

157/6
REV.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



IMPLANTACION DE UN SISTEMA BASICO DE CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD EN UNA PLANTA DE PLASTIFICANTES

TRABAJO ESCRITO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A N:
MARCO ANTONIO CALZADA DERBEZ
HECTOR MURGUIA ROMERO

MEXICO, D. F.

1992

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUÍMICA

JURADO ASIGNADO SEGUN EL TEMA

Presidente	Prof. José Luis González Machado
Vocal	Prof. Gerardo Bazan Navarrete
Secretario	Prof. Domingo Alarcon Ortiz
1er. Suplente	Prof. Guillermo Molina Gomez
2do. Suplente	Prof. Ma. Eugenia Ceballos Silva

Sitio donde se desarrolló el tema:

Grupo Primex, S. A de C.V.

Marco A. Calzada Derbez

SUSTENTANTES

Héctor Murguía Romero

ASESOR

Ing. José Luis González Machado

INDICE

- I. Objetivo**
- II. Introducción**
 - Filosofías de Calidad
- III. Control Estadístico de Calidad**
 - Control Estadístico del Proceso
 - Cartas de Control
 - Otras Herramientas Estadísticas
- IV. Descripción del Proceso Productivo**
- V. Criterios de Selección de Variables a Controlar**
- VI. Control Estadístico del Proceso en Campo**
- VII. Análisis de Resultados**
- VIII. Conclusiones**
- IX. Anexos**
- X. Bibliografía**

I. OBJETIVO

Identificar las variables de proceso que afectan la eficiencia de conversión en la producción de Plastificantes, utilizando herramientas estadísticas.

Obtener las condiciones de operación óptimas que estadísticamente mejoren la eficiencia de conversión.

Asegurar que las medidas propuestas sean significativas estadísticamente.

II. INTRODUCCION

En los últimos años se ha observado un notable incremento en la preocupación de los proveedores de bienes y servicios en mejorar la calidad de sus productos para satisfacer las necesidades y deseos de los consumidores, pero también los consumidores exigen más calidad, lo que hace imperante la necesidad de mejorar continuamente los productos, ya sean bienes o servicios para lograr la permanencia en el mercado y ser más competitivos al ofrecer productos con menor costo y mayor calidad.

Al destinar menores recursos económicos a la inspección final e incrementarlos en la prevención de problemas o fallas durante el proceso, se logra obtener productos con menor costo y con una mejora continua en la calidad.

Una herramienta fundamental para el logro de lo anterior es el Control Estadístico de Calidad. La mejora continua en cualquier compañía sólo se logra si todo el personal a todos niveles está realmente convencido de la necesidad de esta mejora en beneficio de su país, de su empresa, de su familia y de él mismo como consumidor.

Para lograr lo anterior se requiere tener una guía que oriente a la consecución de los objetivos, más adelante se presentan dos de las principales filosofías de calidad que han transformado la mentalidad de cómo hacer negocios en la actualidad.

Una de ellas es la del Dr. E. Deming, que a principios de los 50 introdujo en el Japón los conceptos de una mejora continua de calidad empleando el Control Estadístico de Proceso como base fundamental, esto hizo que los productos japoneses tradicionalmente considerados como artículos con pobre calidad, se conozcan ahora como artículos con alta tecnología y calidad que supera las expectativas del consumidor.

El método gerencial de Deming se resume en:

1). Crear constancia de propósito a través del mejoramiento del producto o servicio con un plan específico para ser competitivo y permanecer en el negocio. Decidir quiénes en la Alta Gerencia son responsables de él.

2). Adoptar la nueva filosofía. Estamos en una nueva era económica, ya no podemos vivir más con el nivel comúnmente aceptado de errores; defectos materiales que no son los adecuados para el trabajo; gente en el trabajo que no sabe en qué consiste el trabajo y que está temerosa a preguntar; manejo de daños; fracaso de la Gerencia en comprender su trabajo; métodos inadecuados de entrenamiento en el trabajo; supervisión inadecuada e inefectiva.

3).- Suspender la dependencia e inspección masiva. La inspección rutinaria al 100% es lo mismo que planear por defectos, reconocimiento a que el proceso no puede producir el producto correctamente, o a que las especificaciones no tienen sentido en primer lugar.

La calidad no se adquiere con la inspección, sino con el mejoramiento al proceso.

4).- No otorgar contratos de compra basados exclusivamente en precio los requerimientos actuales de uniformidad y confiabilidad, no nos permiten vivir más con la práctica de asignar el negocio tan sólo por el factor precio, olvidando la calidad y el servicio.

5).- Mejorar continuamente y por siempre los sistemas de producción y de servicios. Esto significa la continua reducción de desperdicios y el continuo mejoramiento de la calidad en cada actividad, compras, transportación, ingeniería, métodos, mantenimiento, contabilidad, etc. El continuo mejoramiento en la calidad conduce a continua elevación en la productividad.

6).- Instituir métodos modernos de entrenamiento en el trabajo. El entrenamiento debe ser totalmente reconstruido. Un pobre entrenamiento o la ausencia absoluta de él y el depender de especificaciones escritas inentendibles, parece ser una forma de vida.

7). Instituir el liderazgo, lograr que los Directores, Gerentes, Jefes y Supervisores sean verdaderos guías.

La supervisión debe tener el poder y ser dirigida a informar a niveles superiores, sobre condiciones que necesitan corregirse (defectos inherentes, maquinaria sin mantenimiento, herramental pobre o deficiente, falta de definiciones sobre lo que es un trabajo aceptable, énfasis en la cantidad de producción mas que en la calidad, etc).

8). Quitar el temor. Es necesario, para mejorar la calidad y la productividad, que el temor se aleje, que haya seguridad. No debe haber temor a expresar ideas, ni para preguntar, ni para pedir instrucciones, ni para reportar equipo que está descompuesto, o material que no sirve para determinado propósito, o cualquier otra condición en el trabajo que atente contra la calidad o la producción.

9). Romper barreras entre departamentos. Equipos de trabajo compuestos por gente de Ingeniería y Diseño, Recursos Materiales, Recursos Humanos, Mantenimiento, Operación, pueden lograr importantes mejoras en el diseño de los productos o servicios, de la calidad y reducción de costos.

10). Eliminar Slogans. Eliminar metas, consignas, posters para la fuerza de trabajo, urgiéndoles a incrementar la producción, o a alcanzar una meta de cero defectos para determinado tiempo.

11). Eliminar cuotas numéricas, destajos y pagos por tarea. Estos métodos se orientan más a la cantidad que a la calidad. Los estándares de trabajo deberían producir calidad, la experiencia dice que a quien se le mide por cantidad y se le premia por ella, no toma mucho en cuenta la calidad

12). Derribar las barreras que impidan el sentimiento de orgullo que produce un trabajo bien hecho " La gente está ansiosa por hacer un buen trabajo y se siente angustiada cuando no puede hacerlo."

13). Instituir un vigoroso programa de reentrenamiento a la gente en nuevas habilidades. La gente debe sentirse segura en su trabajo y debe sentir que la organización le proporciona y proporcionará la capacitación necesaria para adquirir los nuevos conocimientos y habilidades que requiera su trabajo en el futuro.

14). Crear una estructura en la alta administración que empuje día con día los 13 puntos anteriores. La alta Dirección deberá formar sus fuerzas de trabajo (task force) con obligaciones claras y con la autoridad para actuar.

Otra de las filosofías de calidad que han revolucionado el mundo de los negocios, principalmente en la telefonía (ej. ATT), lo es la propuesta por Phillip B. Crosby. Crosby propone a través de 14 pasos una mejora continua en los procesos basándose en 4 principios fundamentales:

"Calidad es cumplir con los requisitos del cliente"

"El Sistema que propicia la Calidad es la Prevención"

"El Estandar de Realización es Cero Defectos"

"Medir los Defectos a través del Precio del Incumplimiento"

En Grupo Primex hemos adoptado esta filosofía desde 1987 con el fin de dar a nuestros clientes la Calidad que se requiere e inclusive mejorar sus expectativas del producto que nos compra. Sin embargo hemos observado que es requisito indispensable para la mejora continua el contar con un Control Estadístico de Calidad de ahí la importancia de mencionar en este trabajo los 14 puntos del método Gerencial de Deming.

Los 14 pasos del Proceso de Mejora de la Calidad de Phillip B. Crosby se resumen en lo siguiente:

Los catorce principios para el mejoramiento de la calidad de Phillip B. Crosby.

1). Compromiso de la dirección. Es indispensable que la dirección emita una política de calidad que aclare que el compromiso es real, que la calidad deberá ser el primer tema de todas las reuniones periódicas de evaluación que sean celebradas en la compañía.

2). Equipo para el mejoramiento de la calidad. El equipo representa una de las partes claves del proceso y su propósito es el de guiar el proceso y promover su evolución a través de la coordinación y el apoyo con dirección clara y un liderazgo firme debe contar con normas sobre lo que debe de hacer el equipo y cómo deben seleccionarse sus miembros.

3). Medición. Proveer una ilustración que permita conocer el status de los problemas actuales y potenciales ocasionados al no cumplir con los requisitos,

así como también determinar su evaluación objetiva y las acciones correctivas y preventivas necesarias.

4). Costo de la Calidad. El costo de la calidad se divide en dos áreas: El precio del incumplimiento y el precio del cumplimiento. El precio del incumplimiento de los requisitos lo constituyen todos los gastos realizados en hacer las cosas mal. El precio del cumplimiento con los requisitos es lo que hay que gastar para que las cosas resulten bien.

5) Conciencia de la Calidad. Comunicar a los empleados las mediciones de lo que cuesta no tener calidad, entrenando a los supervisores para que orienten a los trabajadores dando evidencias visibles de la preocupación por el mejoramiento de la Calidad.

6). Acción Correctiva. Proporcionar un método sistemático que permita resolver para siempre los problemas que se identificaron a través de los pasos precedentes.

7). Planeación del Día Cero Defectos. Seleccionar un grupo de integrantes del Equipo de Mejora a la Calidad para investigar el concepto de Cero Defectos y formas de implantar el programa.

8). Educación. Determinar las necesidades de capacitación del personal para que pueda cumplir en forma activa y eficiente el objetivo del Proceso para el Mejoramiento de la Calidad.

9). Día Cero Defectos. Celebrar un evento que conduzca a que todo el personal experimente, a través de su propia experiencia, un cambio en forma de trabajo.

10). Fijación de Metas. Convertir las promesas y los compromisos en acciones, alentando a las personas metas de mejoramiento, tanto para ellas mismas como para los grupos de los cuales forman parte.

11). Eliminación de Causas de Error. Poner a la disposición de cada empleado un método para informar a la Dirección sobre situaciones que le impiden cumplir con su trabajo bien desde la primera vez.

12). Reconocimiento. Dar reconocimiento a aquellos trabajadores que alcancen los objetivos planteados o realicen actos sobresalientes.

13) Foros de Calidad. Reunir de manera periódica a personal de diferentes Departamentos para que intercambien información sobre la Administración de la Calidad y proponer acciones destinadas a la Mejora de la Calidad.

14) Repetir todo el Proceso. Comunicar a todo el personal que el Proceso para el Mejoramiento de la Calidad es un proceso continuo y con responsabilidad permanente de la Dirección.

III.- CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD

Aunque las gráficas de control y los métodos estadísticos de muestreo, originalmente fueron desarrollados para ser empleados en fabricaciones en serie, estas técnicas son aplicables a muchos otros tipos de actividades de carácter comercial y directivo.

Una forma de asegurar el cumplimiento de las especificaciones de los productos y lograr la satisfacción del cliente es mediante el Control Estadístico de Calidad que consiste en la recopilación, tabulación y graficación de datos para posteriormente interpretarlos y tomar acciones correctivas en el proceso para evitar producir bienes o servicios que no cumplen las necesidades del consumidor.

El Control Estadístico de Calidad está formado por las siguientes herramientas:

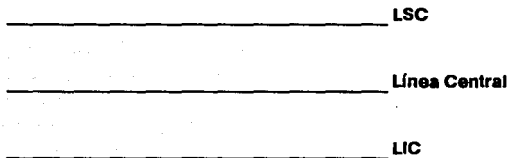
- 1) Control Estadístico del Proceso
- 2) Otras Herramientas Estadísticas de Apoyo
- 3) Muestreo de Aceptación.

1.- Control Estadístico del Proceso

Cartas de Control

El propósito del Control Estadístico del Proceso (CEP) es el de eliminar las causas asignables de variación y se compone con los siguientes conceptos:

Las Gráficas de Control desarrolladas por el Dr. Shewhart son gráficas poligonales que muestran en el tiempo el estado del proceso. Se marcan los resultados de la variable a observar en un esquema previamente determinado, que contiene una línea central o media y una línea arriba y otra abajo, que son los límites de control superior (LSC) e inferior (LIC) respectivamente.



Las gráficas de control son herramientas indispensables en manos de quienes deben resolver los problemas que se derivan de las especificaciones de calidad que presentan las variables. Citando a Deming se puede decir: "La Contribución a largo plazo de conceptos estadísticos depende, no tanto de la intervención de personal altamente especializado en estadística en la industria, como de la formación de una generación de físicos, químicos, ingenieros y otros hombres con mentalidad estadística, que de alguna forma tomen parte en el desarrollo y dirección de los procesos de producción del mañana."

Estas gráficas proporcionan la siguiente información:

- El intervalo de variación en el que básicamente se mueve la característica de calidad.
- La consistencia de la realización
- El nivel medio de la característica de calidad cuyo conocimiento es básico en la formación de criterio y toma de decisiones.

Las Gráficas de control se usan, entre otras cosas:

- a) Para verificar que los datos obtenidos poseen condiciones semejantes.
- b) Y para observar el proceso productivo, a fin de poder investigar las causas de un comportamiento anormal.

Existen diferentes Gráficas de Control en función de la variable a observar y del proceso a controlar.

El proceso a controlar puede depender de:

- una variable
- O de características nominales llamadas atributos

Recordemos la diferencia entre una variable y un atributo:

- En lenguaje técnico estadístico, la variable se utiliza cuando se registra la medida real de una característica de calidad, como una dimensión expresada en micras, miligramos, milímetros, etc.
- Cuando sólo se anota el número de artículos " que pasan o que no pasan" ciertas condiciones específicas, se dice que el control es llevado mediante atributos; por ejemplo, el color de una tela para tapizar automóviles puede ser el deseado o no, el barniz exterior de una pieza de mueblería presenta o no una apariencia satisfactoria, un punto de soldadura forma o no una protuberancia en la hojas, etc.

Las gráficas de control más utilizadas son las siguientes:

Por variables:

- \bar{X} - R Medias y Rangos
- M- R Medianas y Rangos
- x - R Lecturas individuales y Rangos

2.- Otras Herramientas Estadísticas.

Círculos de Calidad.

Es un equipo de trabajo que se forma para identificar uno o varios problemas y proponen una solución a los mismos.

Las herramientas del círculo de calidad son:

- 1) Tormenta de ideas
- 2) Histograma
- 3) Diagrama de Pareto
- 4) Diagrama Causa-Efecto
- 5) Estratificación
- 6) Hojas de verificación
- 7) Papel Binomial

Tormenta de Ideas

El propósito de ésta herramienta es la de fomentar que todos los integrantes del grupo participen en la generación de ideas, ya sean problemas o soluciones a los mismos. Esta manera de trabajar tiene las siguientes reglas:

- Existe un moderador que brinda la palabra y anota todas las ideas en un rotafolios
- Se habla libremente, mientras una persona está hablando no se debe interrumpir.
- Todos deben hablar por lo menos una vez

El procedimiento para realizarlo es:

- 1.- Cada persona debe hablar por turno
- 2.- El líder registra las ideas en un rotafolio tal como se han expresado

3.- Nadie debe censurar ni interrumpir

4.- El grupo genera entre 35 y 40 ideas

5.- El grupo acepta corazonadas y no relacionadas

6.- Las ideas se desarrollan partiendo de las ideas de los demás (pensamiento lateral)

7.- Cuando todos los miembros del círculo han participado se termina la tormenta de ideas

Histogramas.

Un histograma es un tipo especial de gráfico que muestra la distribución de una serie de datos sujetos a medición, sirve para mostrar donde deben ser fabricados los productos dependiendo de las especificaciones. La frecuencia de ocurrencia de cualquier medida es representada por la altura de las columnas verticales de la gráfica. La forma o el contorno que toman las cimas de las columnas tienen un significado especial; una de estas formas es mejor conocida como "curva de distribución normal".

Los histogramas se emplean porque ayudan a resumir datos y a demostrar lo que de otra manera, sería difícil y prolongado de explicar en forma narrativa.

El histograma y el polígono de frecuencias representa gráficamente la distribución de frecuencias tanto absolutas como relativas; de ahí que:

- Un histograma de frecuencias absolutas es un conjunto de rectángulos (uno para cada clase), que tiene como base la amplitud del intervalo, y como altura la frecuencia absoluta del intervalo correspondiente.
- Un histograma de frecuencias relativas es un conjunto de rectángulos (uno para cada clase), que tiene como base la amplitud del intervalo, y como altura la frecuencia relativa del intervalo correspondiente.

- Un polígono de frecuencias (absolutas o relativas), es un conjunto de segmentos lineales que unen a los puntos medios de las bases superiores de cada rectángulo del histograma de frecuencias correspondientes.

Al construir las gráficas de las distribuciones de frecuencias se utiliza en el eje vertical, la escala adecuada a las frecuencias, y en el horizontal, la adecuada a las unidades en las que están expresados los datos del ejemplo en consideración.

Usos principales del histograma.

- Descubrir anomalías en un proceso al observar la forma de la curva. La distribución o proceso normal es una curva, que tiene la forma de campana. Los procesos que no son normales tienen distribuciones que no están dispuestas uniformemente dentro de ambos lados del valor promedio.
- Comparar los resultados de las muestras con los resultados deseados mostrados en la especificación de fabricación, para determinar si la distribución es o no normal.
- Identificar y separar los factores contribuyentes dentro del proceso. (Puede que sean el resultado de máquinas múltiples, turnos múltiples, procedencia de los materiales o variación de la fuerza de trabajo).

Diagramas de Pareto.

No todos los problemas que enfrenta la industria tienen la misma importancia; algunos son más importantes que otros, la diferencia radica cuando se afirma que no es posible resolver todos los problemas al mismo tiempo.

Cuando se dice que hay que asignar prioridades a los problemas según su importancia, se habla de los componentes críticos, de los cuellos de botella, etc.; se está reconociendo que no todas las cosas tienen la misma importancia, que hay unos pocos vitales y muchos triviales.

En el trabajo cotidiano se presentan una serie de problemas que requieren ser solucionados, si deseamos saber cual es el problema más importante se debe elaborar un diagrama de Pareto, el cual representa la existencia del fenómeno de

los pocos vitales y muchos triviales tal como se aplican a la esfera local de actividad.

Un diagrama de Pareto es una forma especial de gráfica de barra vertical o de columna, en las que las clasificaciones de datos se arreglan en orden descendente de izquierda a derecha.

Los diagramas de Pareto son utilizados cuando hay que dirigir la atención a problemas de manera sistemática. Este diagrama puede mostrar cuales son los peores problemas dando prioridad por medio del análisis a lo que se necesite solucionar primero; en pocas palabras se utiliza para revelar el principal problema.

Puede que existan muchas clasificaciones, sin embargo, solamente dos o tres factores son los principalmente responsables, por lo tanto, las acciones correctivas deberán comenzar con los factores principales.

Usos principales de un diagrama de Pareto.

Algunos de los datos que pueden ser empleados en un diagrama de Pareto son:

1). Calidad de los productos.

- | | |
|-------------------------------|-------------------|
| a). Número de defectos. | e). Máquinas. |
| b). Pérdidas por desperdicio. | f). Operarios. |
| c). Procesos. | g). Reclamaciones |
| d). Materiales. | h). Retrabajos. |

2). Tiempo.

- a). Tiempo de operación para cada paso de fabricación.
- b). Tiempos muertos por paros de máquinas.

3). Seguridad del personal.

- a). Índice y causas principales de accidentes.

Diagrama Causa - Efecto.

El diagrama causa-efecto es una de las técnicas de análisis para la solución de problemas. Por su forma recibe el nombre de espina o esqueleto de pescado, en el cual la espina dorsal o central constituye el camino que lleva a la cabeza del pescado, que es donde se coloca el problema, defecto o la situación que se pretende analizar, y subcausas que contribuyen al efecto que se analiza de un proceso específico cualesquiera que éste sea.

Los diagramas causa-efecto se trazan para ilustrar con claridad las diversas causas que afectan a un resultado, clasificándolas y relacionándolas de una manera organizada. Un diagrama de pescado satisfactorio, se considera a aquel que logra el objetivo de encontrar la causa de un problema determinado.

El objetivo fundamental de este tipo de técnica, como ya se dijo, es detectar las causas y la dispersión en las características de calidad y la medida en que afectan. En algunos casos una causa suele derivarse de numerosos elementos complejos, y si no se tiene suficiente cuidado al relacionarlos, el diagrama puede resultar demasiado complicado. De la misma manera si un diagrama reúne cinco o seis causas, aún teniendo una forma correcta, podrá considerarse como un diagrama satisfactorio.

Una vez que se determine la causa más probable de un problema, deberá ser verificada en el campo; si esa no fue la causa real, debe revisarse detalladamente el análisis, repitiendo el proceso de verificación hasta que solucione el problema. Durante este proceso es conveniente tomar en cuenta lo siguiente:

- No se tome ninguna acción sobre varias causas al mismo tiempo. Al completar el diagrama, pueden considerarse los puntos siguientes para la solución de un problema:

- 1) Deben compararse todas las causas posibles que se hayan notado con la operación de los procesos.
- 2) Identificar el grado de severidad que las causas tengan en el efecto.
- 3) Poner la mejor ejecución una vez que exista acuerdo sobre la solución.
- 4) Exhibir el diagrama para su referencia.

- 5) Corregir los diagramas conforme se encuentren y resuelvan las soluciones.
- 6) Continuar en busca de soluciones que no se hayan encontrado.

Usos principales de un diagrama Causa - Efecto.

Este diagrama puede ser utilizado para solucionar cualesquiera de los problemas que se presenten en la empresa, ya sea administrativo u operacional; como ejemplos podemos citar algunas áreas en donde la aplicación de esta técnica puede conseguir buenos resultados:

- | | |
|--------------------|-----------------------------|
| a). Ventas. | e). Mantenimiento. |
| b). Mercadotecnia. | f). Almacenes. |
| c). Producción. | g). Métodos. |
| d). Calidad. | h). Ing. del Producto, etc. |

Estratificación.

Es una gráfica en la que se representan los factores que afectan la calidad agrupados por características similares y de acuerdo al impacto en los resultados. La diferencia principal con el diagrama de Pareto es que los factores se agrupan en estratos.

Hojas de Verificación.

La información que proporcionan las hojas de verificación es muy valiosa si se considera que de las observaciones y datos de condiciones anotados en ellas, se puede discernir si algún punto en las diferentes gráficas de control son debidos a causas asignables de variación y detectar a la causa de esta variación.

IV. DESCRIPCION DEL PROCESO PRODUCTIVO.

La producción de Plastificantes especiales en Grupo Primex (lugar donde se desarrolla el presente trabajo) se lleva a cabo en un Reactor de 25 metros cúbicos de capacidad nominal con las siguientes características:

Material: Acero Inoxidable 304

Agitador: Tipo Propela con velocidad constante y 125 rpm

Calentamiento: Medias Cañas con Aceite Térmico a 280 grados Celcius
Serpentín interno de 2 pulgadas con Vapor Saturado de 7 Kg

Enfriamiento: Serpentín interno de 2 pulgadas con Agua de Enfriamiento proveniente de Torre de Enfriamiento de circuito abierto de tiro inducido con delta de temperatura de 5 grados Celcius.
Temperatura promedio anual: 18 grados Celcius

Equipos Auxiliares:

Columna de Destilación: Columna empacada con anillos rashig

Condensador: De tipo Tubo y Coraza inclinado, de acero inoxidable 304, enfriado con agua proveniente de la Torre.

Decantador: De tipo horizontal, de acero inoxidable 304, con mampara vertical, de baja velocidad.

Existe la infraestructura para transportar por medio de tuberías individuales y bombas cada uno de los alcoholes que se utilizan así como para los distintos plastificantes que se producen.

En el caso de los sólidos, anhídrido ftálico, ácido adípico y anhídrido trimelítico se cuenta con un polipasto de capacidad de hasta 2 toneladas para efectuar su carga a través de supersacos de 1 tonelada de capacidad. Además de esto se cuenta también para el caso exclusivamente del anhídrido ftálico de un tanque donde se puede recibir éste material en estado líquido, donde se almacena y se puede bombear directamente al Reactor de 25 metros cúbicos.

Todos éstos aditamentos permiten que las Operaciones Unitarias que a continuación se describen se realicen en el mismo Reactor evitando que se pierda tiempo en el traslado del producto de un equipo a otro.

Descripción de las Operaciones Unitarias.

Carga.

El reactor se carga con las siguientes Materias Primas:

"A" : Alcohol de alto peso molecular. En el presente trabajo se usan tres tipos de alcoholes distintos: 2etilhexanol, isodecanol y tridecanol.

"B" : Esta materia prima le proporciona las características de especificidad al plastificante y además se usa como reactivo limitante en el proceso. Para el presente trabajo se usan 2 anhídridos, ftálico y trimelítico, y un ácido adípico.

Con la combinación de éstas materias primas se producen 5 tipos distintos de plastificantes:

DOP	Dioctil ftalato
DIDP	Diisodecil ftalato
DTDP	Dtridecil ftalato
TOTM	Trioctil trimelitato
DOA	Dioctil adipato

La materia prima "A" se carga a temperatura ambiente de tanques acero al carbón recubiertos, mediante el uso de bombas centrífugas haciéndolo pasar por medidores de flujo tipo turbina para cuantificar y controlar la carga del alcohol.

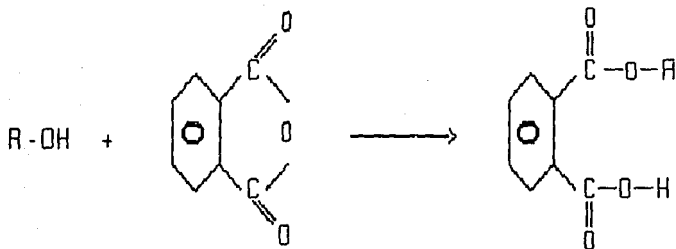
La materia prima "B" a temperatura ambiente se presenta en un estado físico sólido por lo cual su carga se realiza por medio de supersacos de 500 kgs utilizando la entrada hombre del reactor ayudándose de un polipasto para tal efecto. El único caso en que se agrega en estado líquido a una temperatura de 130 grados Celcius es cuando se carga el Anhídrido Ftálico desde el tanque de fusión.

Reacción.

Este tipo de plastificantes son diésteres orgánicos provenientes de la reacción de ácidos o anhídridos y alcoholes. Para su producción se realiza una reacción de diesterificación exotérmica y reversible, la cual se lleva a cabo en dos etapas principales.

La primera reacción que ocurre es irreversible, se lleva a cabo a temperatura ambiente y se considera como la etapa rápida de la reacción en general.

En esta primera etapa ocurre la monoesterificación del plastificante como se vé en el **Diagrama IV.1.**



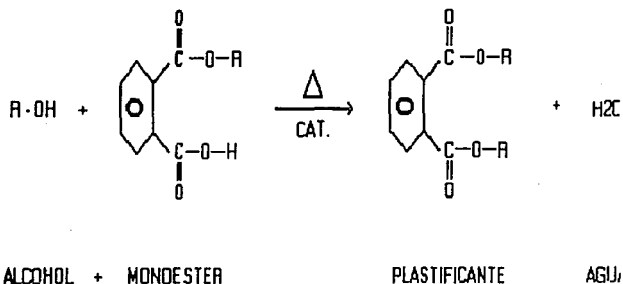
ALCOHOL

ANH. FTALICO

MONOESTER

La segunda fase es la etapa controlante de la reacción y para que se lleve a cabo se requiere de la presencia de catalizadores organometálicos cuyas temperaturas de activación oscilan entre los 180 y los 220 grados Celcius como temperaturas máximas.

La reacción de diesterificación es la siguiente, **Diagrama IV.2.**



La forma como se monitorea el curso de la reacción es mediante la titulación de las muestras que se extraen del reactor cada hora donde se cuantifica el monoéster que no se ha convertido a diéster.

Se dá por terminada la reacción cuando se obtiene una acidez reportada como ácido ftálico de 0.01meq/ml lo cual significa que se ha obtenido una conversión del 99 % de monoéster.

Neutralización.

Es necesaria una etapa de neutralización para eliminar el 1 % de monoéster remanente cuyo carácter es ácido.

Esta operación de neutralización se realiza con una solución de una base débil como lo es el Carbonato de Sodio, con el fin de evitar reacciones violentas de neutralización que conlleven a una pérdida de eficiencia y demérito en la Calidad del producto.

Aprovechando la inmiscibilidad del Plastificante y a su menor densidad con respecto al agua es suficiente únicamente con agregar la solución de soda ash con agitación, dándole un tiempo de reposo suficiente para la separación de fases y finalmente decantar la solución acuosa por la parte inferior del Reactor.

DECANTACION.

Una vez que se le dá el tiempo suficiente de reposo para la separación de fases, se decanta la fase pesada, que en éste caso es el agua, por la descarga del reactor localizada en la parte inferior. En ésta operación el operador se ayuda de una mirilla que funciona como sensor de la separación plastificante-agua.

DESTILACION.

Esta es la última operación unitaria que se lleva a cabo en el reactor y el objetivo es el de extraer el exceso de alcohol que se agrega desde un principio para que la reacción se despaze a productos. En esta operación se cierra el retorno de alcohol al reactor y únicamente se utiliza la columna de destilación para enfriar el alcohol extraído y enviarlo a tanques de recuperación para su posterior uso en lotes del mismo plastificante.

Las condiciones de operación en ésta etapa son:

Temperatura: 180 grados celcius

Presión manométrica : 28 pulgadas de mercurio de vacío

Se dá por terminada la destilación una vez que se alcanza el punto de flama que se especifica para cada plastificante. Esta es una medida indirecta del contenido residual de alcohol en el plastificante. Lo deseable es que el producto tenga el punto de flama más alto posible para que no contenga alcohol lo cual es un problema para las aplicaciones del plastificante.

TRASVASE.

Se enfría el plastificante hasta 90 grados celcius después de la destilación, y se trasvasa el mismo mediante bombas centrífugas a tanques de acero al carbón donde se efectúan las siguientes operaciones.

Aprovechando la inmiscibilidad del Plastificante y a su menor densidad con respecto al agua es suficiente únicamente con agregar la solución de soda ash con agitación, dándole un tiempo de reposo suficiente para la separación de fases y finalmente decantar la solución acuosa por la parte inferior del Reactor.

DECANTACION.

Una vez que se le dá el tiempo suficiente de reposo para la separación de fases, se decanta la fase pesada, que en éste caso es el agua, por la descarga del reactor localizada en la parte inferior. En ésta operación el operador se ayuda de una mirilla que funciona como sensor de la separación plastificante-agua.

DESTILACION.

Esta es la última operación unitaria que se lleva a cabo en el reactor y el objetivo es el de extraer el exceso de alcohol que se agrega desde un principio para que la reacción se despaze a productos. En esta operación se cierra el retorno de alcohol al reactor y únicamente se utiliza la columna de destilación para enfriar el alcohol extraído y enviarlo a tanques de recuperación para su posterior uso en lotes del mismo plastificante.

Las condiciones de operación en ésta etapa son:

Temperatura: 180 grados celcius

Presión manométrica : 28 pulgadas de mercurio de vacío

Se dá por terminada la destilación una vez que se alcanza el punto de flama que se especifica para cada plastificante. Esta es una medida indirecta del contenido residual de alcohol en el plastificante. Lo deseable es que el producto tenga el punto de flama más alto posible para que no contenga alcohol lo cual es un problema para las aplicaciones del plastificante.

TRASVASE.

Se enfría el plastificante hasta 90 grados celcius después de la destilación, y se trasvasa el mismo mediante bombas centrífugas a tanques de acero al carbón donde se efectúan las siguientes operaciones.

TRATAMIENTO.

Si al término de la producción del plastificante no cumple con la especificación de color en escala Pt-Co debido a la formación de grupos cromóforos que le imparten un color amarillento, se adiciona carbón activado de 75 micras en estos tanques y se recirculan en filtros prensa hasta obtener el color deseado.

FILTRACION.

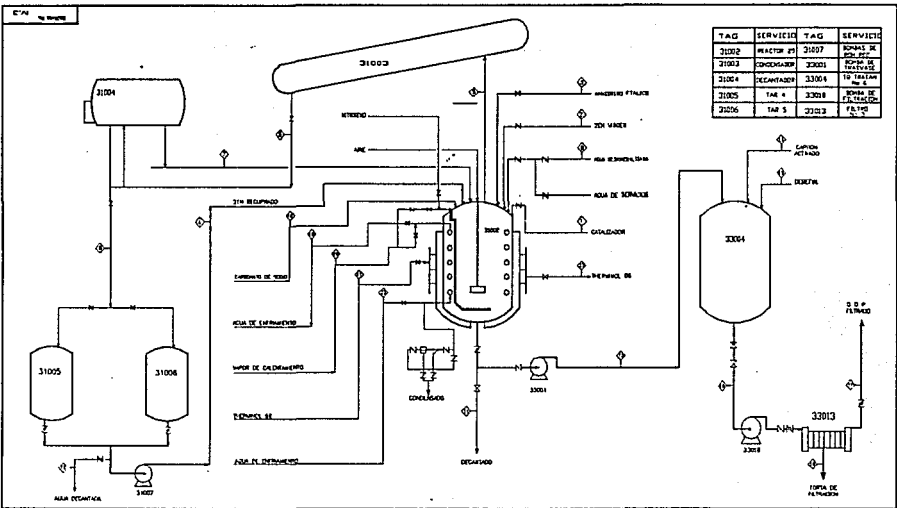
Para la operación unitaria de la filtración se utilizan filtros de tipo prensa con una presión de operación de 280 kg/cm² y bombas de desplazamiento positivo con una presión de descarga de 5 kg/cm², cuyo objetivo es el de remover partículas sólidas que provienen de las materias primas empleadas en el proceso de fabricación así como de eliminar el carbón activado en caso que se haya adicionado.

Elemento Filtrante: Lonas

Filtro ayuda : Tierras Diatomáceas

Placas : 24

En el **Diagrama IV.3** se muestra el proceso de fabricación de Plastificantes.



PLANO DE REF.	REV.	DESCRIPCION	FECHA	POR	VERBO

**GRUPO
PRIMEX**

GRUPO DE
PROYECTOS

GRUPO DE
ANALISIS

GRUPO DE
DISEÑO

GRUPO DE
CONSTRUCCION

GRUPO PRIMEX S.A. DE C.V.

SECCION DE
INGENIERIA DE C.P. (EN PLANOS DE PROYECTOS)

PROYECTO: / 100 M³ / 100 M³

FECHA: / 100 M³ / 100 M³

ESTADO: / 100 M³ / 100 M³

FECHA: / 100 M³ / 100 M³

FECHA: / 100 M³ / 100 M³

FECHA: / 100 M³ / 100 M³

V. CRITERIOS DE SELECCION DE VARIABLES A CONTROLAR.

Como ya se vió en el capítulo anterior, la eficiencia de un Plastificante diéster está dada por la relación entre la cantidad de producto que se obtiene y la cantidad de materias primas que se agregan al reactor. Esta relación se multiplica por un factor que compensa la cantidad de agua que se produce en la reacción, la cuál no tiene un valor comercial por lo que se trata de un subproducto que no juega un papel en la eficiencia. Finalmente el resultado de éste producto es lo que se conoce como eficiencia total del lote.

Pero en éste capítulo se va a tratar de que en realidad existen tres formas distintas de calcular la eficiencia de un Plastificante:

1) La primera es la que se llama **Eficiencia Combinada**.

Eficiencia Combinada = (Kgs producidos de Plastificante)/(Kgs Alcohol "A" + kgs "B") * Factor

En donde:

A = Oxalcoholes como por ejemplo: Isodecanol, Tridecanol, 2etilhexanol, etc.

B = Anhídrido Ftálico, Acido Adípico, Anhídrido Trimelítico.

Factor = Es el factor que estequiométricamente nos ayuda a obtener la eficiencia exclusiva del Plastificante como producto, excluyendo al agua de ésta.

Dependiendo del producto que se quiera fabricar se combina el alcohol "A" con el respectivo reactivo "B".

El factor finalmente es una relación de los pesos moleculares del plastificante y las materias primas. Los factores para los distintos Plastificantes se enlistan a continuación y para efectos de éste trabajo se trabaja únicamente con DIDP.

Plastificante	Factor
DIDP	1.0403
DTDP	1.0339

DOA 1.0973

TOTM 1.0659

2) La segunda eficiencia que se va a tratar aquí es la **Eficiencia en base Alcohol**.

Eficiencia en base Alcohol = (kgs producidos de Plastificante)/(Kgs Alcohol "A") * PM "A"/PM Plastif.

En donde "A" y "B" siguen siendo como en el primer inciso.

PM de "A" = Es el peso molecular del Alcohol en cuestión

PM de Plastif. = Es el peso molecular del Plastificante

Para éste caso a la relación de pesos moleculares se le llamará Factor 2 y para los distintos plastificantes es como sigue:

Plastificant Factor 2

DIDP 0.7085

DTDP 0.7547

DOA 0.7027

TOTM 0.7143

3) La tercera y última eficiencia que se tratará es la **Eficiencia en base "B"**.

La eficiencia en base "B" = (kgs producidos de Plastificante)/(kgs de "B") * PM "B"/ PM Plastificante

En donde:

PM de "B" = Es el peso molecular del Anh. Ftálico, Acido Adípico o Anh. Trimelítico.

PM de Plastif. = Es el peso molecular del Plastificante

A ésta relación de pesos moleculares se le denominará Factor 3 y para éste trabajo es como sigue:

Plastificante	Factor 3
DIDP	0.3318
DTDP	0.2792
DOA	0.3946
TOTM	0.3516

Como se puede deducir éstas dos últimas eficiencias proporcionan una mejor información del comportamiento de las materias primas por sí solas y no se esconden efectos que combinados hacen aparecer a la eficiencia como aceptable o en control cuando en realidad no lo es así.

Por ésta razón es que se escoge a la eficiencia en base a "B"(en base a Anhídrido Ftálico) como parámetro de medición del Control Estadístico del Proceso que se va a proponer.

El siguiente paso es el de determinar mediante un Diagrama de Causa-Efecto cuáles son las variables por las que se pierde o reduce la Eficiencia del Plastificante.

DIAGRAMA CAUSA - EFECTO

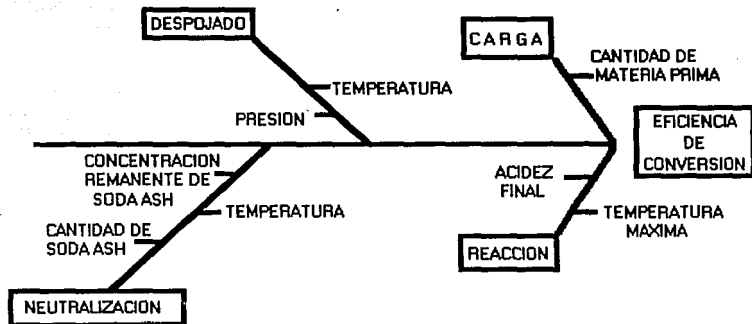


DIAGRAMA V.1

Haciendo un análisis de las variables de proceso que afectan o pudieran tener un efecto favorable o desfavorable en la eficiencia de conversión, se enlistan a las siguientes variables de proceso:

- 1) Cantidad de materia prima "A" y "B" consumida
- 2) Temperatura máxima de reacción.
- 3) Acidez final de reacción
- 4) Temperatura de despojado
- 5) Presión de vacío en el despojado
- 6) Cantidad de soda ash que se agrega para neutralizar.
- 7) Concentración remanente de soda ash

8) Temperatura de neutralización

Las razones por las cuáles se piensa que estas variables tienen efecto sobre la eficiencia de conversión, son las siguientes:

1) Cantidad de materia prima consumida.- Se cuenta con una capacidad de diseño del reactor de 25 metros cúbicos y una capacidad real de producción de 16 metros cúbicos aproximadamente, por lo que al variar la cantidad de materia prima que se agrega al reactor afecta el tiempo de reacción del plastificante al modificarse el balance que se tiene para la transferencia de calor y agitación óptima.

Por otro lado para tener una medición lo más exacta posible de la eficiencia se escoge medir los efectos de las demás variables que a continuación siguen con respecto a la eficiencia en base "B" que es el reactivo limitante de la reacción y para tal efecto debemos medir la cantidad que se consume del reactivo "B".

2) Temperatura máxima de reacción.- El catalizador empleado en las reacciones de diesterificación es un compuesto organometálico con un grupo funcional de titanio. Este tipo de catalizador tiene un intervalo de temperatura óptimo que teóricamente oscila entre los 220 y 240 °C, arriba de esta temperatura el catalizador comienza a degradarse y por lo tanto disminuye la eficiencia de conversión para el tiempo destinado a la reacción.

3) Acidez final de reacción.- Como ya se ha comentado la acidez de un plastificante es una medida indirecta de la cantidad de monoéster ácido que no ha reaccionado. Por lo tanto a mayor acidez final de reacción, menor conversión se observará.

4) Temperatura de despojado.- La operación de despojado se denomina a la última fase de la reacción donde se le aplica vacío al reactor para desplazar el equilibrio de la reacción hacia productos. A mayores temperaturas en ésta operación se corre el riesgo de que el plastificante se volatilice junto con el alcohol.

5) Presión de vacío en el despojado.- El efecto de esta variable es similar al de la temperatura de despojado que se describe en el punto anterior.

6) Cantidad de soda ash.- Como ya se explicó anteriormente la neutralización del plastificante se lleva a cabo con carbonato de sodio en solución. La cantidad de

soda ash que se agrega al plastificante tiene el objetivo de neutralizar únicamente el monoéster ácido que no ha reaccionado; sin embargo por experiencia operativa al agregar la cantidad estequiométrica requerida no se logra la neutralización al 100 % , por lo que es necesario agregar un exceso desde el principio para lograr la neutralización.

Al agregar un exceso de soda ash al plastificante, a 80 grados centígrados y presión atmosférica se corre el riesgo de que el plastificante se saponifique produciéndose un jabón de sodio, disminuyendo en consecuencia la eficiencia de conversión.

7) **Concentración remanente de soda ash.**- Con esta variable se pretende eliminar el efecto de la cantidad de soda ash que se requiere estequiométricamente para neutralizar el monoéster ácido no reaccionado, y conocer la cantidad de soda ash que se tiene en exceso que pudiera ocasionar el efecto de saponificación del plastificante.

8) **Temperatura de neutralización.**- A menor temperatura de neutralización se incrementa la diferencia de densidades entre el plastificante y el agua por lo que la separación de fases es más eficiente, además de que a altas temperaturas de neutralización se favorece la reacción de saponificación. Por lo tanto con estos dos efectos, a menor temperatura de neutralización mayor es la eficiencia de conversión.

Con estas variables se realizan mediciones en campo y los resultados de éstas se presentan en el capítulo siguiente.

VI. CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO EN CAMPO.

El objetivo de un Control Estadístico de Proceso es el de reducir la variación en las variables más importantes de una Planta. El realizar ésto dá como consecuencia mejores resultados en eficiencia y una mejor Calidad. Asimismo nos permitirá usando un diseño planeado, experimentar con menos lotes y por lo tanto con menos costos de experimentación. Por lo tanto cuando el Proceso global esté en control, los productos finales también estarán en control.

La definición de un proceso bajo un Control Estadístico de Proceso es un Proceso donde se mide el cumplimiento con la Calidad, se compara la Calidad contra las especificaciones, se toman acciones correctivas o preventivas si existen diferencias significativas y no se toman acciones si únicamente se presentan variaciones normales del Proceso.

Todos los empleados desde la Gerencia hasta el más nuevo de ellos deben conocer cuán importante es para nuestros Clientes el que nosotros produzcamos productos con Calidad y con un Proceso dentro de control.

Entrando ya a lo que se refiere a la Planta de Plastificantes, objeto del presente trabajo, el personal operativo de la Planta debe estar consciente que lo que se busca con cada lote que se produce es:

- 1) Producir un Plastificante de Calidad.
- 2) Obtener datos e información que ayuden a incrementar la eficiencia del Proceso.

Todos los datos deben ser lo más precisos posibles. Cada producción de lote deberá apegarse a las condiciones de operación establecidas de acuerdo al diseño que se propone tomando en cuenta que la Calidad del Producto es prioritaria a cualquier condición. Es decir, si no es posible producir un lote de Calidad con las condiciones especificadas, el operador tiene la libertad de modificarlas para lograr este objetivo. En este caso las condiciones reales de operación deben quedar registradas en la hoja de datos para evitar obtener conclusiones equivocadas de ellos.

Las mediciones en campo de las variables de proceso que se mencionan en el capítulo anterior se presentan en la **Tabla VI.1**, donde se observan los resultados

que se obtuvieron en la fabricación de una serie de lotes de DIDP. A partir de esta tabla se realizaron 8 gráficas, una por cada variable, donde se muestran los efectos de estas variables sobre la eficiencia de conversión "B" o eficiencia en base Anhídrido Ftálico.

En la **Tabla VI.2** se puede observar que los datos se presentan en orden creciente con respecto a la eficiencia en base Anhídrido Ftálico con el objeto de tener una mejor idea de los efectos que provocan las distintas variables sobre la eficiencia.

Al analizar estas gráficas se observa que las únicas variables que presentan una tendencia definida sobre la eficiencia de conversión son:

- 1) **Máxima temperatura de reacción** y
- 2) **Temperatura de neutralización.**

Las otras 6 variables presentan un comportamiento indefinido o independiente del resultado de la eficiencia por lo que no se consideran como variables útiles para que intervengan en un Control Estadístico de Proceso.

Ver **Tablas VI.1, VI.2** y las **Gráficas G1,G2,G3,G4,G5,G6,G7 y G8.**

Los resultados de las variables **Temperatura Máxima de Reacción** y **Temperatura de Neutralización** se discutirán en el siguiente capítulo.

TABLA VI.1

Control Estadístico del Proceso en Campo
Efecto de las Variables sobre la Eficiencia

TABLA VI.1

Lote	Producción	A.F. Consumido	Eficiencia base A.F.	T.Máx.Reacción	Acidez Final	T.Despojador	P. Despojador	Soda Ash	Conc. Remanente	T. Neutralización
	Kg	Kg	%	Celcius	meq/lt	Celcius	mm de Hg	Kg	Kg/Lt	Celcius
1725-2	13984	4865	85.84%	225	0.019	221	51.6	65	0.08%	95
2725-2	13881	4810	86.18%	224	0.015	200	51.6	50	0.10%	96
3725-2	15648	4840	96.55%	231	0.015	225	585	55	0.02%	73
4725-2	15405	4800	95.84%	232	0.019	225	51.6	65	0.05%	78
5725-2	14965	4790	93.42%	233	0.025	231	51.6	70	0.13%	82
6725-2	14847	4835	91.70%	234	0.017	231	51.6	65	0.01%	85
7725-2	14350	4775	89.74%	237	0.035	237	51.6	100	0.00%	90
8725-2	14516	4850	89.38%	225	0.017	215	51.6	50	0.06%	90
9725-2	14019	4800	87.22%	225	0.01	224	51.6	50	0.05%	90
10725-2	15282	4775	95.57%	229	0.021	228	51.6	70	0.07%	78
1825-2	14695	4860	90.29%	235	0.017	231	51.6	65	0.06%	85
2825-2	15195	4810	94.34%	233	0.016	230	51.6	65	0.12%	80
3825-2	14655	4450	96.34%	237	0.016	210	585	65	0.08%	70
4825-2	14574	4880	89.18%	225	0.01	170	51.6	40	0.14%	90
5825-2	14626	4810	90.80%	226	0.013	225	51.6	50	0.02%	88
6825-2	14434	4800	89.80%	236	0.013	225	51.6	48	0.08%	90
7825-2	15111	4835	93.33%	226	0.016	223	51.6	52	0.12%	80
8825-2	14488	4825	89.67%	237	0.016	235	305.6	60	0.09%	90
9825-2	14943	4810	92.77%	234	0.018	130	51.6	60	0.08%	83
10825-2	14943	4850	92.01%	226	0.01	221	51.6	45	0.12%	85
11825-2	14565	4800	90.61%	236	0.015	120	51.6	50	0.16%	88
12825-2	14551	4825	90.06%	235	0.0079	220	331	25	0.08%	88
13825-2	14302	4800	88.98%	226	0.013	220	51.6	45	0.00%	90
14825-2	15558	4809	96.61%	229	0.014	226	585	60	0.13%	75
1925-2	15675	4850	96.51%	229	0.012	227	51.6	50	0.11%	72
11025-2	15243	4805	94.73%	234	0.0087	228	51.6	35	0.06%	78
21025-2	15577	4825	96.41%	230	0.018	227	51.6	50	0.00%	73
31025-2	15343	4825	96.81%	233	0.0058	220	51.6	16	0.10%	73
41025-2	15148	4800	94.24%	228	0.017	223	51.6	60	0.00%	80

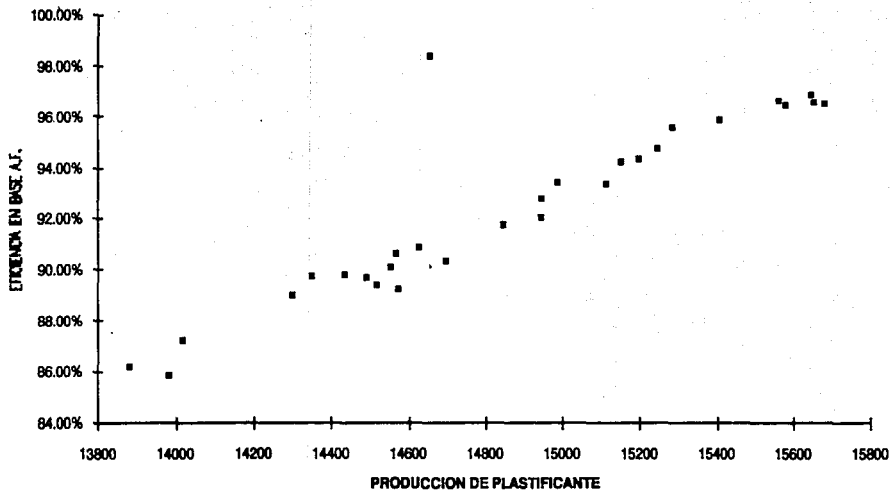
TABLA VI.2

Control Estadístico del Proceso en Campo
Efecto de las Variables sobre la Eficiencia

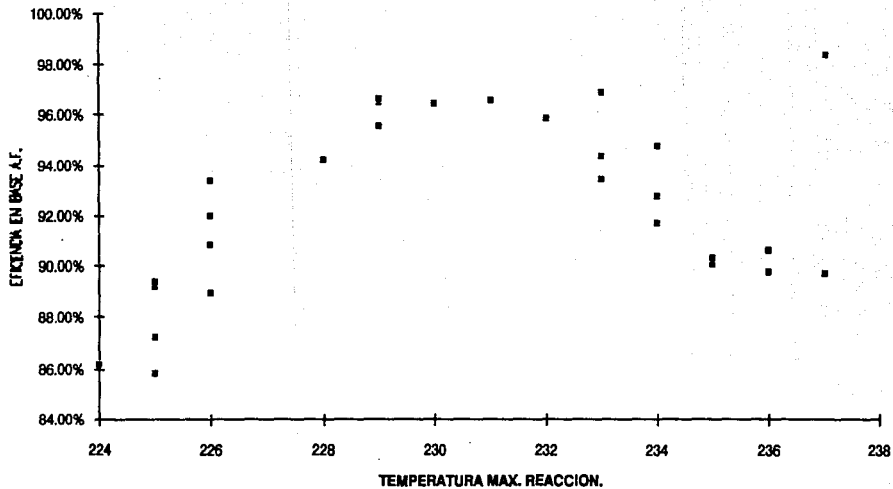
TABLA VI.2

Lote	Producción Kg	A.F. Consumido Kg	Eficiencia base A.F. %	T.Máx.Reacción Celcius	Acidez Final meq/ft	T.Despojador Celcius	P. Despojador mm de Hg	Soda Ash Kg	Conc. Remanente Kg/Li	T. Neutralización Celcius
1725-2	13984	4865	85.84%	225	0.019	221	51.6	65	0.08%	95
2725-2	13881	4810	86.18%	224	0.015	200	51.6	50	0.06%	95
9725-2	14019	4800	87.22%	225	0.01	224	51.6	50	0.08%	90
13825-2	14302	4800	88.98%	226	0.013	220	51.6	45	0.08%	90
4825-2	14574	4880	89.18%	225	0.01	170	51.6	40	0.00%	90
8725-2	14516	4850	89.38%	225	0.017	215	51.6	50	0.12%	90
8825-2	14488	4825	89.67%	237	0.016	235	305.6	60	0.01%	90
7725-2	14350	4775	89.74%	237	0.035	237	51.6	100	0.02%	90
6825-2	14434	4800	89.80%	236	0.013	225	51.6	48	0.16%	90
12825-2	14551	4825	90.06%	235	0.0079	220	331	25	0.07%	88
1825-2	14695	4860	90.29%	235	0.017	231	51.6	65	0.12%	85
11825-2	14565	4800	90.61%	236	0.015	120	51.6	50	0.14%	88
5825-2	14626	4810	90.80%	226	0.013	225	51.6	50	0.13%	88
6725-2	14847	4835	91.70%	234	0.017	231	51.6	65	0.08%	85
10825-2	14943	4850	92.01%	226	0.01	221	51.6	45	0.09%	85
9825-2	14943	4810	92.77%	234	0.018	130	51.6	60	0.08%	83
7825-2	15111	4835	93.33%	226	0.016	223	51.6	52	0.05%	80
5725-2	14985	4790	93.42%	233	0.025	231	51.6	70	0.10%	82
41025-2	15148	4800	94.24%	228	0.017	223	51.6	60	0.06%	80
2825-2	15195	4810	94.34%	233	0.018	230	51.6	65	0.11%	80
11025-2	15243	4805	94.73%	234	0.0087	228	51.6	35	0.05%	78
10725-2	15282	4775	95.57%	229	0.021	228	51.6	70	0.02%	78
4725-2	15405	4800	95.84%	232	0.019	225	51.6	65	0.06%	78
21025-2	15577	4825	96.41%	230	0.018	227	51.6	50	0.13%	73
1925-2	15675	4850	96.51%	229	0.012	227	51.6	50	0.10%	72
3725-2	15648	4840	96.55%	231	0.015	225	585	55	0.00%	73
14825-2	15558	4809	96.61%	229	0.014	226	585	60	0.00%	75
31025-2	15643	4825	96.81%	233	0.0058	220	51.6	16	0.12%	73
3825-2	14655	4450	98.34%	237	0.016	210	585	65	0.00%	70

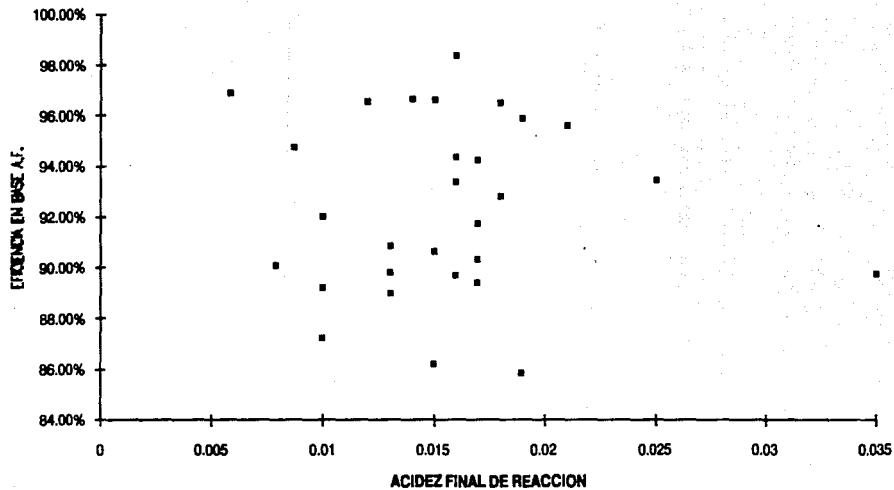
GRAFICA 1



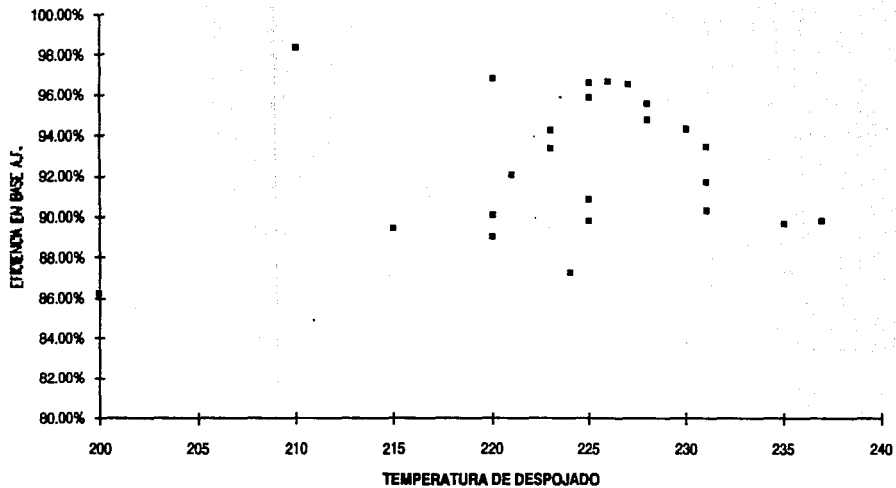
GRAFICA 2



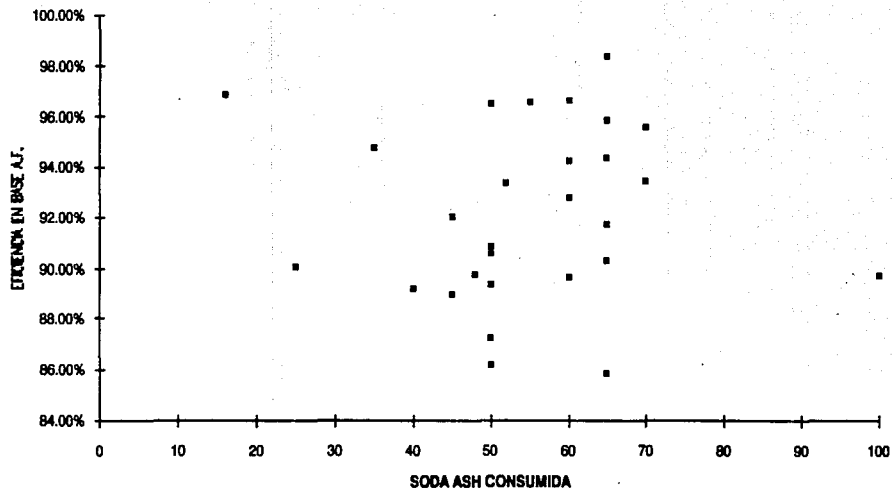
GRAFICA 3



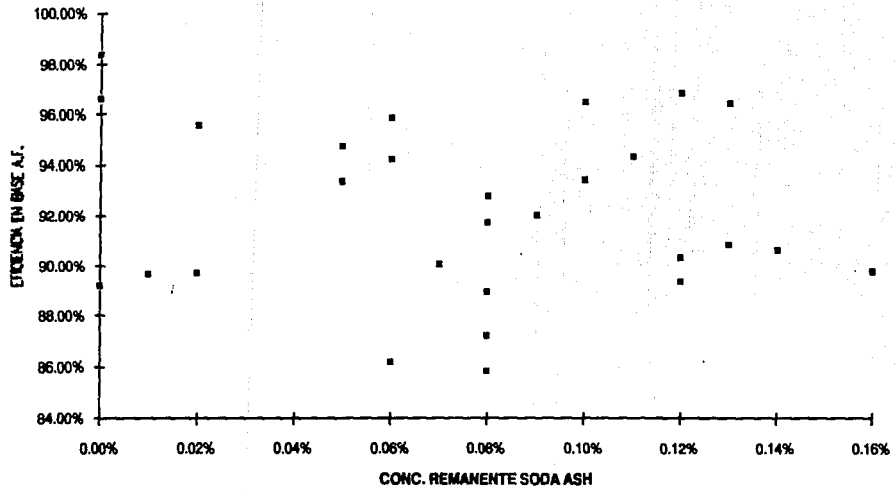
GRAFICA 4



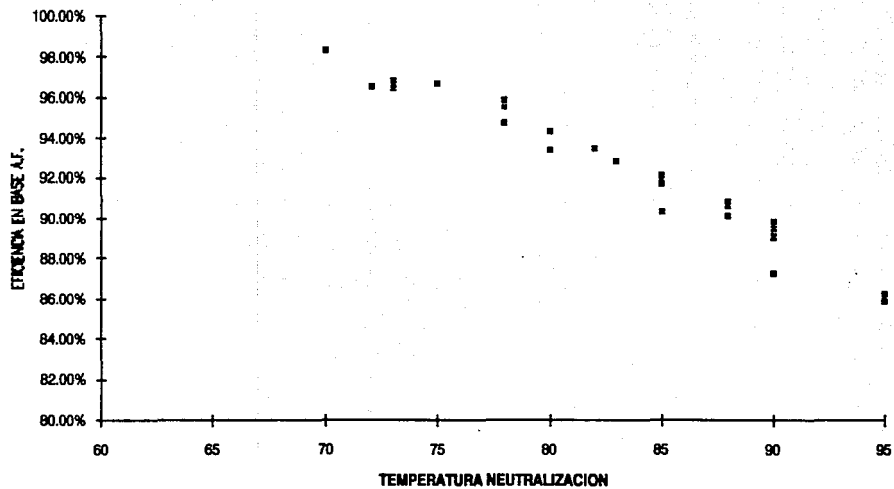
GRAFICA 6



GRAFICA 7



GRAFICA 8



VII. ANALISIS DE RESULTADOS.

Antes de calcular los límites de control de las variables que presentan una correlación definida con la eficiencia de conversión se deben escoger los valores de estas variables que realmente contribuyan a una mejora en la eficiencia del proceso.

Para tal fin se propone encontrar el grupo de datos de eficiencia cuya media sea estadísticamente superior a la media de la población.

El procedimiento es el siguiente:

1) Se plantea una hipótesis nula o cero en la que la media de la población y la media de la muestra son iguales; siendo la hipótesis alternativa que la media de la muestra sea estadísticamente mayor a la de la población.

$$H_0: u = u_0$$

$$H_1: u > u_0$$

Para rechazar o aceptar estas hipótesis se utiliza la distribución de probabilidades "t" de Student, ya que estamos hablando de una población menor a 30 datos.

Los estimadores se calculan así:

$$t_p = \frac{\bar{X} - u}{S_{\bar{X}}}$$

En donde $S_{\bar{X}}$ es la desviación estándar de la muestra. Se trata de una distribución de medias.

2) La u_0 de la población históricamente es 95.0 %, se calcula la $S_{\bar{X}}$ para cada una de las muestras escogidas.

3) Se escoge un nivel de eficiencia , se calcula la media muestral que debe ser mayor a la media poblacional y se calcula la "t" práctica.

4) Se consulta la "t" de tablas para un nivel $\alpha = 1\%$ y $U = n-1$, donde n es el tamaño de la muestra que se selecciona.

5) Si la "t" práctica es menor que la "t" de tablas se acepta H_0 y por lo tanto la media poblacional y la muestral de eficiencia son estadísticamente iguales.

6) Se escoge un nuevo nivel superior de eficiencia y se realizan los pasos 3 al 5, hasta que se rechace H_0 .

Cuando se encuentra un valor de eficiencia donde H_0 se rechace, se realiza el cálculo una vez más con el valor de eficiencia intermedio entre los dos últimos niveles de eficiencia.

Los resultados de este procedimiento se muestran en la **Tabla VII.1** en donde se observa que el nivel de eficiencia mínimo donde se rechaza H_0 es de 94.5% para un tamaño de muestra de 9 datos con una media muestral igual a 96.37% .

TABLA VII.1

Nivel	Eficiencia mín. muestr.	n	\bar{X}	$S_{\bar{X}}$	S		Observaciones
					t_p	t_t	
$u_0 = 95.0\%$ (Media histórica de la población)					$S_{\bar{X}} = \frac{S}{n^{0.5}}$		
1	93	13	95.59	0.41	1.44	3.055	Acepta H_0
2	94	11	96.00	0.37	2.70	3.055	Acepta H_0
3	95	8	96.58	0.29	5.44	3.055	Rechaza H_0 Acepta H_1
4	94.5	9	96.37	0.33	4.15	3.055	Rechaza H_0 Acepta H_1

Esto quiere decir que los lotes con una eficiencia superior a 94.5% poseen una eficiencia significativamente mayor a la media de la población.

Sin embargo, todo lo anterior no sería válido si la distribución de frecuencias de la eficiencia no siguiera una curva Normal, por lo que en la **Tabla VII.2** se presenta la prueba de normalidad de la eficiencia utilizando la tabla **A.2.** de χ^2 cuadrada para tal efecto.

TABLA VII.2

Intervalo de Clase	O_i	e_i	$(O_i - e_i)^2 / e_i$
85.835 - 87.835	3	1.97	0.54
87.835 - 89.835	6	4.07	0.92
89.835 - 91.835	5	5.96	0.15
91.835 - 93.835	4	6.55	0.99
93.835 - 95.835	4	5.11	0.24
95.835 - 97.835	6	2.84	0.03
TOTAL	29		6.39

χ^2 práctica = 6.39

$\chi^2_{(k-p-1), \alpha} = \chi^2_{(4), 5\%} = 9.49$

Por lo tanto la hipótesis de normalidad se acepta y es válida la suposición de que los resultados de la eficiencia de conversión se distribuyen normalmente, con lo que los resultados de la **Tabla VII.1** también son ciertos estadísticamente.

Una vez hecho ésto ya se está en posición de calcular los Límites de Control de las variables que se encontraron con una correlación definida con respecto a la eficiencia de conversión.

La primera variable es la Temperatura Máxima de Reacción para la que se demostró mediante el procedimiento anterior que aquellas eficiencias superiores a 94.5% son significativamente mayores al promedio de la población. Los datos que cumplen con esta condición se muestran en la **Tabla VII.3** en la zona sombreada y en base a ellos se calculan los límites de control con un nivel de significación del 99.74%, que equivale a un intervalo de 6 s.

$$\bar{X} = 231.6 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad s = 2.74^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Límite superior de control : } \bar{X} + 3s = 231.6 + 3(2.74) = 239.82^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Límite inferior de control : } \bar{X} - 3s = 231.6 - 3(2.74) = 223.38^{\circ}\text{C}$$

Estos límites de control son los que se van a fijar en el proceso con el fin de obtener una mejora en la eficiencia de conversión y al mismo tiempo mantener en control al proceso.

La siguiente variable por definir los límites de control es la Temperatura de Neutralización. Observando la gráfica **G.8** se aprecia que la correlación de esta variable con la eficiencia de conversión es lineal con un coeficiente de correlación de 0.9589. Al realizar un ajuste de mínimos cuadrados se obtiene:

$$\text{Ordenada al origen} = 272.44$$

$$\text{Pendiente} = -2.05$$

El que la pendiente de la recta sea negativa se explica por el hecho de que a mayores temperaturas parte del plastificante se saponifica, disminuyendo la eficiencia de conversión.

Con los datos cuyas eficiencias son superiores a 94.5% se obtienen los límites de control para la temperatura de neutralización:

$$\bar{X} = 74.4^{\circ}\text{C}$$

$$s = 2.96^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Límite superior de control : } \bar{X} + 3s = 74.4 + 3(2.96) = 83.32^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Límite inferior de control : } \bar{X} - 3s = 74.4 - 3(2.96) = 65.56^{\circ}\text{C}$$

TABLA VII.3

Control Estadístico del Proceso en Campo
Efecto de las Variables sobre la Eficiencia

TABLA VII.3

Lote	Producción Kg	A.F. Consumido Kg	Eficiencia base A.F. %	T.Máx.Reacción Celcius	Acidez Final meq/lit	T.Despojajo Celcius	P. Despojajo mm de Hg	Soda Ash Kg	Conc. Remanente Kg/Lit	T. Neutralización Celcius
1725-2	13984	4865	85.84%	225	0.019	221	51.6	65	0.08%	95
2725-2	13881	4810	86.18%	224	0.015	200	51.6	50	0.06%	95
9725-2	14019	4800	87.22%	225	0.01	224	51.6	50	0.08%	90
13825-2	14302	4800	88.98%	226	0.013	220	51.6	45	0.08%	90
4825-2	14574	4880	89.18%	225	0.01	170	51.6	40	0.00%	90
8725-2	14516	4850	89.38%	225	0.017	215	51.6	50	0.12%	90
8825-2	14488	4825	89.67%	237	0.016	235	305.6	60	0.01%	90
7725-2	14350	4775	89.74%	237	0.035	237	51.6	100	0.02%	90
6825-2	14434	4800	89.80%	236	0.013	225	51.6	48	0.16%	90
12825-2	14551	4825	90.06%	235	0.0079	220	331	25	0.07%	88
1825-2	14695	4860	90.29%	235	0.017	231	51.6	65	0.12%	85
11825-2	14565	4800	90.61%	236	0.015	120	51.6	50	0.14%	88
5825-2	14626	4810	90.80%	226	0.013	225	51.6	50	0.13%	88
6725-2	14847	4835	91.70%	234	0.017	231	51.6	65	0.08%	85
10825-2	14943	4850	92.01%	226	0.01	221	51.6	45	0.09%	85
9325-2	14943	4810	92.77%	234	0.018	130	51.6	60	0.08%	83
7825-2	15111	4835	93.11%	226	0.016	223	51.6	52	0.05%	80
5725-2	14985	4790	93.42%	233	0.025	231	51.6	70	0.10%	82
41025-2	15148	4800	94.24%	228	0.017	223	51.6	60	0.06%	80
2825-2	15195	4810	94.34%	233	0.016	230	51.6	65	0.11%	80
11025-2	15352	4800	94.78%	234	0.008	228	51.6	45	0.05%	78
10725-2	15267	4800	95.37%	229	0.008	228	51.6	70	0.02%	78
4725-2	15402	4800	95.84%	225	0.005	220	51.6	65	0.06%	78
21025-2	15457	4800	96.41%	230	0.012	227	111.6	50	0.13%	78
1925-2	15675	4800	96.69%	229	0.008	227	51.6	50	0.10%	77
3725-2	15646	4800	96.55%	231	0.018	225	51.6	58	0.00%	76
14825-2	15568	4800	96.81%	229	0.014	228	51.6	60	0.00%	76
31025-2	15643	4825	96.81%	233	0.0058	229	51.6	30	0.12%	75
3825-2	14853	4800	96.34%	237	0.016	210	51.6	65	0.00%	70

VIII. CONCLUSIONES

Al término del presente trabajo se concluye lo siguiente:

1) Las variables que afectan de una manera definida a la eficiencia de conversión son la **Temperatura Máxima de Reacción** y la **Temperatura de Neutralización**.

2) En la primera de estas variables los datos experimentales concuerdan con la teoría de que el catalizador actúa de manera más eficiente dentro de un intervalo de temperaturas dado, en el que alcanza una temperatura mínima de activación, y por otro lado no se degrada por altas temperaturas.

3) En la segunda variable se observa también un comportamiento experimental cercano a la teoría propuesta en el que a mayores temperaturas, mayor es la saponificación del plastificante durante la etapa de neutralización y por lo tanto disminuye la eficiencia de conversión.

4) Las condiciones de operación para obtener eficiencias de conversión con una media superior a la de la población son:

Temperatura Máxima de Reacción : 223 °C — 240 °C

Temperatura de Neutralización : 65 °C — 83 °C

5) Los límites de control calculados para ambas variables aseguran que el 99.74% de los lotes fabricados con estas condiciones, obtendrán una eficiencia superior al 94.5%.

Con este punto se cumple el objetivo de encontrar las condiciones de proceso que mejoren la eficiencia de conversión validadas estadísticamente.

ANEXO

A.1

Distribució n "t" de Student

ν	A=0.1	A=0.05	A=0.02	A=0.01	A=0.001
1	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	1.943	2.447	3.143	3.707	5.595
7	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	1.860	2.306	2.896	3.355	5.401
9	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850

ANEXO

A.2

Distribución χ^2 Cuadrada

U	A=0.2	A=0.10	A=0.05	A=0.02	A=0.01
1	1.64	2.71	3.84	5.41	6.64
2	3.22	4.60	5.99	7.82	9.21
3	4.64	6.25	7.82	9.84	11.34
4	5.99	7.78	9.49	11.67	13.28
5	7.29	9.24	11.07	13.39	15.09
6	8.56	10.64	12.59	15.03	16.81
7	9.80	12.02	14.07	16.62	18.48
8	11.03	13.36	15.51	18.17	20.09
9	12.24	14.68	16.92	19.68	21.67
10	13.44	15.99	18.31	21.16	23.21
11	14.63	17.28	19.68	22.62	24.72
12	15.81	18.55	21.03	24.05	26.22
13	16.98	19.81	22.36	25.47	27.69
14	18.15	21.06	23.68	26.87	29.14
15	19.31	22.31	25.00	28.26	30.58
16	20.46	23.54	26.30	29.63	32.00
17	21.62	24.77	27.59	31.00	33.41
18	22.76	25.99	28.87	32.35	34.80
19	23.90	27.20	30.14	33.69	36.19
20	25.04	28.41	31.41	35.02	37.57

IX BIBLIOGRAFIA.

- 1) "Quality Productivity and Competitive Position" , W.E. Demming. Massachusetts Institute of Tecnology, Center for Advanced Engineering Study , Cambridge, MA.

- 2) "Control Estadístico de Calidad" L.E. Grant y R.S. Leavenworth, CECSA.

- 3) "La Calidad No Cuesta. El Arte de Cerciorarse de la Calidad" Philip Crosby, CECSA.

- 4) "Proceso para el mejoramiento de la Calidad" Curso de dirección, Philip Crosby Associates International. INC.

- 5) "Project Evaluation in the Chemical Process Industries" J. Frank Valle-Riestra. McGraw-Hill Book Company.

- 6) Apuntes de Control Estadístico de Proceso, Diplomado en Control Estadístico de Calidad. Facultad De Química U.N.A.M.