras en fórmulas apropiadas; se pueden graficar estos promedios de las muestras a fin de determinar si caen dentro o fuera de los límites de control o bien, saber si forman trayectorias "anormales"; si tenemos puntos fuera de los límites o bien formando estas trayectorias "anormales", entonces se dice que el proceso está "fuera de control".

La fluctuación de los puntos dentro de los límites resulta de la variación de las causas comunes dentro del sistema de un proceso,

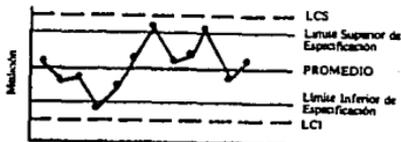
¹ Si se quieren consultar Fórmulas y Tablas para determinar los límites de control, ver E.L. Grant y R.S. Leavenworth, "CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD", México, 1990, Cap. IV.

por ejemplo el diseño, tipo de máquina, mantenimiento preventivo, etc. y que solamente pueden ser afectadas cambiando ese sistema.

En caso de tener puntos fuera de los límites de control o bien formando ciertas trayectorias "anormales", podemos entonces decir que estos son originados por causas especiales o asignables, por ejemplo errores del personal, cambio en el lote de material, desgaste de herramientas de trabajo, etc., y que no son parte de la forma normal de operar del proceso y que deben ser eliminadas antes de que el gráfico de control sea utilizado como herramienta de monitoreo.

Una vez hecho esto, el proceso estará "en control" y las muestras pueden ser tomadas a intervalos regulares para asegurar que el proceso no cambie fundamentalmente.

Nota importante: "Control" no necesariamente significa que el producto o servicio cumplirá con las especificaciones; solamente significa que el proceso es consistente (puede ser consistentemente malo), por ejemplo:



En este caso, el proceso está bajo control, pero no es capaz de cumplir con las especificaciones. Las especificaciones son lo que se necesita (hechas por el hombre) y los límites de control son lo que el proceso puede hacer consistentemente (creados por los datos).

Interpretación de los Gráficos de Control

A continuación enuncio los criterios más recurrentes para interpretar los patrones de inestabilidad que se pueden encontrar en los gráficos de control. Al referirme a medias, entiéndase como los valores medios de la variable en cuestión, ya sea medida de centralización (media \bar{x} , mediana M), medida de dispersión (rango \bar{R} o desviación estándar S) o los valores np, p, c y u.

A partir de los datos del gráfico de control, se obtienen las estimaciones del valor central del proceso y la dispersión del proceso.

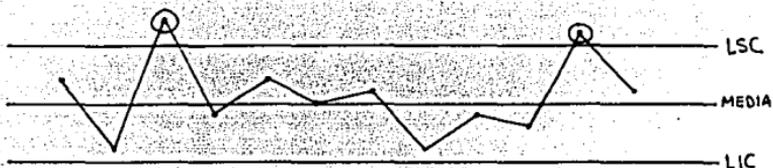
Si no hay ningún punto que salga fuera de los límites se dice que "el proceso está bajo control"; lo que quiere decir que el proceso se comporta como si no existieran causas atribuibles de variación.

Una regla práctica² para decidir que un proceso está bajo control es que no exista más de un punto fuera de los límites considerando 35 muestras o más de 2 considerando 100.

También podemos decir que un proceso está dentro de control, siempre que todos los puntos se encuentren dentro de los límites de control, y que estos puntos no muestren ninguna tendencia.

²E.L. Grant y R.S. Leavenworth, "CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD", C.E.C.S.A., México, 1990.

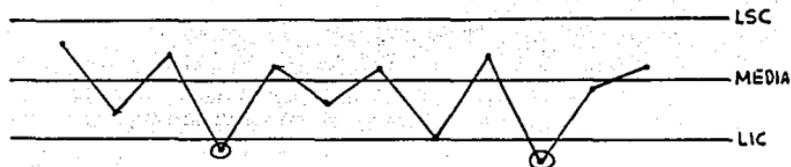
1. Puntos por encima del límite superior de control.



Pueden ser indicativos de alguna de las siguientes condiciones:

- Hay errores de medición, cálculo o trazo.
- Existe alguna condición desfavorable para el proceso, cuya recurrencia debe evitarse mediante una acción preventiva permanente.

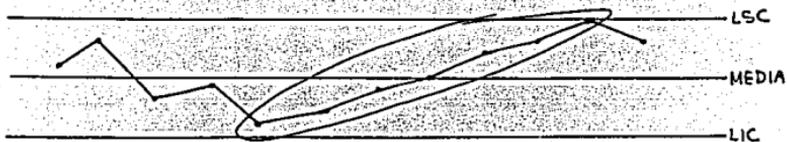
2. Puntos por debajo del límite inferior de control.



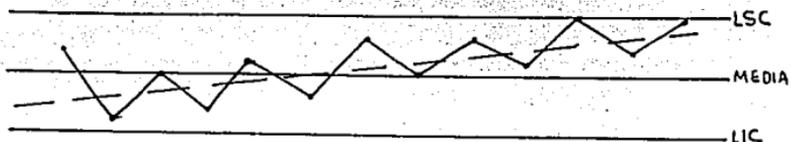
Pueden ser indicativos de alguna de las siguientes condiciones:

- Hay errores de medición, cálculo o trazo.
- Si se trata de una carta de control por variables, existió alguna condición desfavorable para el proceso, cuya recurrencia debe evitarse mediante una acción preventiva permanente.
- Si se trata de una carta de control por atributos, existió alguna condición favorable al proceso cuyo contenido debe analizarse para implantarse como medida permanente al proceso.

3. Una tendencia ascendente en 7 u 8 puntos sucesivos.



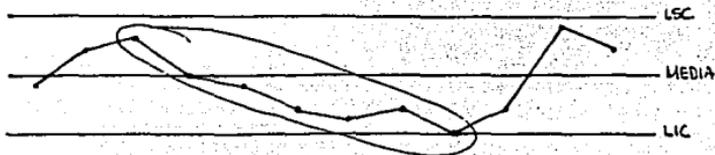
o algún otro tipo de tendencia ascendente



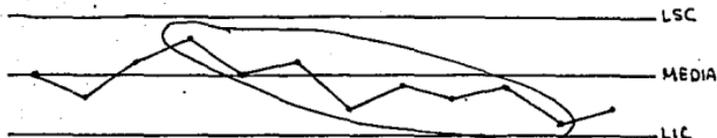
Si se trata de cartas por variables es indicativo de que la media del proceso ha aumentado.

Si se trata de cartas por atributos además denota un empeoramiento del proceso.

4. Una tendencia descendente en 7 u 8 puntos sucesivos.



o algún otro tipo de tendencia descendente.

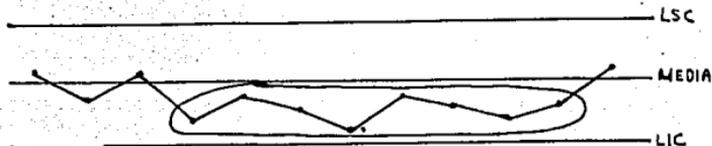


Si se trata de cartas por variables, es indicativo de que la media del proceso ha disminuido.

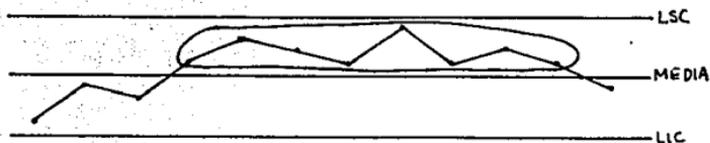
Si se trata de cartas por atributos, además denota una mejoría del proceso.

Se debe tener mucho cuidado en la interpretación de tendencias puesto que puede haber patrones de tendencia diferentes a los convencionalmente usados, en los que se analizan si hay 7 u 8 puntos sucesivos crecientes o decrecientes. Las segundas figuras de los puntos 3 y 4 son tendencias que no frecuentemente se analizan, así, puede haber otros patrones diferentes.

5. Puntos sucesivos por debajo o por encima de la media (típicamente 7 u 8).



Por debajo de la media



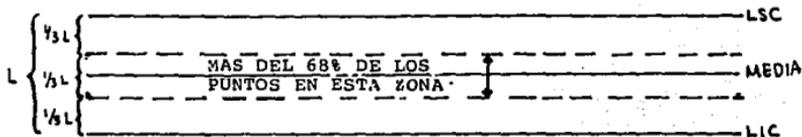
Por encima de la media

Si se trata de cartas de control por variables, pueden significar que la media del proceso ha disminuido o aumentado, respectivamente.

Si se trata de cartas de control por atributos, además, son indicativos de una mejora o empeoramiento del proceso, respectivamente.

Pueden haber situaciones en las que se presentan modelos diferentes de comportamiento que indiquen con mayor anticipación que el valor medio se va a desplazar favorable o desfavorablemente, sin tratarse necesariamente de 7 u 8 puntos.

6. Si la distribución de puntos hace que sustancialmente más del 68% de ellos caigan en el tercio medio de la distancia entre los límites de control (para poblaciones pequeñas, del orden de 20 a 30 muestras, este porcentaje puede ser 80 a 90%).

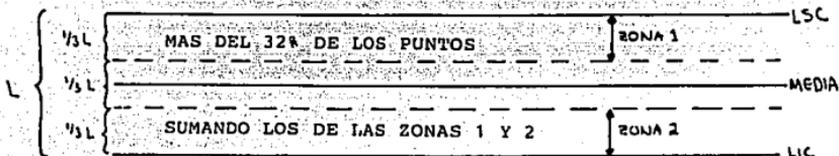


Lo anterior puede significar que:

- Hay errores de medición, cálculo o trazo en las muestras.
- Los datos fueron "forzados". Esto es, que las lecturas dispersas se cambiaron en los registros.
- El método de muestreo fue inadecuado:

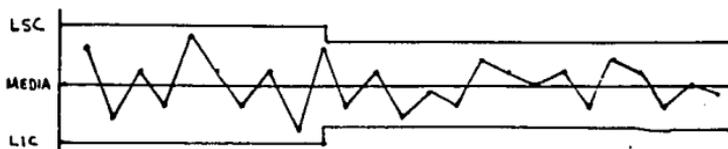
Se tomaron piezas de procesos paralelos o del mismo proceso pero correspondientes a tiempos distantes entre sí. A este último respecto es importante señalar que es conveniente seleccionar un método de muestreo consistente, que permita que las muestras sean comparables.

Por extensión del criterio anterior, tampoco deben existir más del 32% de los puntos en los tercios exteriores de la distancia entre los límites de control (para poblaciones pequeñas, del orden de 20 a 30 muestras, este porcentaje puede ser 10 a 20%).

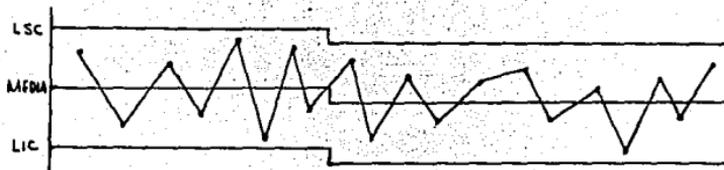


7. Los criterios expuestos en el punto anterior, conducen también a indicar que la predominancia de puntos en un tercio exterior respecto al otro, es indicativo de que la media del proceso ha aumentado o disminuido (en cartas de control por atributos, además, se sigue que el proceso ha empeorado o mejorado respectivamente). Por ejemplo: si el 32% de los puntos están en los tercios exterior y de ese 32% el 70% (o sea 22.4% del total) están en el tercio externo superior ello indica que la media del proceso ha crecido.

8. En cartas por variables, una reducción de los límites de control, respecto a la medida de centralización o a los individuos, que además implica una reducción de los límites de control en la medida de dispersión (R o S), es indicativa de mejora de la habilidad del proceso, siempre que el mismo esté centrado o se logre centrar.



Comportamiento de las medidas de centralización



Comportamiento de las medidas de dispersión

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 ampliadas tiene validez probabilística basada en la historia del proceso.

Puede decirse que el Control Estadístico de Procesos 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, mas 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 cartas de control, de su adecuada interpretación y del uso de la información que de ellas se deriva para instituir los controles del proceso necesarios: El Control Estadístico de Procesos es una forma de pensar y vivir y requiere de la participación y del compromiso de todos los niveles de la empresa.

La secuencia lógica de efectuar el control estadístico del proceso de fabricación consiste en efectuar, en primer término, la demostración estadística de la habilidad de los instrumentos de verificación, en el rango de medición que serán usados, a continuación, efectuar la demostración de la habilidad del proceso y finalmente, llevar a cabo el control estadístico en base continua.

En el capítulo IV se muestra cómo calcular la habilidad del proceso para el caso práctico de este trabajo.

CAPITULO III

**TIPOLIFOSFATO DE SODIO (STP):
PROCESO DE PRODUCCION
PROPIEDADES Y METODOS DE ANALISIS**

CAPITULO III

Tripolifosfato de Sodio (STP): Proceso de producción, propiedades y métodos de análisis.

En este capítulo se explica qué es el tripolifosfato de sodio, cómo es su proceso de fabricación, qué propiedades tiene, y qué análisis se le practican para determinar su calidad.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL TRIPOLIFOSFATO DE SODIO (STP).

El proceso de producción del STP se inicia en un reactor equipado con un agitador y un serpentín para vapor, donde se hacen reaccionar el ácido fosfórico, la sosa cáustica y agua formando una solución de ortofosfato, de acuerdo con la siguiente reacción:



Esta solución de ortofosfato se derrama llegando a un tanque de retención donde terminan de reaccionar el ácido y la sosa cáustica.

Después la solución se pasa por gravedad a un tanque de mezcla donde se ajusta la relación molar DSP/MSP (disódico/monosódico) agregándole más ácido fosfórico o sosa cáustica. Para mantener caliente la solución, se introduce vapor en el serpentín, esto permite controlar la densidad ya sea añadiendo o evaporando agua de la solución.

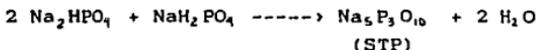
Una vez que se ha ajustado la relación DSP/MSP, la solución (también llamada "licor de ortofosfatos") se pasa por un filtro y se bombea hasta un secador por esparcido con flujo a co-corriente.

El licor entra al secador a través de unas boquillas de aspersión

situadas en la parte superior del mismo. Los gases calientes, producto de la combustión de gas natural, entran de arriba hacia abajo directamente sobre el abanico que forma la solución al ser atomizada por las boquillas. El agua de la solución se evapora por flasheo y el material seco cae al fondo donde se descarga por medio de un gusano.

Los gases salen del secador y pasan a través de un ciclón, donde se colectan los sólidos arrastrados por el flujo. Después pasan por un lavador de gases, antes de salir a la atmósfera por la chimenea.

Los ortofosfatos que salen del secador, y los recuperados en el ciclón se almacenan en una tolva de donde se pasan al calcinador. El calcinador es un cilindro que gira a velocidad constante. El polvo de ortofosfatos se alimenta por medio de un gusano y el gas caliente entra sobre el material a co-corriente. Al entrar en contacto el polvo con el gas, se elimina el agua produciendo el STP, según la siguiente reacción:

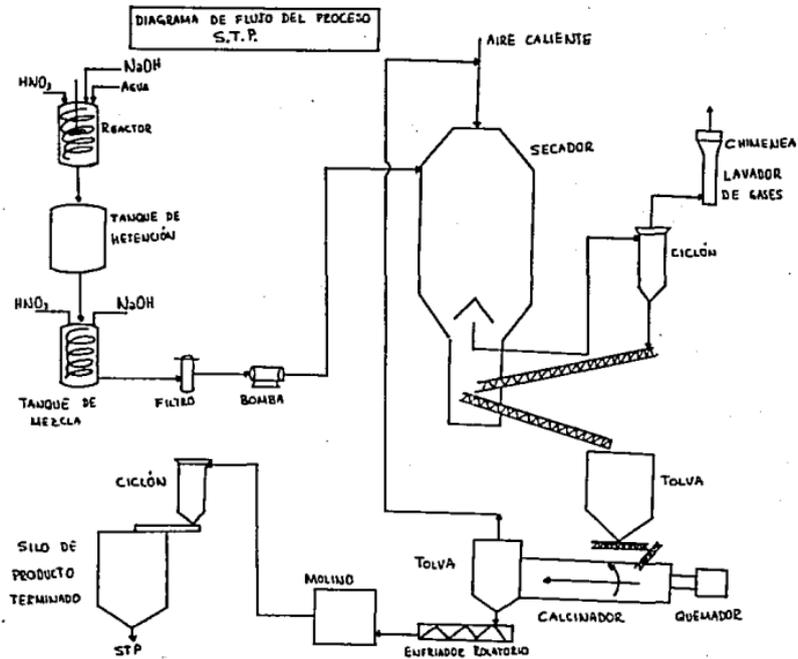


La calidad del STP depende directamente de la relación DSP/MSP y de la eficiencia de la calcinación.

Cuando el STP sale del calcinador se enfría y luego se transporta a una tolva de alimentación del molino. Los gases calientes y el vapor de agua se unen a los gases que entran al secador, y se utiliza un enfriador rotatorio de tubos y coraza para enfriar el STP.

La alimentación del molino se controla mediante una válvula rotativa. Cuando el polvo sale del molino se transporta neumáticamente hasta un ciclón, y luego al silo de almacenamiento de Producto Terminado.

La página siguiente muestra un diagrama de flujo de este proceso.



FUNDAMENTOS QUÍMICOS DEL TRIPOLIFOSFATO DE SODIO (STP)

Los métodos de obtención del tripolifosfato de sodio son de dos tipos¹:

a) Tratamiento térmico a mezclas fundidas de fosfatos que se hayan solidificado.

b) Calentamiento de fosfatos no fundidos.

En ambos casos se utilizan fosfatos con relación molar $\text{Na}_2\text{O}/\text{P}_2\text{O}_5$ de 5/3. Dado que la producción industrial del STP se realiza por el método b), en este trabajo se estudiará únicamente dicho método.

La síntesis del STP implica varias reacciones. Primero se forma el DSP y la sal equimolecular DSP.MSP, empleando fuentes de pentóxido de fósforo y óxido de sodio como materias primas, tales como el carbonato de sodio, sosa y ácido fosfórico (que presentan menor costo e impurezas comparados con otras materias primas factibles).

La reacción de formación del MSP es la siguiente:



La reacción de formación del DSP es:



Si se utiliza sosa como fuente del sodio, entonces se forma agua además del ortofosfato. Cuando se usa carbonato de sodio se

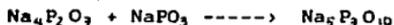
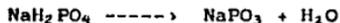
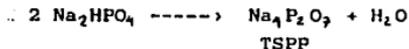
¹Van Wazer, "PHOSPHORUS AND ITS COMPOUNDS", Interscience Publishers, Inc., New York, 1961.

obtiene agua y bióxido de carbono adicionales.

En seguida se lleva a cabo la formación del STP, que, de manera simplificada se puede representar por la siguiente reacción:



Sin embargo la reacción en realidad es complicada, pasando por varios pasos intermedios. Se piensa que inicialmente existe una deshidratación total de los ortofosfatos de sodio, seguida de una interacción entre los compuestos formados para producir el STP, según las siguientes reacciones:



La deshidratación es codependiente de la velocidad de calentamiento (de 100 a 120 °C/min la favorecerá) y de la presencia de vapor (un mayor porcentaje de humedad reduce la velocidad de deshidratación).

Las reacciones de obtención del STP tienen una alta sensibilidad a varios factores tales como la dispersión de los compuestos reaccionantes, composición de la fase gaseosa, velocidad de aumento de temperatura, efectos de impurezas (inhibir o catalizar), etc.

Las impurezas presentes en las materias primas presentan dos efectos en la formación del STP:

Primero, actúan como diluyentes disminuyendo el contenido de pentóxido de fósforo, STP, etc.; adicionalmente, en algunos casos, interfieren en la cinética de las reacciones de formación afectando los parámetros de calidad (ensayo, pH, TR, ROH, etc.).

Los efectos generales de las impurezas que tienen mayor relevancia en la producción del STP son los siguientes²:

a) **Sulfato.** - Reduce la velocidad de reacción del DSP a TSPP y de éste a STP; al mismo tiempo reduce la velocidad a la cual se libera el agua de composición, pudiendo presentar problemas de aglomeración. No afecta las temperaturas de transición. Ofrece interferencia en el ajuste de la relación Na/P por el efecto del ácido sulfúrico formado. El efecto global es una reducción en el contenido del STP debido a una subcalcificación, con un mayor porcentaje de TSPP.

b) **Nitratos.** - Su efecto depende del compuesto agregado. Se emplean como oxidantes de material orgánico que proporciona el color negrozco al STP.

1. NaNO_3 .- Su efecto es pequeño sólo en niveles menores al 0.5%. Cataliza la formación de TSPP, alcanzando una mayor concentración de metafosfatos a expensas del STP. En niveles mayores, hay que corregir la relación (disminuyéndola) ya que al calcinarse libera Na_2O .

2. HNO_3 .- Normalmente se agrega en niveles del 0.2% base STP; se usa como blanqueador, ocasionando efectos semejantes a los del NaNO_3 . No se requiere ajustar la relación.

3. NH_4NO_3 .- Se usa como agente oxidante. En niveles menores al 0.5% no hay efectos significativos. Su efecto es más intenso que

²Arthur D. Toy, "PHOSPHORUS CHEMISTRY IN EVERYDAY LIVING", A.C.S., Washington, D.C., 1976.

el del nitrato de sodio.

c) **Carbonatos.**- Su presencia se debe a una completa neutralización de los mismos, lo que implica que la relación real suba. Lo anterior ocasiona altos niveles de TSPP, con el consiguiente bajo ensayo del STP y un alto pH. Aparecen como causantes de un incremento en las temperaturas de conversión de DSP a TSPP.

d) **Boratos.**- A niveles bajos de tetraboratos se reduce ligeramente la velocidad de reacción de DSP a TSPP y disminuye sensiblemente la formación de STP. A niveles de 1.5% de boro se inhibe la formación del STP.

e) **Amonio.**- Se introduce al proceso por la utilización de NH_4NO_3 como blanqueador. Su efecto empieza a ser significativo a niveles de 0.5% provocando un cambio aproximado de 0.1% el pH; sin embargo, a estos niveles no provoca ningún efecto en el mecanismo de formación del STP.

f) **Potasio.**- Se añade intencionalmente para obtener ciertas ventajas en el proceso, ya que reduce la formación de subproductos no deseados. Se ha determinado que el potasio reduce las temperaturas de transición de DSP a TSPP (ligeramente), de la mezcla DSP.MSP (sensiblemente) y de fosfatos intermedios a STP. El efecto del potasio es proporcional a la cantidad empleada en un rango de 0 a 5%.

g) **Fluoruros.**- Se introducen como HF en el ácido fosfórico que durante la neutralización se convierte a NaF. Las pruebas indican que una concentración mayor a 0.5% interfiere en la formación del STP, al inhibir las reacciones intermedias. Las pruebas a nivel planta muestran que a niveles de 1200 ppm de flúor en el licor no se presentan problemas de calidad. El flúor es eliminado como HF, hecho que se comprueba por la ausencia de fluorosilicato en el producto final; el desprendimiento de HF lo provocan las altas

temperaturas de calcinación; el flúor que no se desprende, permanece en el producto como NaF. Los problemas debidos a la presencia de flúor están relacionados con las áreas de materiales de construcción (corrosión acelerada) y de contaminación ambiental.

h) **Materia orgánica.**- El mayor problema experimentado al producir STP con licor que contenga altos niveles de materia orgánica es el color fuera de especificación y en ocasiones mal olor. Normalmente se añade un agente oxidante para blanquear, acción que se refuerza por la calcinación debido a las altas temperaturas alcanzadas.

i) **Calcio y magnesio.**- El calcio a niveles de 0.1 a 0.8% en licor no interviene en la turbidez del STP; mientras que el magnesio favorece la formación de insolubles (notorio a partir de 500 ppm de Mg), lo cual se atribuye a la formación de pirofosfatos de sodio y magnesio.

Los niveles del contenido de las distintas impurezas están en función de las condiciones del proceso en particular (concentración de una impureza respecto a otras condiciones de secado y calcinado, etc.).

PROPIEDADES FÍSICAS DEL TRIPOLIFOSFATO DE SODIO

-Solubilidad.- Existen muchos factores que influyen la solubilidad del STP anhidro y el cambio de ésta con respecto al tiempo; entre estos factores se tiene a la temperatura, tipo y pureza del STP, orden de adición, grado de agitación y tamaño de partícula.

El STP comercial contiene pequeña cantidad de otros fosfatos que retardan la formación de $\text{STP} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, por ello tiende a sobresaturarse más fácilmente y por mayor tiempo comparado con un STP puro; esta última propiedad es muy importante en la

fabricación de detergentes sintéticos³, ya que determina la viscosidad que a su vez controla la cantidad de agua permitida en la solución de detergente y por consiguiente afecta la capacidad de la torre de secado (repercute en el costo de producción del detergente).

Si hay una buena agitación, la velocidad de disolución es alta, la máxima solubilidad posible para un grupo de condiciones dadas dependerá de la interacción de dos factores que se oponen: la velocidad de disolución y la velocidad de cristalización del hexahidrato.

El orden de adición (sólido al agua o viceversa) para STP polvo tiene un efecto pequeño en el grado de sobresaturación si la agitación es suficiente para evitar la formación de grumos grandes.

El STP granular se disuelve más lentamente que el polvo. Para el granular el grado de sobresaturación depende mucho del orden de adición; si el agua se agrega al STP granular, la sobresaturación es pequeña; en cambio, si el STP granular se añade al agua, se puede formar una solución con más de un 35% de sólidos.

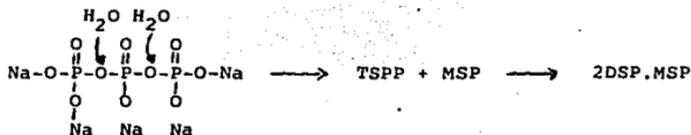
-Higroscopicidad.- El STP anhidro es higroscópico, ya que absorbe agua para formar $\text{STP} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Si la humedad relativa del aire que rodea al STP es menor a la humedad relativa crítica del STP, este no se hidrata.

El mecanismo de hidratación del STP involucra dos fenómenos dependientes de la temperatura: una adsorción superficial y una reacción irreversible del agua adsorbida con el STP, para esto último se requiere una concentración mínima de agua (esta determina la humedad relativa crítica). Como la adsorción disminuye al incrementarse la temperatura, se requiere una mayor

³B.J. Kenalty, "LAUNDRY AND DRY CLEANING". A.C.S., New York, 1940.

humedad relativa cuando aumenta la temperatura).

-Hidrólisis.- La hidrólisis involucra el ataque sobre un puente entre fósforo - oxígeno (de los externos) por parte de la molécula de agua.



La reacción anterior es de primer orden a un pH dado, por ello la rapidez de hidrólisis aumenta al incrementarse la concentración.

La rapidez de la hidrólisis depende primeramente de la temperatura y del pH de la solución.

La rapidez de la hidrólisis aumenta por la presencia de iones metálicos como el calcio, sodio, y disminuye al tenerse iones de magnesio. Este efecto solo tiene importancia en soluciones diluidas, por lo que no es considerado a nivel industrial.

-Capacidad Buffer.- Un agente buffer se define como una sal de un ácido débil y base fuerte o de un ácido fuerte y base débil. Un sistema buffer es aquel que resiste al cambio de pH cuando se agrega ácido o base. Las soluciones de STP no son buffers por sí mismas, sin embargo, cuando el STP se encuentra neutralizado parcialmente en la región de pH = 5 a pH = 8.5, particularmente de 5 a 6.5 y 7.5 a 8.5, las soluciones son buenos buffers. El comportamiento buffer de las soluciones de STP está determinado por las constantes de disociación del ácido débil $\text{H}_2\text{P}_3\text{O}_{10}$ de 4 y 5, que corresponden aproximadamente a los pH's de 6 y 8.5.

-Formación de Complejos.- El STP presenta el fenómeno de evitar la precipitación y de redissolver precipitados de los metales alcalino-térreos, consistente en la formación de un complejo soluble relativamente estable (complejo formado entre el metal

alcalino y el ion tripolifosfato). Cuando el STP se disuelve en agua, se ioniza formando cationes (Na^+) y aniones ($\text{P}_3\text{O}_{10}\text{Na}_{5-n}^{-n}$); en soluciones diluidas la ionización es casi completa tal que el anion tiene carga negativa grande, la que provoca la interacción entre el anion y los cationes para formar un anion más complejo. Se dice que el anion y los cationes (Ej: Ca^{+2} , Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , etc.) han sido secuestrados, si estos se mantienen en solución por asociación con el anion tripolifosfato.

La efectividad del tripolifosfato como agente secuestrante depende de la estabilidad del complejo formado (constante de disociación) y de la insolubilidad del mismo (constante de producto de solubilidad). El poder secuestrante se mide en pruebas donde se pone en contacto solución de tripolifosfatos en agua dura con solución de aniones y se hacen mediciones turbidimétricas; los resultados obtenidos se afectan significativamente por la técnica empleada, pH, temperatura, fuerza iónica y presencia de otros aniones.

La propiedad secuestrante del tripolifosfato permite su aplicación para suavizar el agua (secuestrar iones de Mg y Ca).

-TR.- Las siglas TR significan aumento de temperatura. Dada una alimentación uniforme y constante, el TR del producto es función de la temperatura de calcinación (tiempo de residencia) y la variabilidad del TR será determinada por el control que de esta temperatura se tenga. Para TR's mayores a 13 se tiene un aumento rápido de TR con incrementos en la temperatura del producto (se dificulta su control). Al decir alimentación uniforme se abarcan aspectos gravimétricos, tamaño de partícula, densidad aparente, relación DSP/MSP y agua libre (contenido).

-ROH.- Las siglas ROH significan rapidez de hidratación; el ROH es una propiedad importante del STP para el proceso de manufactura de detergentes.

Factores que afectan el ROH:

a) **Ensayo.** Se requiere un buen ensayo para obtener un buen comportamiento del ROH; el ensayo debe ser mayor a 90% STP (de preferencia mayor a 92% STP) para alcanzar la especificación de ROH a 5 min = 90 °C.

b) **Pérdidas por secado.** La prueba de pps detecta básicamente la presencia de $STP \cdot 6H_2O$. Se puede tener las pps deseadas y no así una siembra efectiva para el ROH; también es posible si los cristales sembrados son extremadamente buenos y se tiene un buen ensayo, lograr un comportamiento del ROH con valores bajos de pps. Bajo condiciones normales un mínimo de 0.3% de pps se requiere para alcanzar las especificaciones de ROH. Una vez que se alcanza el nivel de cristales necesarios, no se obtiene mejora alguna al aumentar el número de cristales sembrados.

c) **TR.** EL ROH es independiente del TR ($TR < 12$); es posible alcanzar un buen ROH para una muestra con buen ensayo y bajo TR. El incremento de ROH, en el rango alto del TR (11.5 - 14.6), es pequeño; pero para valores mayores a 14.6 el incremento del ROH con incrementos en TR es significativo.

d) **pH.** Un pH bajo indica calcinación incompleta o degradación del STP. Se puede obtener un ROH pobre si el pH es menor a 9.65.

e) **Tamaño de partícula.** La presencia de más de 0.5% en m+40 indica problemas en el esparado, los que se evidencian por una distribución de humedad, pudiendo provocar un ROH bajo. Un alto porcentaje en m+270 indica una molienda deficiente; al hidratar es normal obtener 5% en m+270.

f) Temperatura de hidratación. El ROH disminuye conforme aumenta la temperatura de hidratación. Al incrementarse la temperatura, se deberá aumentar la humedad relativa. La fuerza que se opone a la hidratación del STP (presión de vapor del STP.6H₂O) se incrementa con la temperatura. Es decir, a mayor temperatura se necesitará mas agua sobre el material (por más tiempo). La propiedad del ROH se deteriora con el tiempo y la temperatura. La disminución en el ROH se debe a la descomposición del STP.6H₂O (hidrólisis) que se explicó antes:

TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA EL CONTROL EN PLANTA DEL PRODUCTO

A continuación describo someramente las técnicas analíticas para el control en planta del STP.

a) Determinación de la relación DSP/MSP.

La relación DSP/MSP en el licor del tanque de mezcla se determina con el fin de verificar que esté dentro de los límites fijados antes de bombear el licor al secador.

Para hacer esta determinación se prepara una solución diluyendo un volumen del licor en agua. Se toman dos partes iguales de esta solución y se titulan de la siguiente manera:

La primera se titula con HNO_3 (0.2878 N) hasta un pH de 4.6 usando verde de bromocresol como indicador.

El HNO_3 neutraliza al DSP transformándolo en MSP:



El segundo volumen de solución sirve para determinar el MSP, titulando con NaOH (0.2878 N) hasta un pH de 9.0 usando oleo rojo como indicador.

El Na^+ presente en la sosa ocasiona que el MSP se convierta a DSP:



La presencia de sólo DSP se verifica con un pH de 9.0 para la solución.

Por último, la relación DSP/MSP del licor se obtiene dividiendo el volumen usado de HNO_3 entre el volumen de NaOH requerido para

la titulación.

b) Determinación de TR.

El TR (temperature rise) del STP se determina cada dos horas de producción. El método consiste en hacer una mezcla de glicerina, STP y agua, y determinar el aumento de temperatura de la solución a dos velocidades fijas de agitación (90 y 240 rpm). El aumento en temperatura se mide controlando estrictamente la temperatura de los reactivos y del medio ambiente.

c) Determinación de ROH.

La determinación de la rapidez de hidratación del STP (ROH) se realiza cada dos horas durante la producción. El método consiste en determinar el cambio de temperatura con respecto al tiempo, que resulta de añadir una cantidad específica de STP a una solución de sulfato de sodio y agua. El aumento de temperatura se determina a uno y cinco minutos después de haber agregado el STP a la solución.

d) Determinación de humedad.

La humedad del producto del secador se determina cada hora. Para hacer esto, se utiliza una balanza que cuenta con un reflector y un plato de aluminio sobre el cual se coloca la muestra. El método consiste en calibrar la balanza para la cantidad de material que se utiliza, y medir la pérdida en peso al someter la muestra a la luz del reflector por espacio de 10-15 minutos.

e) Determinación de pH.

El pH se determina al licor cada hora, y al STP cada dos horas. Para hacerlo se utiliza un potenciómetro diluyendo la muestra del licor o STP en agua, y medir directamente el pH.

f) Determinación de $\%P_2O_5$

El $\%P_2O_5$ contenido en STP se mide cada hora. Se pesa 1.000 g de muestra en la balanza analítica y se vacía en un matraz volumétrico de 500 ml, al que se le agregan 100 ml de H_2O y 25 ml de HNO_3 conc.; luego se hierve 10 minutos en una parrilla, se deja enfriar y se afora a 500 ml con agua destilada. De esta solución se toma una alícuota de 20 ml y se vacía a un vaso de precipitados de 400 ml diluyéndola con 100 ml de agua. Se calienta el vaso en una parrilla hasta su punto de ebullición. Mientras esté hirviendo se le agrega con una pipeta 50 ml de un reactivo previamente preparado a base de molibdato de sodio, ácido cítrico, ácido nítrico, quinolina sintética y agua. Una vez agregado dicho reactivo, se tapa con un vidrio de reloj y se deja hervir durante un minuto. Después se deja enfriar y se filtra en un crisol de schot de 30 ml de porosidad media, lavando el precipitado cinco veces con agua destilada. Posteriormente se seca en la estufa a 200-210 °C durante 20 minutos. Enfriar y pesar el precipitado en la balanza analítica.

Finalmente se calcula:

$$\%P_2O_5 = \frac{\text{Peso de precipitado} \times 0.032074 \times 100}{\text{Peso de muestra en alícuota}}$$

donde: $\text{Peso de muestra} = 0.04 \times (100-H)/100$
siendo H = % de humedad en la muestra

CAPITULO IV

**ANALISIS ESTADISTICO DEL PROCESO
DE PRODUCCION DE STP
ANTES DE LA IMPLANTACION DEL CEP**

CAPITULO IV

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE STP ANTES DE LA IMPLANTACIÓN DEL CEP.

Como se comentó anteriormente, el objetivo del presente trabajo es averiguar si el proceso en cuestión se encuentra dentro de control estadístico; de no ser así, determinar las causas de variación para establecer las acciones correctivas y seguir llevando las gráficas de control hasta tener evidencia suficiente de que el proceso haya entrado en control estadístico.

Para llevar a cabo el proyecto, se formó un equipo de calidad multidisciplinario, es decir, integrado por personas de diferentes áreas: ingeniería de procesos, producción, laboratorio de control de calidad, compras y servicio técnico, el cual se reuniría cada semana durante dos horas, siguiendo los lineamientos de un Círculo de Calidad¹. Esta integración fue muy valiosa en el momento de llevar a cabo la lluvia de ideas para elaborar los diagramas de Ishikawa (causa-efecto) del capítulo V, ya que se conjuntaron puntos de vista muy variados.

También fue especialmente importante la aportación de los operadores que se integraron al equipo, ya que como ellos son los que "viven" dentro del proceso hicieron ver diversas anomalías que el resto del equipo fácilmente hubiera pasado por alto.

El primer paso fue dar capacitación a los operadores en el manejo de cartas de control, resaltando los beneficios que de ellas se obtienen al poder controlar mejor las variables de proceso, y saber cuándo hacer algún cambio preventivo antes de que el proceso salga de control.

¹Kaoru Ishikawa, "¿QUE ES CONTROL TOTAL DE CALIDAD?...LA MODALIDAD JAPONESA", Ed. Norma, S.A., Colombia, 1986.

El proceso tiene diversas variables de las cuales se identificó una como "variable crítica", dado que de acuerdo con la información tecnológica (respaldada desde luego por los datos históricos), afecta directamente la calidad del producto final. Dicha variable es la relación disódico-monosódico (DSP/MSP), la cual debe fluctuar entre 1.82 y 1.84.

Por otro lado, al producto final se le miden, entre otras, las siguientes propiedades:

<u>Propiedad</u>	<u>Especificación</u>
$\%P_2O_5$	56.0 - 58.0 %
TR	11.0 - 14.6 °C
pH	9.2 - 10.1
Ensayo	90 % mínimo como Na_2PO_4

Se recopilaron 100 mediciones de cada una de estas variables, con lo que se calcularon los límites de control de medias y rangos, después se elaboraron los gráficos de control de cada variable y se calcularon las habilidades potencial y real para cada caso, encontrando que sólo la carta correspondiente al ensayo mostró estar dentro de control (poca variabilidad), en tanto que las demás (relación DSP/MSP, $\%P_2O_5$, TR y pH) resultaron "fuera de control".

Para cada gráfica se siguieron los siguientes pasos:

- 1- Cálculo de la media:

$$\bar{X} = (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n) / n$$

donde n = número de lecturas

- 2- Cálculo del rango promedio:

$$\bar{R} = (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n) / n-1$$

- 3- Cálculo de la desviación estándar:

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

4- Cálculo del Límite Superior de Control:

$$LSCx = \bar{X} + E_2 \bar{R}$$

5- Cálculo del Límite Inferior de Control:

$$LICx = \bar{X} - E_2 \bar{R}$$

6- Cálculo del Límite Superior de Control de Rangos:

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

7- Cálculo del Límite Inferior de Control de Rangos:

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

El valor de las constantes E_2 , d_2 , D_3 y D_4 se tomaron de la siguiente tabla² de Factores para Gráficos X-R por lecturas individuales, para $n=2$ (ya que los rangos se calcularon de dos en dos).

n	E_2	d_2	D_3	D_4
2	2.660	1.128	-	3.267
3	1.772	1.693	-	2.574
4	1.457	2.059	-	2.282
5	1.290	2.326	-	2.114
6	1.184	2.534	-	2.004
7	1.109	2.704	0.076	1.924
8	1.054	2.847	0.136	1.864
9	1.010	2.970	0.184	1.816
10	0.975	3.078	0.223	1.777

8- Cálculo de la Habilidad Potencial del proceso (Cp):

$$Cp = (LSE - LIE) / 6\sigma$$

Nota: Si $Cp \geq 1$ Proceso potencialmente hábil (para $\pm 3\sigma$)

Si $Cp < 1$ Proceso potencialmente no hábil

²E.L. Grant y R.S. Leavenworth, "CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD", C.E.C.S.A., México, 1990.

9- Cálculo de la Habilidad Real del proceso (Cpk):

$$M = (LSE + LIE)/2$$

$$D = |M - \bar{x}|$$

$$k = 2D / (LSE - LIE)$$

$$Cpk = (1 - k) Cp$$

Nota: Si Cpk \geq 1.33 Proceso realmente hábil

Si Cpk $<$ 1.33 Proceso realmente no hábil

Los nueve pasos anteriores de este algoritmo se programaron en una hoja de cálculo (Excel) a fin de que se calcularan automáticamente al capturar los 100 datos de cada propiedad, y poder presentar las tablas con los cien datos y su cálculo de límites y habilidades de proceso.

A continuación se encuentran las tablas con la recopilación de datos, mostrando los valores calculados de Media, Rango promedio, Desviación estándar, Límites de Control, Cp y Cpk.

Cabe aclarar que se decidió llevar los gráficos de control del tipo x-R (por lecturas individuales) debido a que la planta se encuentra sobrada de capacidad, y suele permanecer fuera de operación durante períodos largos y, de acuerdo con la bibliografía, son necesarios cuando menos 100 puntos³ para poder hacer un análisis estadístico confiable. En el caso de que la planta operara todo el tiempo, podrían llevarse cartas de control del tipo \bar{x} -R con subgrupos de tamaño cuatro.

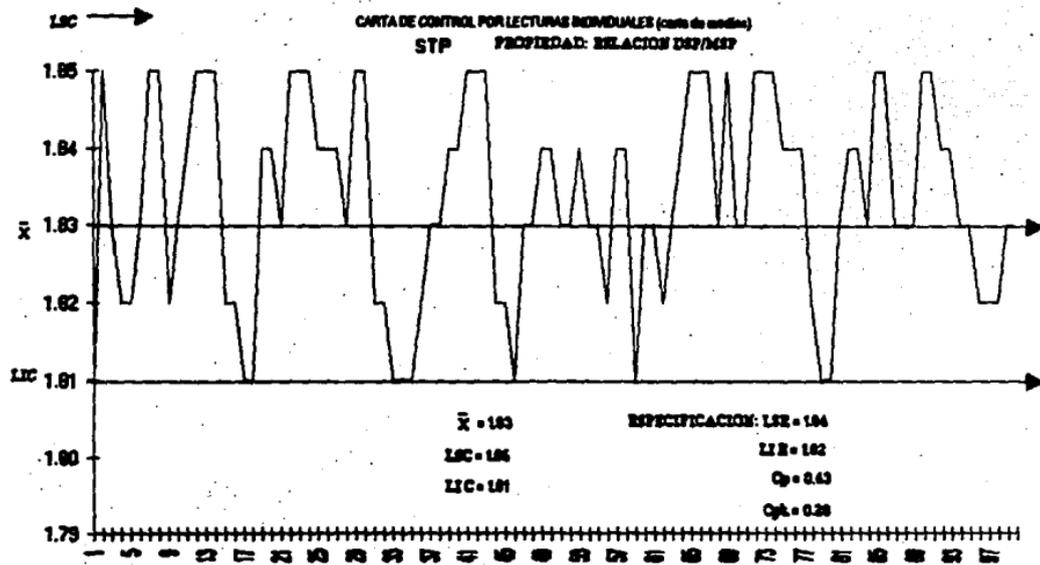
³Antony V. Contino, "IMPROVE PLANT PERFORMANCE VIA STATISTICAL PROCESS CONTROL", Chemical Engineering, Jul.20, 1987.

RELACION DSP/MSP ANTES DE CEP

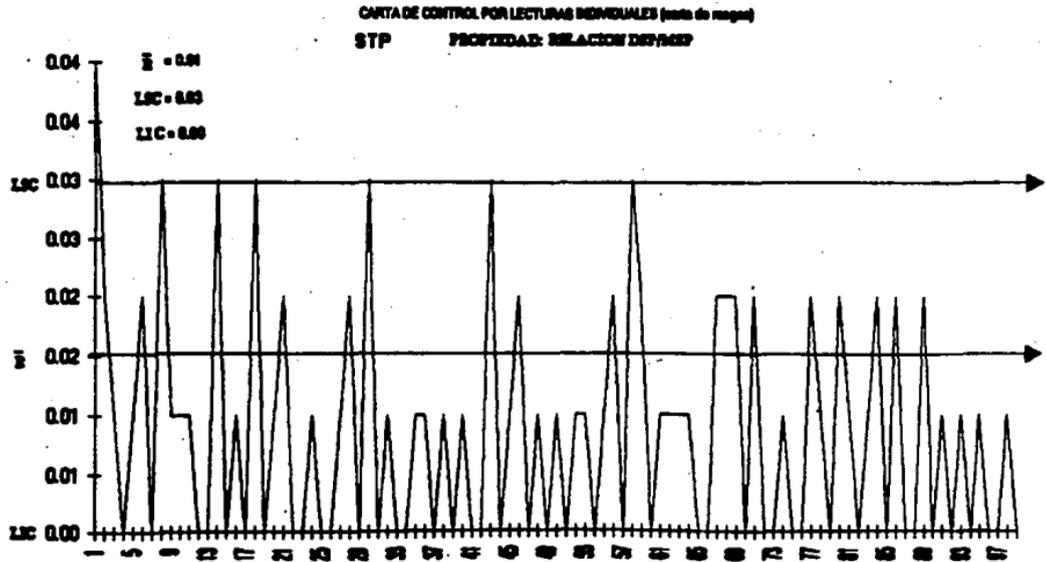
DATO No.	D/M	R	DATO No.	D/M	R	DATO No.	D/M	R
1	1.81		35	1.81		70	1.83	
2	1.85	0.04	36	1.82	0.01	71	1.83	0.00
3	1.83	0.02	37	1.83	0.01	72	1.85	0.02
4	1.82	0.01	38	1.83	0.00	73	1.85	0.00
5	1.82	0.00	39	1.84	0.01	74	1.85	0.00
6	1.83	0.01	40	1.84	0.00	75	1.84	0.01
7	1.85	0.02	41	1.85	0.01	76	1.84	0.00
8	1.85	0.00	42	1.85	0.00	77	1.84	0.00
9	1.82	0.03	43	1.85	0.00	78	1.82	0.02
10	1.83	0.01	44	1.82	0.03	79	1.81	0.01
11	1.84	0.01	45	1.82	0.00	80	1.81	0.00
12	1.85	0.01	46	1.81	0.01	81	1.83	0.02
13	1.85	0.00	47	1.83	0.02	82	1.84	0.01
14	1.85	0.00	48	1.83	0.00	83	1.84	0.00
15	1.82	0.03	49	1.84	0.01	84	1.83	0.01
16	1.82	0.00	50	1.84	0.00	85	1.85	0.02
17	1.81	0.01	51	1.83	0.01	86	1.85	0.00
18	1.81	0.00	52	1.83	0.00	87	1.83	0.02
19	1.84	0.03	53	1.84	0.01	88	1.83	0.00
20	1.84	0.00	54	1.83	0.01	89	1.83	0.00
21	1.83	0.01	55	1.83	0.00	90	1.85	0.02
22	1.85	0.02	56	1.82	0.01	91	1.85	0.00
23	1.85	0.00	57	1.84	0.02	92	1.84	0.01
24	1.85	0.00	58	1.84	0.00	93	1.84	0.00
25	1.84	0.01	59	1.81	0.03	94	1.83	0.01
26	1.84	0.00	60	1.83	0.02	95	1.83	0.00
27	1.84	0.00	61	1.83	0.00	96	1.82	0.01
28	1.83	0.01	62	1.82	0.01	97	1.82	0.00
29	1.85	0.02	63	1.83	0.01	98	1.82	0.00
30	1.85	0.00	64	1.84	0.01	99	1.83	0.01
31	1.82	0.03	65	1.85	0.01	100	1.83	0.00
32	1.82	0.00	66	1.85	0.00			
33	1.81	0.01	67	1.85	0.00			
34	1.81	0.00	68	1.83	0.02			
35	1.81	0.00	69	1.85	0.02			
			70	1.83	0.02			

MEDIA	1.83
R PROM.	0.01
DESV.SD	0.01
LSC-X	1.85
UC-X	1.81
LSC-R	0.03
UC-R	0.00
Cp	0.43
Cpk	0.28
LSE	1.84
LIE	1.82

RELACION DSP/MSP ANTES DE CEP



RELACION DSP/MSP ANTES DE CEP



%P205ANTES DE CEP

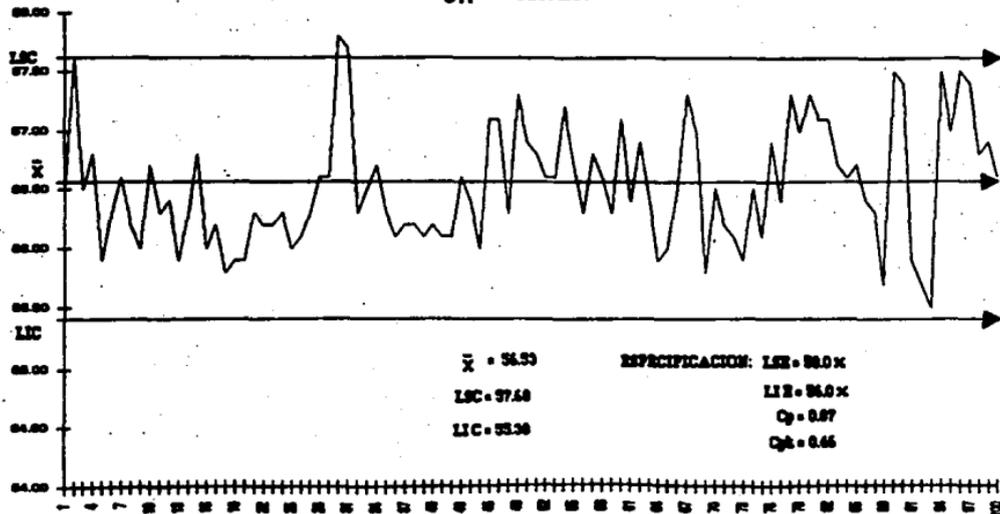
DATO No.	%P205	R	DATO No.	%P205	R	DATO No.	%P205	R
1	56.50		36	56.30		70	56.50	
2	57.60	1.1	36	56.10	0.2	71	56.20	0.3
3	56.50	1.1	37	56.20	0.1	72	56.10	0.1
4	56.80	0.3	38	56.20	0	73	56.90	0.2
5	55.90	0.9	39	56.10	0.1	74	56.50	0.6
6	56.30	0.4	40	56.20	0.1	75	56.10	0.4
7	56.60	0.3	41	56.10	0.1	76	56.90	0.8
8	56.20	0.4	42	56.10	0	77	56.40	0.5
9	56.00	0.2	43	56.60	0.5	78	57.30	0.9
10	56.70	0.7	44	56.40	0.2	79	57.00	0.3
11	56.30	0.4	45	56.00	0.4	80	57.30	0.3
12	56.40	0.1	46	57.10	1.1	81	57.10	0.2
13	55.90	0.5	47	57.10	0	82	57.10	0
14	56.30	0.4	48	56.30	0.8	83	56.70	0.4
15	56.80	0.5	49	57.30	1	84	56.60	0.1
16	56.00	0.8	50	56.90	0.4	85	56.70	0.1
17	56.20	0.2	51	56.80	0.1	86	56.40	0.3
18	56.80	0.4	52	56.60	0.2	87	56.30	0.1
19	55.90	0.1	53	56.60	0	88	56.70	0.6
20	56.90	0	54	57.20	0.6	89	57.50	1.8
21	56.30	0.4	55	56.70	0.5	90	57.40	0.1
22	56.20	0.1	56	56.30	0.4	91	56.90	1.5
23	56.20	0	57	56.80	0.5	92	56.70	0.2
24	56.30	0.1	58	56.60	0.2	93	56.90	0.2
25	56.00	0.3	59	56.30	0.3	94	57.90	2.00
26	56.10	0.1	60	57.10	0.8	95	57.00	0.5
27	56.30	0.2	61	56.40	0.7	96	57.90	0.5
28	56.60	0.3	62	56.90	0.5	97	57.40	0.1
29	56.60	0	63	56.40	0.5	98	56.80	0.6
30	57.80	1.2	64	55.90	0.5	99	56.90	0.1
31	57.70	0.1	65	56.00	0.1	100	56.60	0.3
32	56.30	1.4	66	56.50	0.5			
33	56.50	0.2	67	57.30	0.8			
34	56.70	0.2	68	57.00	0.3			
35	56.30	0.4	69	56.80	1.2			
			70	56.50	0.7			

MEDIA	56.53
R FROM.	0.43
DESV.SD	0.38
LSCX	57.68
LICX	56.38
LSCR	1.40
LICR	0.00
Cp	0.87
Cpk	0.46
LSE	58.00
LIE	56.00

X P205 ANTES DE CEP

CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (más de media)

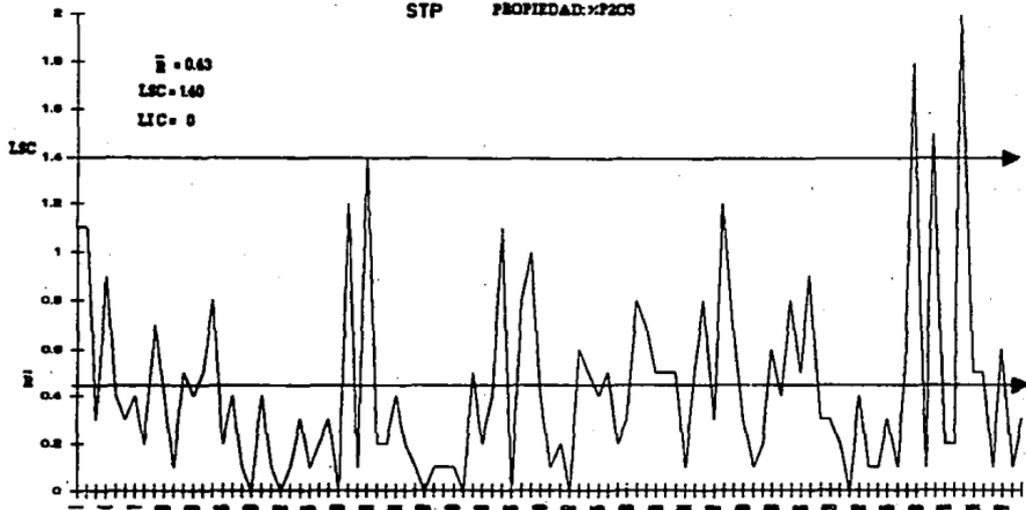
STP PROPIEDAD: X P205



% P205 ANTES DE CEP

CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (carta de rangos)

STP PROPIEDAD: %P205



TR ANTES DE DEP			TR ANTES DE DEP			TR ANTES DE DEP		
DATO No.	TR	R	DATO No.	TR	R	DATO No.	TR	R
1	11.50		35	14.10		70	14.20	
2	12.00	0.50	36	14.10	0.00	71	14.60	0.40
3	12.30	0.30	37	12.70	1.40	72	13.90	0.70
4	13.00	0.70	38	12.10	0.60	73	12.10	1.80
5	14.20	1.20	39	13.60	1.50	74	11.20	0.90
6	14.20	0.00	40	12.00	1.60	75	10.90	0.30
7	15.00	0.80	41	11.50	0.50	76	10.80	0.10
8	13.80	1.20	42	11.70	0.20	77	11.50	0.70
9	13.50	0.30	43	10.60	1.10	78	11.90	0.40
10	13.00	0.50	44	11.90	1.30	79	12.10	0.20
11	14.10	1.10	45	11.90	0.00	80	11.20	0.90
12	14.40	0.30	46	12.50	0.60	81	12.50	1.30
13	13.90	0.50	47	13.70	1.20	82	12.50	0.00
14	12.80	1.10	48	14.60	0.90	83	13.00	0.50
15	12.40	0.40	49	14.00	0.60	84	13.80	0.80
16	11.50	0.90	50	13.80	0.20	85	13.90	0.10
17	10.80	0.70	51	14.50	0.70	86	12.70	1.20
18	10.90	0.10	52	14.10	0.40	87	12.50	0.20
19	11.20	0.30	53	13.90	0.20	88	14.00	1.50
20	13.40	2.20	54	12.70	1.20	89	14.30	0.30
21	12.50	0.90	55	12.40	0.30	90	14.70	0.40
22	12.80	0.30	56	10.90	1.50	91	14.50	0.20
23	13.40	0.60	57	10.60	0.30	92	13.40	1.10
24	12.20	1.20	58	10.90	0.30	93	13.20	0.20
25	11.90	0.30	59	11.40	0.90	94	12.80	0.40
26	12.80	0.90	60	14.80	3.40	95	12.10	0.70
27	13.60	0.80	61	12.90	1.90	96	12.60	0.90
28	13.70	0.10	62	12.80	0.10	97	11.80	0.80
29	14.90	1.20	63	11.80	1.00	98	11.60	0.20
30	12.60	2.30	64	13.20	1.40	99	10.90	0.70
31	14.70	2.10	65	13.20	0.00	100	11.90	0.60
32	14.60	0.10	66	13.50	0.30			
33	13.80	0.80	67	13.80	0.30			
34	13.20	0.60	68	12.70	1.10			
35	14.10	0.90	69	13.90	1.20			
			70	14.20	0.30			

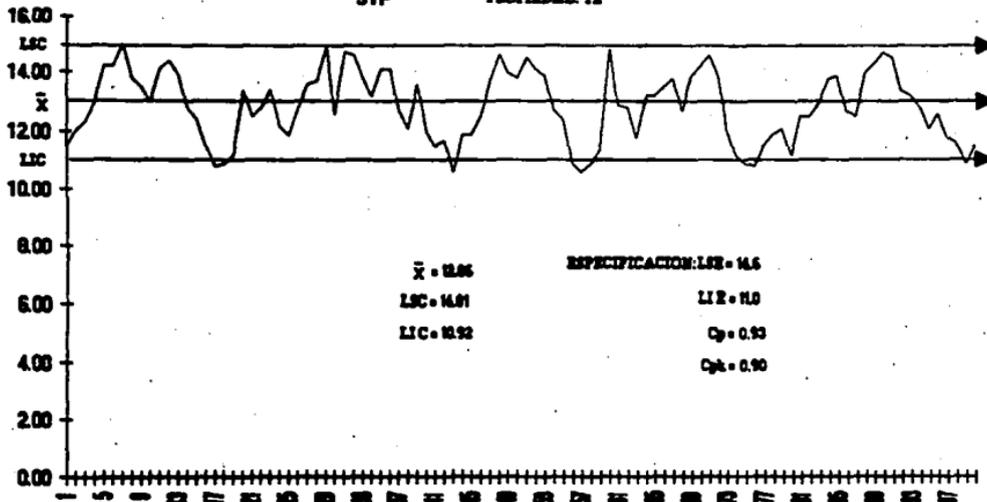
MEDIA 12.86
 R FROM. 0.73
 DESV.SD 0.65
 LSCX 14.81
 LCCX 10.92
 LSC-R 2.39
 LCC-R 0.00
 Cp 0.93
 Cpk 0.90
 LSE 14.60
 LIE 11.00

TRANTES DE CEP

CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (costo por medio)

STP

PROPIEDAD: TR

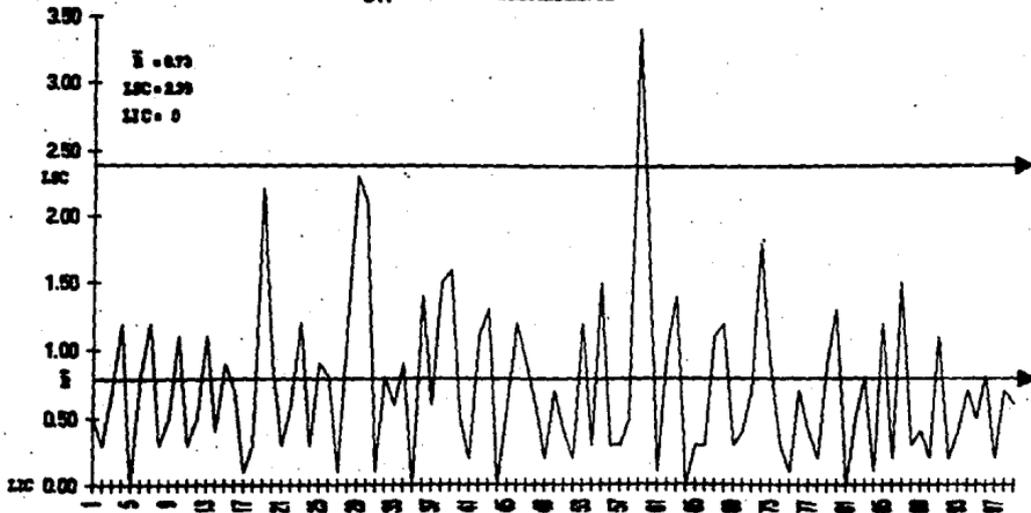


TR ANTES DE CEP

CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (parte de rango)

STP

PROPIEDAD: TR



pH ANTES DE CEP

68

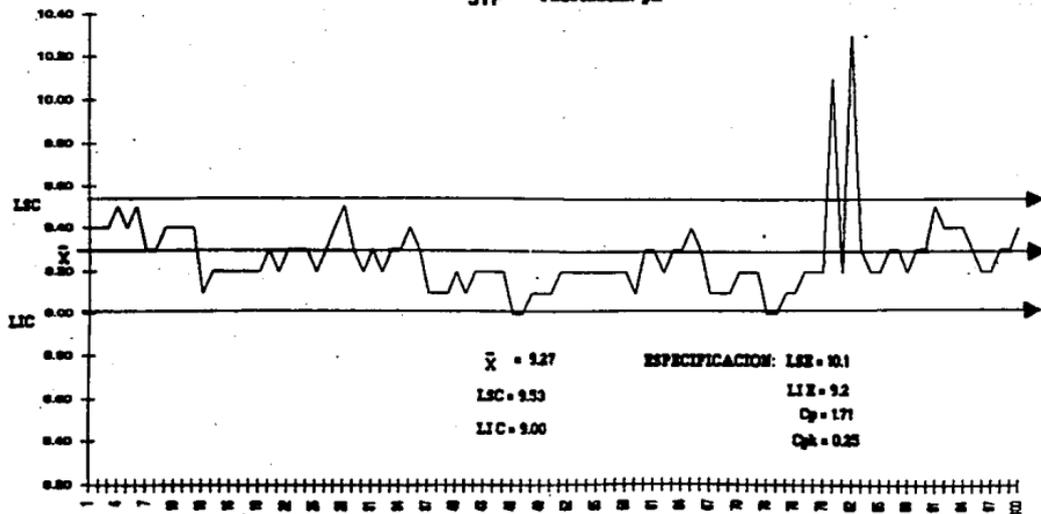
DATO No.	pH	R	9.65 DATO No.	pH	R	DATO No.	pH	R
1	9.40		35	9.40		70	9.20	
2	9.40	0.00	36	9.30	0.10	71	9.20	0.00
3	9.40	0.00	37	9.10	0.20	72	9.20	0.00
4	9.50	0.10	38	9.10	0.00	73	9.00	0.20
5	9.40	0.10	39	9.10	0.00	74	9.00	0.00
6	9.50	0.10	40	9.20	0.10	75	9.10	0.10
7	9.30	0.20	41	9.10	0.10	76	9.10	0.00
8	9.30	0.00	42	9.20	0.10	77	9.20	0.10
9	9.40	0.10	43	9.20	0.00	78	9.20	0.00
10	9.40	0.00	44	9.20	0.00	79	9.20	0.00
11	9.40	0.00	45	9.20	0.00	80	10.10	0.90
12	9.40	0.00	46	9.00	0.20	81	9.20	0.90
13	9.10	0.30	47	9.00	0.00	82	10.30	1.10
14	9.20	0.10	48	9.10	0.10	83	9.30	1.00
15	9.20	0.00	49	9.10	0.00	84	9.20	0.10
16	9.20	0.00	50	9.10	0.00	85	9.20	0.00
17	9.20	0.00	51	9.20	0.10	86	9.30	0.10
18	9.20	0.00	52	9.20	0.00	87	9.30	0.00
19	9.20	0.00	53	9.20	0.00	88	9.20	0.10
20	9.30	0.10	54	9.20	0.00	89	9.30	0.10
21	9.20	0.10	55	9.20	0.00	90	9.30	0.00
22	9.30	0.10	56	9.20	0.00	91	9.50	0.20
23	9.30	0.00	57	9.20	0.00	92	9.40	0.10
24	9.30	0.00	58	9.20	0.00	93	9.40	0.00
25	9.20	0.10	59	9.10	0.10	94	9.40	0.00
26	9.30	0.10	60	9.30	0.20	95	9.30	0.10
27	9.40	0.10	61	9.30	0.00	96	9.20	0.10
28	9.50	0.10	62	9.20	0.10	97	9.20	0.00
29	9.30	0.20	63	9.30	0.10	98	9.30	0.10
30	9.20	0.10	64	9.30	0.00	99	9.30	0.00
31	9.30	0.10	65	9.40	0.10	100	9.40	0.10
32	9.20	0.10	66	9.30	0.10			
33	9.30	0.10	67	9.10	0.20			
34	9.30	0.00	68	9.10	0.00			
35	9.40	0.10	69	9.10	0.00			
			70	9.20	0.10			

MEDIA 9.27
 R FROM. 0.10
 DESV.SD 0.09
 LSC-X 9.53
 LIC-X 9.00
 LSC-R 0.32
 LIC-R 0.00
 Cp 1.71
 Cpk 0.25
 LSE 10.10
 LIE 9.20

pH ANTES DE CEP

CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (carta de medias)

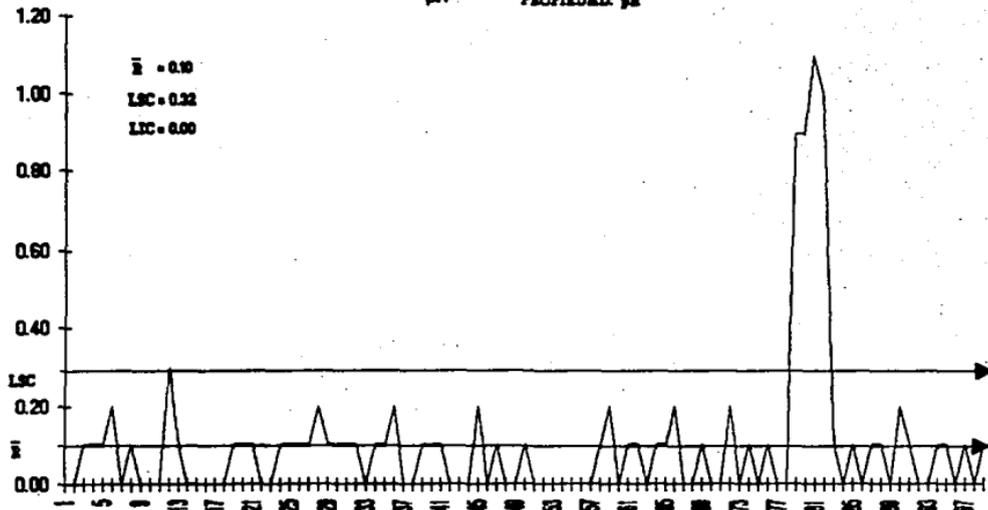
STP PROPIEDAD: pH



pH ANTES DE CEP

CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (carta de rasgos)

pH PROPIEDAD: pE



CAPITULO V

**APLICACION DE LAS HERRAMIENTAS DEL CEP
PARA LA MEJORA DEL PROCESO
DE STP**

CAPITULO V

APLICACION DE LA HERRAMIENTAS DEL CEP PARA LA MEJORA DEL PROCESO DEL STP.

En el capítulo anterior se encontró que el proceso está fuera de control. El siguiente paso es encontrar las causas de variación para después corregirlas.

Sin embargo, es indispensable que se sigan llevando los gráficos de control en paralelo con las acciones correctivas, para poder ver si el proceso realmente va o no mejorando.

Para esto fue necesario utilizar un formato de carta de control que el operador pudiera llevar durante el proceso (ver siguiente página), en el que se registran datos importantes como: fecha, operador, hora, y alguna observación que el operador o su supervisor hicieran en el momento de tener algún punto fuera de los límites de control calculados en el capítulo anterior.

Este formato sirvió mucho al momento de hacer la lluvia de ideas de las causas de variación y sus correspondientes acciones correctivas.

Una vez que se les enseñó a los operadores a graficar manualmente las lecturas de cada propiedad, se procedió a realizar una lluvia de ideas sobre las causas probables de variación que afectan a: la relación DSP/MSP, %P₂, TR y PH.

De la lluvia de ideas se fueron formando los "Diagramas de Causa-Efecto" que muestro a continuación, agrupando las causas en: Método, Maquinaria, Mano de Obra y Materiales.

DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO

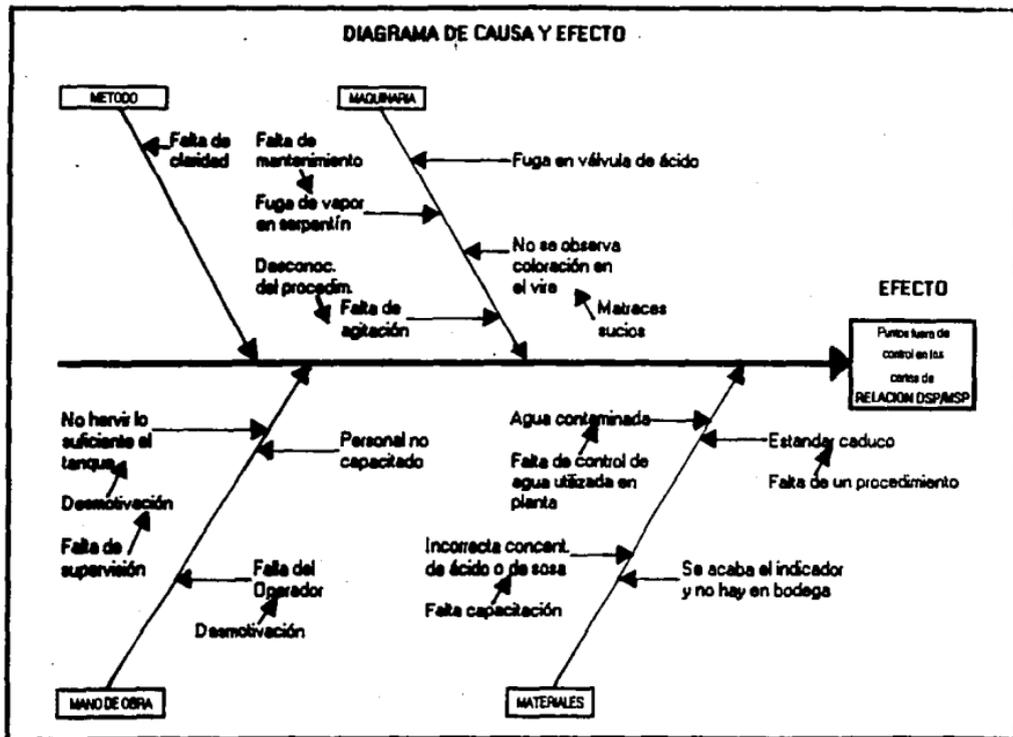


DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO

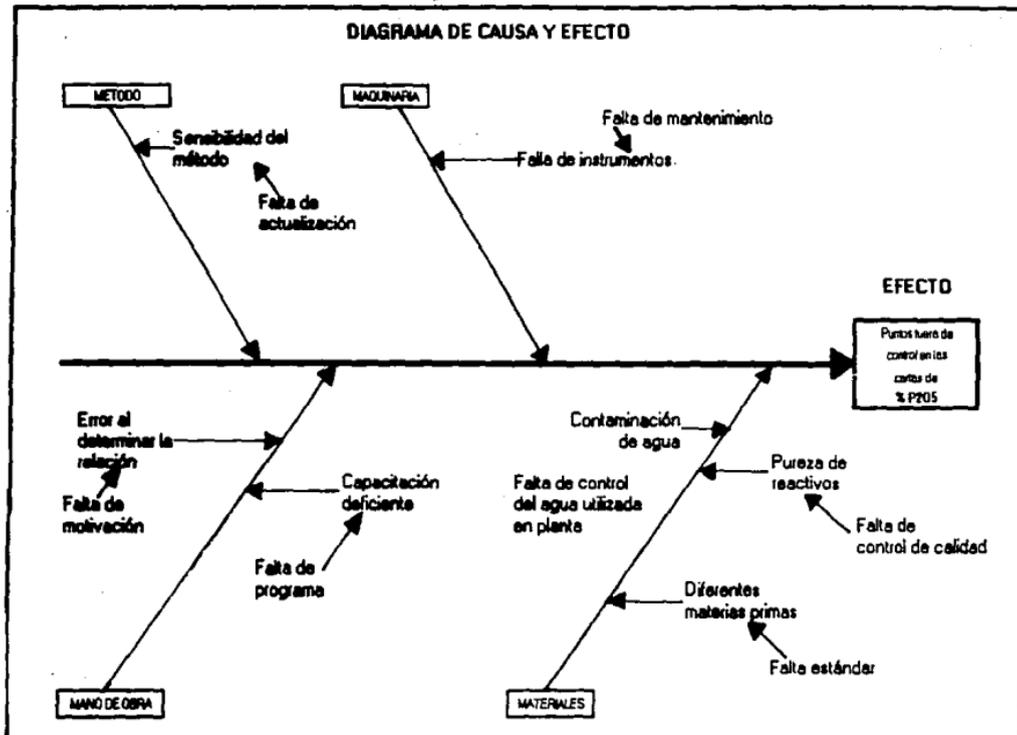


DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO

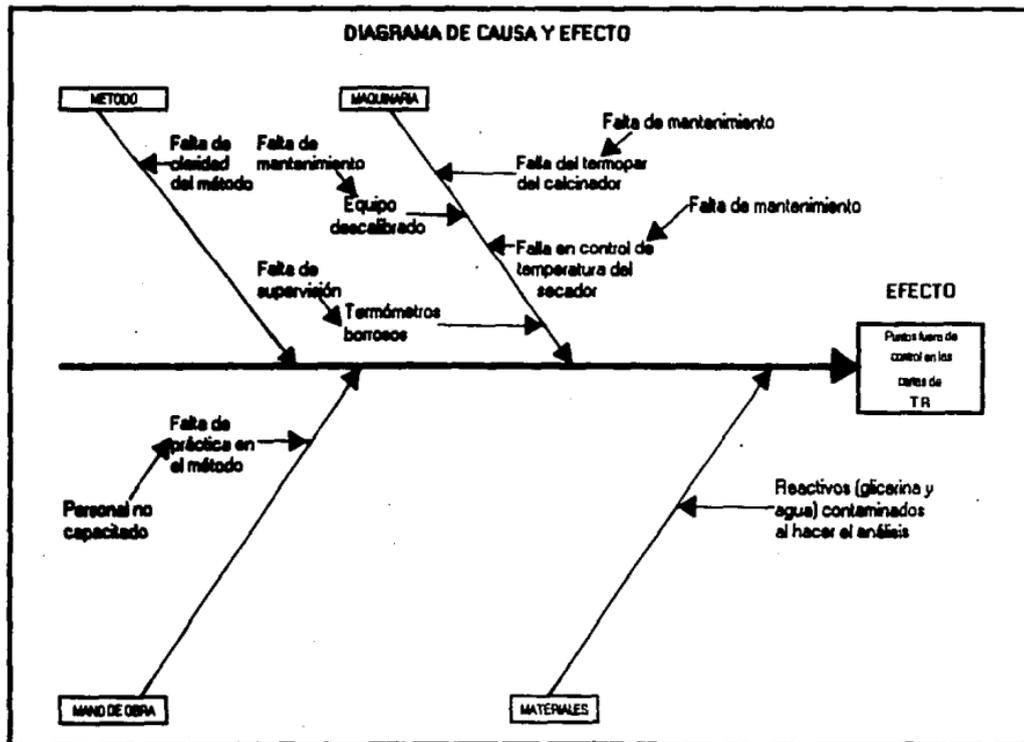
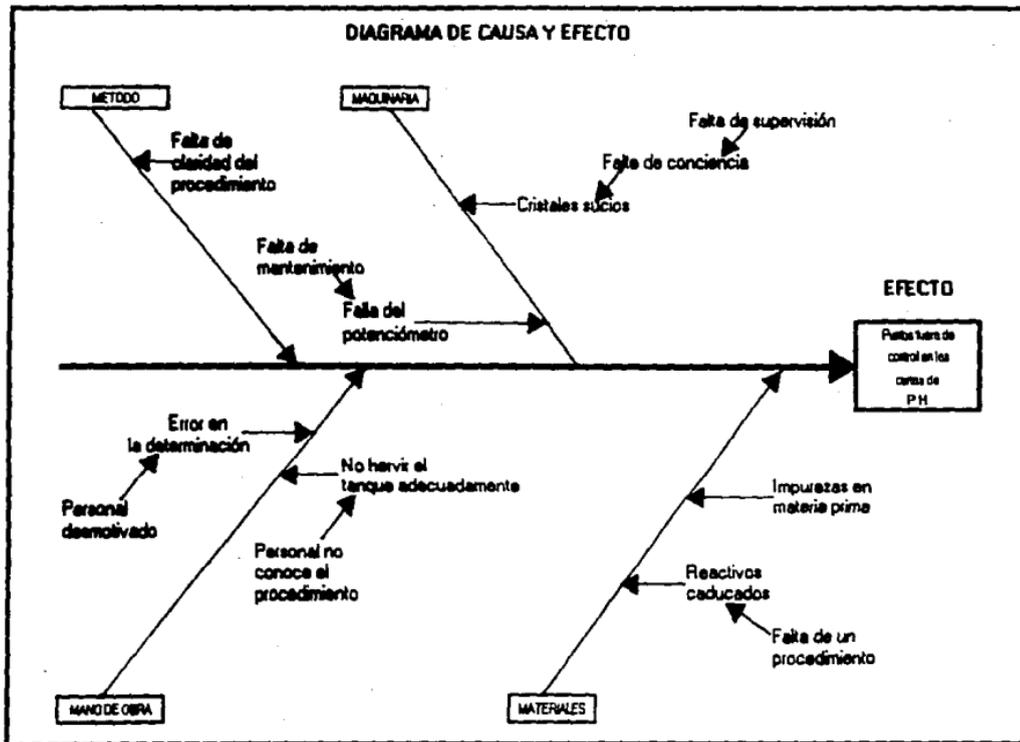
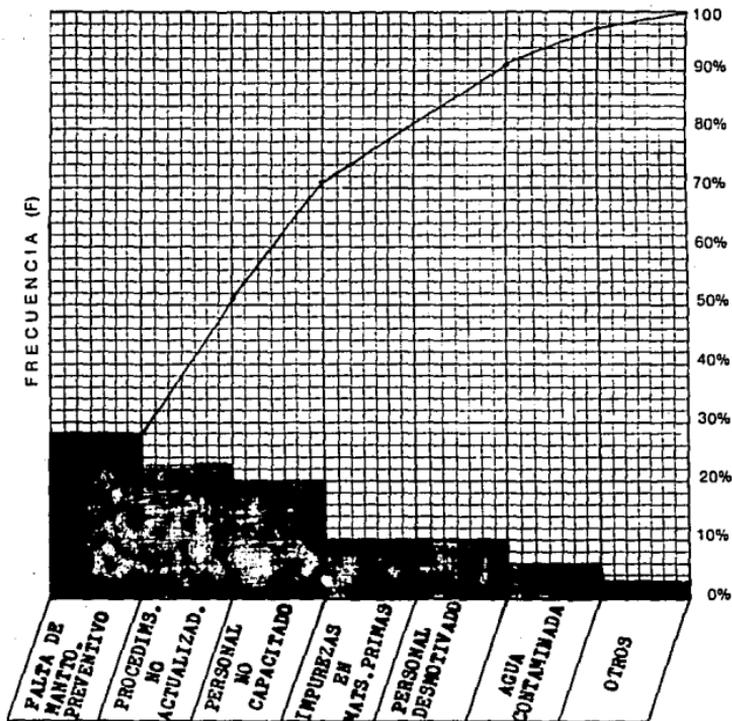


DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO



Posteriormente, de la cartas que siguieron generando los operadores se pudo determinar cuales eran las causas mas frecuentes de variación, así como su importancia relativa y se elaboró el "Diagrama de Pareto" correspondiente, el cual se analizó para asignar prioridades y empezar a eliminar una a una las causas de variación e ir metiendo "en control" al proceso.

Se tuvo especial especial cuidado en que las acciones que se tomaran fueran definitivas, es decir, que corrigieran las causas de manera permanente.



ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

79

CAUSAS BASICAS

ACCIONES CORRECTIVAS

Falta de mantenimiento preventivo.

Se elaboró un plan de mantenimiento preventivo para cada equipo e instrumento de acuerdo a sus características.

Procedimientos no actualizados.

Se inició la revisión y actualización de los procedimientos de operación estándar ya existentes, y se elaboraron los procedimientos faltantes.

Personal no capacitado.

Se evaluó tanto al personal de laboratorio como a los operadores a fin de determinar sus necesidades de capacitación, misma que se fue cubriendo durante tres semanas con la ayuda de los supervisores. También se definió un programa de capacitación para el personal de nuevo ingreso.

Impurezas en Materia Prima.

Se hicieron varias reuniones entre los Proveedores de materia prima, Ingeniería de procesos y Compras, actualizando las hojas de especificación que tenían los proveedores.

Personal desmotivado.

Se dieron pláticas de concientización a los operadores, haciéndoles ver la importancia que tiene su trabajo en la calidad del producto, y cómo afectan los errores que se cometen, pero sobre todo se recalcó la posibilidad de que ahora ellos sean capaces de detectar cuando un proceso empieza a salirse de control y corregir

a tiempo, usando las cartas de control que ellos mismos van elaborando cada día.

Agua contaminada.

Se revisaron las líneas de agua D.I., se limpió el tanque de almacenamiento de agua, y se implantó un procedimiento de análisis periódico de la calidad del agua usada en el proceso.

Bajo stock de indicadores en bodega.

Se revisaron los consumos y se ajustó el nivel mínimo de inventario para garantizar la existencia. Esto se hizo también para los demás reactivos utilizados en los análisis.

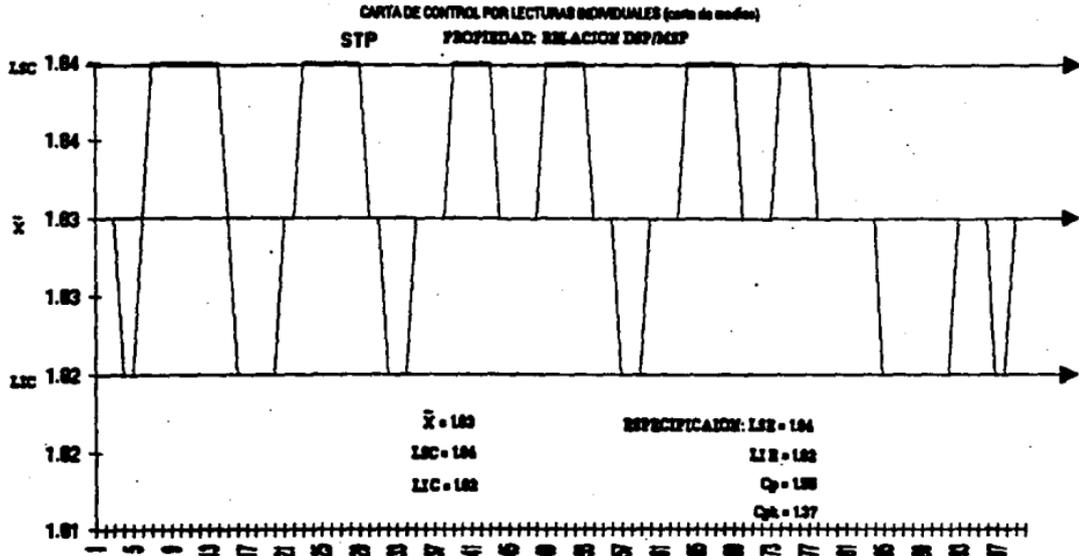
Estas acciones se llevaron a cabo inmediatamente, y se siguieron tomando lecturas y graficando manualmente; poco a poco fueron disminuyendo el número de puntos que caían fuera de los límites de control. Al cabo de catorce semanas de trabajo se volvieron a reunir los últimos cien puntos de cada propiedad y se les hizo el mismo análisis en Excel que a los anteriores (Capítulo IV), encontrando una mejora notable en las habilidades del proceso, ahora el proceso ya se encuentra bajo "control estadístico", como se aprecia en las cartas de control que siguen a continuación. Nótese los valores de C_p y C_{pk} obtenidos para cada variable.

RELACION DSP/MSP DESPUES DE CEP

DATO No.	D/M	R	DATO No.	D/M	R	DATO No.	D/M	R
1	1.83		35	1.83		70	1.83	
2	1.83	0.00	36	1.83	0.00	71	1.83	0.00
3	1.83	0.00	37	1.83	0.00	72	1.83	0.00
4	1.82	0.01	38	1.83	0.00	73	1.83	0.00
5	1.82	0.00	39	1.84	0.01	74	1.84	0.01
6	1.83	0.01	40	1.84	0.00	75	1.84	0.00
7	1.84	0.01	41	1.84	0.00	76	1.84	0.00
8	1.84	0.00	42	1.84	0.00	77	1.84	0.00
9	1.84	0.00	43	1.84	0.00	78	1.83	0.01
10	1.84	0.00	44	1.83	0.01	79	1.83	0.00
11	1.84	0.00	45	1.83	0.00	80	1.83	0.00
12	1.84	0.00	46	1.83	0.00	81	1.83	0.00
13	1.84	0.00	47	1.83	0.00	82	1.83	0.00
14	1.84	0.00	48	1.83	0.00	83	1.83	0.00
15	1.83	0.01	49	1.84	0.01	84	1.83	0.00
16	1.82	0.01	50	1.84	0.00	85	1.82	0.01
17	1.82	0.00	51	1.84	0.00	86	1.82	0.00
18	1.82	0.00	52	1.84	0.00	87	1.82	0.00
19	1.82	0.00	53	1.84	0.00	88	1.82	0.00
20	1.82	0.00	54	1.83	0.01	89	1.82	0.00
21	1.83	0.01	55	1.83	0.00	90	1.82	0.00
22	1.83	0.00	56	1.83	0.00	91	1.82	0.00
23	1.84	0.01	57	1.82	0.01	92	1.82	0.00
24	1.84	0.00	58	1.82	0.00	93	1.83	0.01
25	1.84	0.00	59	1.82	0.00	94	1.83	0.00
26	1.84	0.00	60	1.83	0.01	95	1.83	0.00
27	1.84	0.00	61	1.83	0.00	96	1.83	0.00
28	1.84	0.00	62	1.83	0.00	97	1.82	0.01
29	1.84	0.00	63	1.83	0.00	98	1.82	0.00
30	1.83	0.01	64	1.84	0.01	99	1.83	0.01
31	1.83	0.00	65	1.84	0.00	100	1.83	0.00
32	1.82	0.01	66	1.84	0.00			
33	1.82	0.00	67	1.84	0.00			
34	1.82	0.00	68	1.84	0.00			
35	1.83	0.01	69	1.84	0.00			
			70	1.83	0.01			

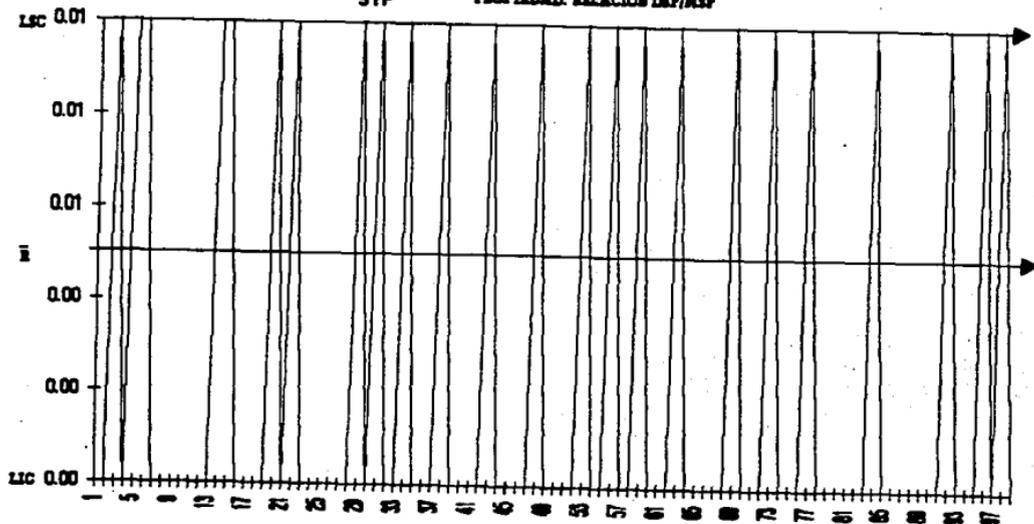
MEDIA	1.83
R PROM.	0.00
DESV.SD	0.00
LSCX	1.84
UCX	1.82
LSC-R	0.01
UC-R	0.00
Cp	1.55
Cpk	1.37
LSE	1.84
LIE	1.82

RELACION DSP/MSP DESPUES DE CEP

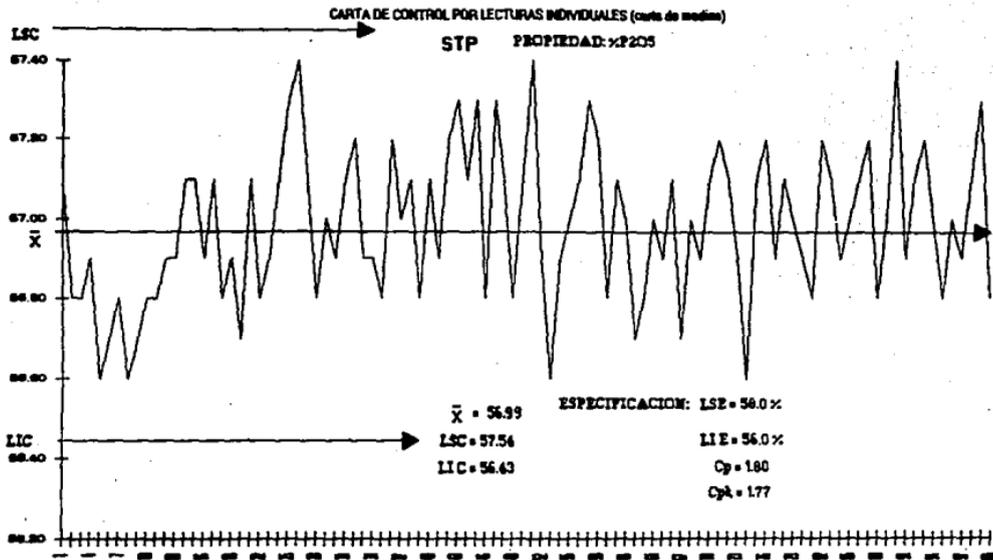


RELACION DSP/MSP DESPUES DE CEP

CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (carta de rangos)
STP PROPIEDAD: RELACION DSP/MSP



205 DESPUES DE CEP



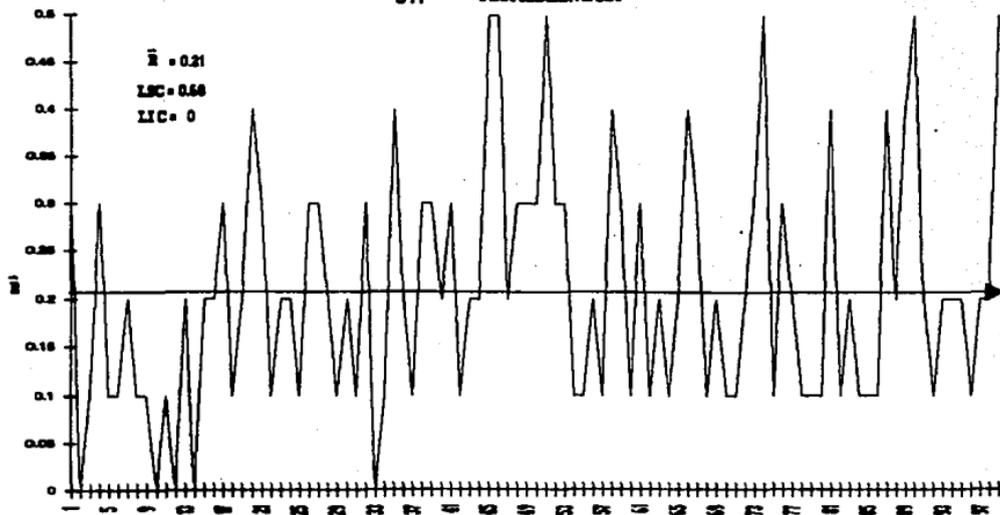
✂ P205 DESPUES DE CEP

LSC



CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (carta de rangos)

STP PROPIEDAD: >P205



TR DESPUES DE CEP

DATO No.	TR	R	DATO No.	TR	R	DATO No.	TR	R
1	12.50		35	14.00		70	14.50	
2	13.20	0.70	36	14.20	0.20	71	14.60	0.10
3	13.30	0.10	37	14.50	0.30	72	13.50	1.10
4	12.60	0.50	38	14.00	0.50	73	12.80	0.70
5	13.20	0.40	39	13.80	0.20	74	11.90	0.90
6	13.20	0.00	40	13.20	0.60	75	12.00	0.10
7	14.00	0.60	41	12.90	0.30	76	11.50	0.50
8	13.60	0.20	42	12.40	0.50	77	11.20	0.30
9	13.50	0.30	43	11.90	0.50	78	11.20	0.00
10	13.40	0.10	44	12.50	0.60	79	11.10	0.10
11	13.60	0.40	45	12.80	0.30	80	11.20	0.10
12	13.50	0.30	46	12.50	0.30	81	11.80	0.60
13	13.90	0.40	47	12.60	0.30	82	12.40	0.60
14	13.10	0.80	48	12.90	0.10	83	12.10	0.30
15	12.90	0.30	49	13.70	0.80	84	13.50	1.40
16	12.40	0.40	50	14.20	0.50	85	13.40	0.10
17	12.30	0.10	51	14.50	0.30	86	14.80	1.40
18	11.80	0.50	52	14.10	0.40	87	12.90	1.90
19	11.60	0.20	53	13.90	0.20	88	11.50	1.40
20	12.00	0.40	54	13.50	0.40	89	11.70	0.20
21	12.40	0.40	55	13.40	0.10	90	12.10	0.40
22	12.30	0.10	56	12.80	0.60	91	11.90	0.20
23	12.60	0.50	57	12.40	0.40	92	11.60	0.30
24	12.90	0.10	58	12.80	0.40	93	12.50	0.90
25	12.60	0.30	59	12.10	0.70	94	12.30	0.20
26	12.80	0.20	60	11.70	0.40	95	11.50	0.80
27	13.10	0.30	61	11.20	0.50	96	12.20	0.70
28	13.50	0.40	62	11.10	0.10	97	12.40	0.20
29	13.70	0.20	63	11.80	0.70	98	13.00	0.60
30	12.60	1.10	64	12.70	0.90	99	13.50	0.50
31	12.10	0.50	65	12.90	0.20	100	11.90	1.60
32	13.60	1.70	66	12.60	0.30			
33	13.50	0.30	67	13.90	1.30			
34	13.40	0.10	68	12.80	1.10			
35	14.00	0.60	69	13.40	0.60			
			70	14.50	1.10			

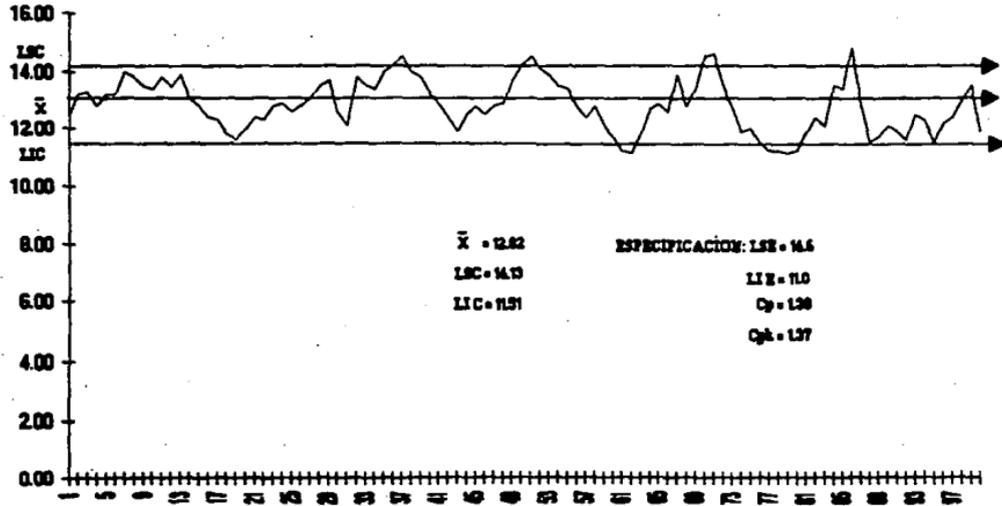
MEDIA	12.82
R PROM.	0.49
DES.V.SD	0.43
LSC-X	14.13
LIC-X	11.51
LSC-R	1.60
LIC-R	0.00
Cp	1.38
Cpk	1.37
LSE	14.60
LIE	11.00

TR DESPUES DE CEP

CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (carta de medias)

STP

PROPIEDAD: TR

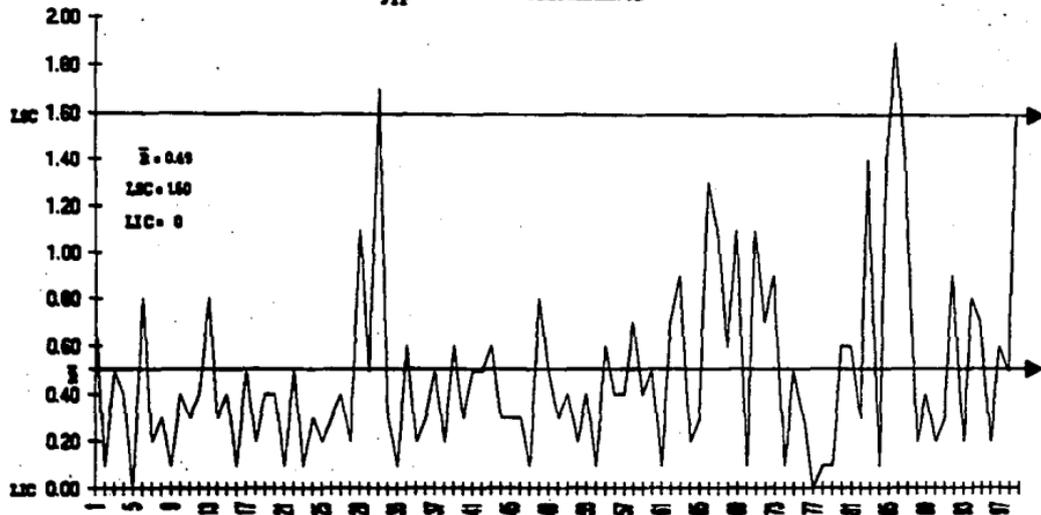


TR DESPUES DE CEP

CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (carta de rangos)

STP

PROPIEDAD: TR

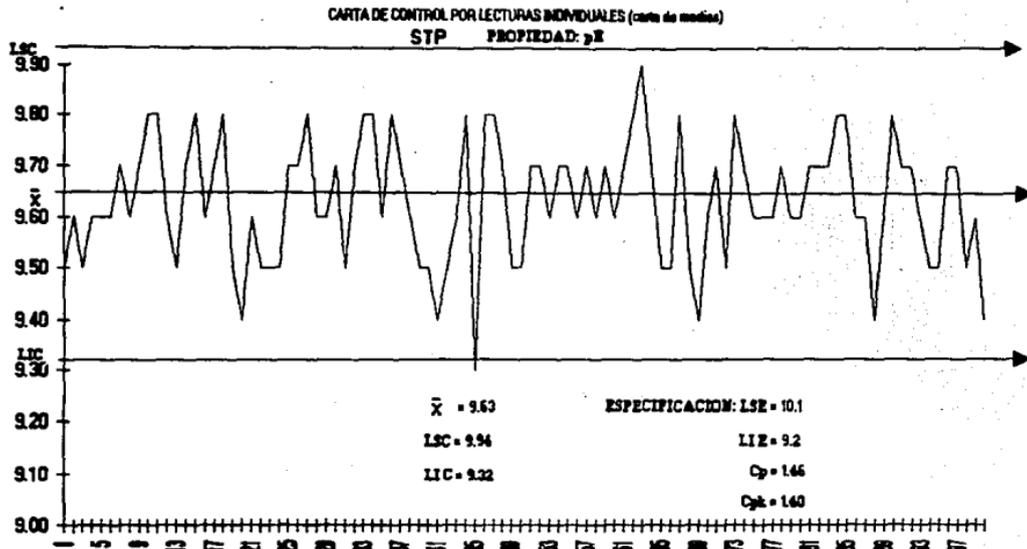


pH DESPUES DE CEP

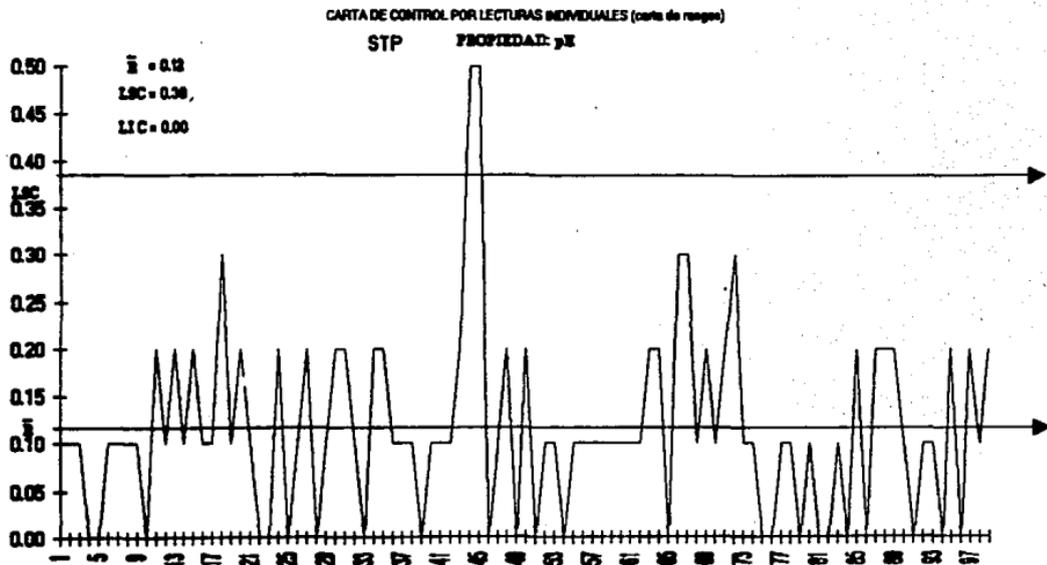
DATO No.	pH	R	DATO No.	pH	R	DATO No.	pH	R
1	9.50		35	9.60		70	9.60	
2	9.60	0.10	36	9.80	0.20	71	9.70	0.10
3	9.50	0.10	37	9.70	0.10	72	9.50	0.20
4	9.60	0.10	38	9.60	0.10	73	9.80	0.30
5	9.60	0.00	39	9.50	0.10	74	9.70	0.10
6	9.60	0.00	40	9.50	0.00	75	9.60	0.10
7	9.70	0.10	41	9.40	0.10	76	9.60	0.00
8	9.60	0.10	42	9.50	0.10	77	9.60	0.00
9	9.70	0.10	43	9.60	0.10	78	9.70	0.10
10	9.80	0.10	44	9.80	0.20	79	9.60	0.10
11	9.80	0.00	45	9.30	0.50	80	9.60	0.00
12	9.60	0.20	46	9.80	0.50	81	9.70	0.10
13	9.50	0.10	47	9.80	0.00	82	9.70	0.00
14	9.70	0.20	48	9.70	0.10	83	9.70	0.00
15	9.80	0.10	49	9.50	0.20	84	9.80	0.10
16	9.60	0.20	50	9.50	0.00	85	9.80	0.00
17	9.70	0.10	51	9.70	0.20	86	9.60	0.20
18	9.80	0.10	52	9.70	0.00	87	9.60	0.00
19	9.50	0.30	53	9.60	0.10	88	9.40	0.20
20	9.40	0.10	54	9.70	0.10	89	9.60	0.20
21	9.60	0.20	55	9.70	0.00	90	9.80	0.20
22	9.50	0.10	56	9.60	0.10	91	9.70	0.10
23	9.50	0.00	57	9.70	0.10	92	9.70	0.00
24	9.50	0.00	58	9.60	0.10	93	9.60	0.10
25	9.70	0.20	59	9.70	0.10	94	9.50	0.10
26	9.70	0.00	60	9.60	0.10	95	9.50	0.00
27	9.80	0.10	61	9.70	0.10	96	9.70	0.20
28	9.80	0.20	62	9.80	0.10	97	9.70	0.00
29	9.60	0.00	63	9.50	0.10	98	9.50	0.20
30	9.70	0.10	64	9.70	0.20	99	9.60	0.10
31	9.50	0.20	65	9.50	0.20	100	9.40	0.20
32	9.70	0.20	66	9.50	0.00			
33	9.80	0.10	67	9.80	0.30			
34	9.80	0.00	68	9.50	0.30			
35	9.60	0.20	69	9.40	0.10			
			70	9.60	0.20			

MEDIA	9.63
R FROM.	0.12
DESV.SD	0.10
LSCX	9.94
LICX	9.32
LSC-R	0.38
LIC-R	0.00
Cp	1.46
Cpk	1.40
LSE	10.10
LJE	9.20

pH DESPUES DE CEP



pH DESPUES DE CEP



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Los objetivos de este trabajo se cumplieron satisfactoriamente de acuerdo con los resultados obtenidos de Cpk antes y después de la implantación del Control Estadístico de Procesos:

PROPIEDAD	Cpk antes del CEP	Cpk después del CEP
Relación DSP/MSP	0.28	1.37
% P ₂ O ₅	0.46	1.77
TR	0.90	1.37
pH	0.25	1.40

Con la implantación del Control Estadístico de Procesos en la producción del STP la calidad del mismo mejoró notablemente, sin que fuera necesario hacer grandes inversiones. Ahora el producto presenta una variabilidad muy pequeña, cumpliendo satisfactoriamente con los requerimientos del Cliente.

El Control Estadístico de Procesos permite asegurar que el producto final cumplirá con todas las especificaciones, eliminando prácticamente los lotes rechazados por estar fuera de especificación, ya que las cartas de control que se elaboran durante la producción son como una especie de radiografía que se le saca al proceso durante la operación, permitiéndonos detectar oportunamente cualquier anomalía y corregirla antes de que el material salga de la línea de proceso, esto es, sin tener que esperar el dictamen del Laboratorio de Control de Calidad sobre el producto terminado.

El Control Estadístico de Procesos es una herramienta estadística de aseguramiento de calidad que cada día se difunde más en el medio industrial. Algunos fabricantes exigen hoy en día a sus proveedores de materia prima la presentación de "evidencia estadística", esto es, las cartas de control que muestren que sus procesos están dentro de control estadístico, y sus correspondientes valores de Cpk, asegurándose así de que la

materia prima no será una fuente de variabilidad.

En las transacciones internacionales se está volviendo indispensable la presentación de evidencias estadísticas, dejando atrás los Certificados de Calidad emitidos por los Laboratorios. Esto denota la importancia que tiene el difundir a todos los niveles productivos el uso del Control Estadístico de Procesos y la orientación hacia la Calidad.

Un factor muy importante en el desarrollo de este proyecto fue el trabajo en equipo. El hecho de haber formado un equipo de calidad multidisciplinario en el que tanto operadores como superintendentes tuvieron plena libertad y confianza para expresar su opinión sin importar su rango o nivel fue muy valioso y enriquecedor, todos aprendimos algo de los demás, nos sentimos orgullosos de nuestro trabajo y muy motivados por los resultados obtenidos, sobre todo porque una vez concluido este proyecto, la Gerencia decidió que la implantación del CEP se hiciera extensiva a las demás áreas productivas de la Planta.

La principal limitación que encontré fue durante el inicio del proyecto, al toparme con una marcada "resistencia al cambio", esto es, el personal que ha trabajado de determinada manera durante varios años no siempre tiene la disposición de cambiar súbitamente su manera de hacer las cosas; este problema se resolvió mediante algunas sesiones de introducción a la Calidad Total, y sobre todo con el ejemplo de la gerencia que mostró su compromiso para lograr el cambio. También ayudó el hecho de iniciar el proyecto con la capacitación de los operadores en los conceptos básicos del CEP, ya que mediante ejemplos pudieron convencerse de los beneficios que el manejo de esta herramienta aporta a su trabajo diario.

El CEP puede aplicarse a cualquier tipo de proceso, ya sea continuo o por lotes, de industria química, mecánica, etc. Los pasos a seguir que recomiendo son: primero conocer perfectamente el proceso, después dar la capacitación en CEP al personal,

posteriormente determinar las variables que afectan la calidad del producto mediante los diagramas de correlación, definir el tipo de cartas de control que se van a llevar, recopilar los datos y hacer el análisis estadístico, calcular C_p y C_{pk} para cada variable, y con base en ello determinar las causas de variación y las acciones correspondientes.

Una vez alcanzado el control estadístico, se debe buscar que el proceso siga mejorando, ya que el objetivo es la excelencia. Esto se logra modificando los límites de especificación, haciéndolos cada vez más exigentes (disminuir el rango de aceptación) y volviendo a calcular los valores de C_p y C_{pk} .

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- Acheson J. Duncan, "QUALITY CONTROL AND INDUSTRIAL STATISTICS", Richard D. Irwin, Inc. IL, 1974.
- Eugene L. Grant, Richard S. Leavenworth, "CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD", C.E.C.S.A., México, 1990.
- Kaoru Ishikawa, "¿QUE ES CONTROL TOTAL DE CALIDAD? ... LA MODALIDAD JAPONESA", Ed. Norma, S.A., Colombia, 1986.
- Philip B. Crosby, "QUALITY WITHOUT TEARS", McGraw-Hill, New York, 1984.
- Mary Walton, "THE DEMING MANAGEMENT METHOD", Dod, Mead & Co. Inc., New York, 1986.
- Van Wazer, "PHOSPHORUS AND ITS COMPOUNDS", Interscience Publishers, Inc., New York, 1961.
- B. J. Kenalty, "LAUNDRY AND DRY CLEANING", American Chemical Society, New York, 1940.
- Arthur D. F. Toy, "PHOSPHORUS CHEMISTRY IN EVERYDAY LIVING", American Chemical Society, Washington, D.C., 1976.
- Anthony V. Contino, "IMPROVE PLANT PERFORMANCE VIA STATISTICAL PROCESS CONTROL", Chemical Engineering, July 20, 1987.
- D.F. Knight, "STATISTICAL PROCESS CONTROL - WHAT'S NEW?", Foundry Trade Journal, September 11, 1986.
- C.L. Mamzic, T.W. Tucker, "SPC IN THE PROCESS INDUSTRIES", Hydrocarbon Processing, Nov-Dec, 1988.
- Woodruff Iberman, "THE GOLDEN NUGGETS ON THE FACTORY FLOOR" Bus Horiz, Vol. 29, No.4, jul-ago 1986.
- Charles A. Mills, "MARKETING QUALITY ASSURANCE", Quality Progress, Vol. 19, No.6, junio 1987.
- Stewart, Doherty, "USE OF STATISTICAL METHODS", Metal Stamping, Jan-Feb-Mar-Apr 1986.
- Paul Heindenreich, "SUPPLIER SPC TRAINING: A MODEL CASE", Quality Progress, July 1989.
- A. L. Guillory, "STATISTICAL PROCESS CONTROL IN A PAPER MILL", Chemical Engineering Progress, April 1988.

Richard McKee, "THE ABC OF PROCESS CONTROL", Machine and Tool Blue Book, January 1986.

Cynthia Butter, Rex Bryce, "IMPLEMENTING SPC WITH SIGNETICS PRODUCTION PERSONNEL", Quality Progress, April 1986.

Ron Gibson, "QUANTITY AND THE CHANGING ROLE OF MANAGEMENT", Machine and Tool Blue Book, December 1986.

John F. MacGregor, "ON-LINE STATISTICAL PROCESS CONTROL", Chemical Engineering Progress, October 1988.

Dovalee Dorsett, "SPC CONSIDERATIONS OF THE PROCESS CAPABILITY INDICES FOR A CHEMICAL PROCESS", Rubber World, April 1990.

Leonard La Verne, "COMPOUNDERS BITE THE BULLET, IMPLEMENT SPC/SQC", Plastics Compounding, Sep-Oct 1988.