



300617

**UNIVERSIDAD LA SALLE**

22  
2oj

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

**"IMPLANTACION DEL CONTROL ESTADISTICO DE  
PROCESO EN UNA PLANTA DE ACIDO FOSFORICO  
TECNICO Y PURIFICADO"**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**

**INGENIERO QUIMICO**

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

**CLAUDIA SANCHEZ CISNEROS**

**DIRECTOR DE TESIS: ING. FERNANDO GARCIA MATA**

MEXICO, D. F.

1992



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.

## INDICE

## INTRODUCCION

## CAPITULO I. " GENERALIDADES "

- Descubrimiento y Desarrollo del Acido Fosfórico.

## CAPITULO II. " FUNDAMENTOS QUIMICOS Y APLICACIONES "

- Síntesis del Acido Fosfórico (  $H_3PO_4$  ).
- Propiedades Fisico-químicas del Acido Fosfórico (  $H_3PO_4$  ).
- Propiedades sobresalientes del Acido Fosfórico (  $H_3PO_4$  ).
- Especificación del Acido Fosfórico:
  - a)  $H_3PO_4$  grado Técnico.
  - b)  $H_3PO_4$  grado Alimenticio.
- Aplicaciones del Acido Fosfórico:
  - a)  $H_3PO_4$  grado Técnico.
  - b)  $H_3PO_4$  grado Alimenticio.
- Seguridad:
  - a) Toxicidad.
  - b) Equipo de Protección Personal.
  - c) Primeros Auxilios.

## CAPITULO III. " BREVE DESCRIPCION DE LOS PROCESOS "

- Obtención del  $H_3PO_4$  grado Técnico.
- Obtención del  $H_3PO_4$  grado Purificado.
- Diagrama de bloques de los equipos por donde tienen lugar los procesos del Acido Fosfórico:
  - a)  $H_3PO_4$  grado Técnico .
  - b)  $H_3PO_4$  grado Alimenticio.

**CAPITULO IV. " APLICACION DEL CONTROL ESTADISTICO DE PROCESO "**

- Análisis de los puntos de control que se tienen instalados en los procesos:

- a) H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> grado Técnico.
- b) H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> grado Alimenticio.

**ANEXO 1 " GRAFICAS DE ESPECIFICACION "**

**ANEXO 2 " GRAFICAS DE CONTROL "**

**ANEXO 3 " INTERPRETACION DE GRAFICAS DE CONTROL "**

**ANEXO 4 " DIAGRAMA CAUSA-EFECTO "**

**ANEXO 5 " DIAGRAMA PARETO "**

**ANEXO 6 " CAUSAS BASICAS Y ACCIONES QUE SE TOMARON "**

**ANEXO 7 " HISTOGRAMA "**

**CONCLUSIONES**

**BIBLIOGRAFIA**

## INTRODUCCION

El objetivo de este trabajo es la implantación del Control Estadístico de Proceso (CEP), en una planta de Acido Fosfórico grado Técnico y grado Alimenticio para mejorar el control del proceso y así disminuir la variabilidad del mismo.

El CEP, es un sistema que se basa en la utilización de técnicas estadísticas las cuales nos permiten conocer el comportamiento del proceso, para analizarlo y obtener información en forma rápida y oportuna, de esta manera se pueden tomar acciones que nos conducen a mejorar la calidad del producto.

El CEP implica la eliminación de las causas especiales de excesiva variación de un proceso y prevenir su repetición; una vez logrado esto podemos considerar las variaciones debidas a las causas comunes.

Las gráficas de control son una herramienta muy poderosa para distinguir las causas especiales de variación de las causas comunes. Las gráficas de control fueron inventadas en 1920 por el Dr. Walter Shewart, de los laboratorios BELL, han sido muy utilizadas y con mucho éxito en diferentes países como E.U.A. y Japón. Este tipo de gráficas son las que se realizan en este trabajo, ya que permiten ver de manera rápida y clara lo que esta pasando realmente en el momento de la producción. En este caso aplicado a la producción del ácido fosfórico grado técnico y grado alimenticio.

En el presente trabajo, se han conjuntado las herramientas estadísticas, dando una explicación de como se aplicaron a ambos procesos para mejorar la calidad de los productos terminados.

Se describen de manera breve los pasos de producción, mediante un diagrama de bloques indicando los diferentes equipos utilizados, asimismo señalando las reacciones presentes en la producción.

Se menciona también las propiedades físicas y químicas que tienen ambos productos, sus aplicaciones, que causas son las que afectan en la elaboración de dichos productos, y la toxicidad que existe en ellos.

**CAPITULO I.**

**Generalidades**

## GENERALIDADES

### I. Descubrimiento y Desarrollo del Acido Fosfórico.

La historia del ácido fosfórico esta ligada estrechamente con la del fósforo, el cual fue descubierto en 1669 por el alquimista alemán Henning Brandt al evaporar orina y calentarla al vacío.

Posteriormente, el descubrimiento de la presencia de fósforo en los huesos trajo consigo un renovado interés en la obtención de este elemento, sobre todo al ser relacionado con el crecimiento de las plantas.

A mediados del siglo XIX se desarrollaron varios métodos para la producción de fertilizantes por medio de la digestión de huesos y roca fosfórica con ácido sulfúrico y ácido nítrico. Estos métodos son las bases de los diferentes procesos que existen en la actualidad para la obtención del ácido fosfórico.

Los primeros métodos de obtención de fósforo, consistían en la destilación del ácido fosfórico, en barricas de barro las cuales eran a la vez muy costosas y frágiles. Por esta razón se pretendía obtener el fósforo directamente de la roca, siendo el principal obstáculo para lograr esto, el suministro del calor requerido para la reacción.

Una contribución significativa a la obtención del fósforo, fué la aplicación de energía eléctrica para suministrar el calor para la reacción que hizo Readman en Escocia en 1888.

Cabe hacer notar que las primeras plantas con hornos eléctricos se construyeron con el fin de producir fósforo para la manufactura de productos tales como cerillos, y no para la producción del ácido fosfórico, ya que no fué sino hasta principios de siglo XX cuando se empezaron a construir plantas para la elaboración de ácido a partir del fósforo. Varias de estas plantas utilizaban el proceso de un paso, que consistía en quemar a el pentóxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) los vapores de fósforo que se obtenían del horno eléctrico, y reaccionar el pentóxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) con agua para formar el ácido fosfórico.

CAPITULO II.  
Fundamentos Químicos  
y  
Aplicaciones

**FUNDAMENTOS QUIMICOS DEL ACIDO FOSFORICO****SINTESIS DEL H3PO4**

La producción del ácido fosfórico, implica quemar fósforo en presencia de aire para posteriormente hidratar el pentóxido de fósforo que se forma; las reacciones que ocurren son las siguientes:

**PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DEL ACIDO FOSFORICO**

El ácido fosfórico es relativamente inactivo a bajas temperaturas y reacciona con la mayoría de los metales y sus óxidos a temperaturas elevadas. No es volátil y es moderadamente estable a altas temperaturas donde mantiene sus propiedades ácidas.

**PROPIEDADES SOBRESALIENTES DEL ACIDO FOSFORICO**

El ácido fosfórico, solo contiene contaminantes como oxi-ácidos de fósforo, a nivel partes por millón, y trazas de impurezas como fierro, arsénico y plomo. Esta característica lo hace muy útil en la producción del ácido fosfórico grado alimenticio, el cual se obtiene eliminando estas impurezas.

El ácido fosfórico es un ácido menos fuerte que el sulfúrico o el clorhídrico, y disuelve metales y óxidos a una velocidad menor que aquellos. Esta propiedad es muy útil en el tratamiento de metales cuando las propiedades de los ácidos fuertes son indeseables. Así mismo, cuando el ácido fosfórico reacciona con una superficie metálica, esta se cubre por una película de fosfatos. Este efecto se debe a la insolubilidad de las sales de metales pesados y se usa en la industria para proteger superficies metálicas.

El Acido Fosfórico grado Técnico se maneja a una concentración de 85% H3PO4 y el Acido Fosfórico grado Alimenticio se maneja a una concentración de 75% H3PO4.

**ESPECIFICACIONES DEL ACIDO FOSFORICO GRADO TECNICO****CARACTERISTICAS**

<b>Nombre común:</b>	Acido Fosfórico grado Técnico
<b>Nombre químico:</b>	Acido Ortofosfórico
<b>Fórmula:</b>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
<b>Peso Molecular:</b>	98
<b>Apariencia:</b>	Líquido cristalino pudiendo tener partículas en suspensión.
<b>Concentración (Como % H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)</b>	85 - 86
<b>Hierro (ppm)</b>	0.0-10
<b>Gravedad específica (25°C/15°C)</b>	1.574-1.596
<b>Temperatura Cristalización</b>	21 °C

Debido a la temperatura de cristalización el ácido fosfórico grado técnico debe almacenarse en tanques que tengan un sistema adecuado para calentar en cualquier clima.

**ESPECIFICACIONES DEL ACIDO FOSFORICO GRADO ALIMENTICIO****CARACTERISTICAS**

<b>Nombre común:</b>	Acido Fosfórico grado Alimenticio
<b>Nombre químico:</b>	Acido Ortofosfórico.
<b>Fórmula:</b>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
<b>Apariencia:</b>	Líquido cristalino
<b>Concentración (Como % H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)</b>	75 - 76
<b>Arsénico (ppm)</b>	0.0-0.5
<b>Plomo (ppm)</b>	0.0 - 8
<b>Temperatura Cristalización</b>	-17.5 °C

El ácido fosfórico alimenticio se puede almacenar en tanques a la intemperie ya que no existen muchas probabilidades de que se llegue a cristalizar.

## APLICACIONES DEL ACIDO FOSFORICO GRADO TECNICO Y ALIMENTICIO

### ACIDO FOSFORICO GRADO TECNICO

#### a) PRODUCCION DE FERTILIZANTES

El uso principal que se le ha dado al ácido fosfórico, ha sido para la elaboración de fertilizantes. En la actualidad, se estima que un 70% del fósforo que se procesa, se utiliza en la producción de éstos.

#### b) AGENTE DE ENLACE

El ácido fosfórico se utiliza como agente de enlace en la fabricación de tabiques refractarios con alto contenido de alúmina. La pureza del ácido permite que se forme un cemento de fosfato de alúmina con enlaces muy fuertes que pueden resistir un amplio rango de temperaturas. Este tipo de tabique se utiliza sobre todo en la industria productora del acero.

#### c) INHIBIDOR DE COMBUSTION

El ácido fosfórico se ha utilizado para tratar fibras textiles a fin de aumentar la resistencia de éstas a la combustión.

Los inhibidores de flama funcionan en diversas formas; algunos se funden o fusionan a temperaturas cercanas a la de combustión del material, de esta forma cubriéndolo para evitar que continúe la combustión. También se piensa que se pueda evitar la propagación de la combustión, generando gases no-inflamables que diluyan la cantidad de gases inflamables.

El ácido fosfórico actúa como catalizador para reducir la cantidad de gases inflamables.

#### d) TRATAMIENTO DE METALES

El ácido fosfórico encuentra una de sus principales aplicaciones en el tratamiento de metales. Entre sus varios usos en este campo, se encuentran los siguientes:

- .- Limpieza de acero y aluminio
- .- Limpieza de cobre y latón
- .- Limpieza a calderas
- .- Limpieza de equipo lácteo
- .- Limpieza de acero inoxidable
- .- Formación de películas de protección

#### e) SINTESIS DE COMPUESTOS ORGANICOS

El ácido fosfórico se utiliza en la síntesis de varios compuestos orgánicos tales como el ácido glicerofosfórico, utilizado en medicina, y fosfatos de celulosa, que se usan como adhesivos. También se utiliza como catalizador en la síntesis de compuestos como etileno, materiales asfálticos, la polimerización de olefinos a compuestos de hidrocarburos líquidos.

#### f) ESTABILIZADOR DE ARCILLA

Una aplicación mas que le da al ácido fosfórico, es la de utilizarlo como agente estabilizador para arcilla que se emplea en la construcción de cimientos para viviendas y carreteras. Al estar seca, la arcilla es un buen agente para construir estructuras que soporten peso, pero al absorber agua se desintegra con facilidad en lodo.

Cuando se agrega una pequeña porción del ácido fosfórico a una tierra de arcilla, y la mezcla resultante se deja reposar en condiciones húmedas, se presenta una reacción entre el ácido y los minerales en la arcilla. Esta reacción ocurre en dos pasos: primero, el ácido extrae aluminio y/o hierro de la arcilla, y posteriormente se precipitan fosfatos de aluminio y/o hierro que se polimerizan y cementan la arcilla.

El tratar la arcilla con el ácido fosfórico, es esencialmente un proceso de cementación para formar una masa sólida que resiste la acción desintegrante del agua.

#### ACIDO FOSFORICO ALIMENTICIO

El ácido fosfórico puede ser de grado alimenticio para utilizarse en la elaboración de productos de consumo diario. Este ácido tiene una amplia aplicación dentro de la industria; debido a sus características de acidez, precio y valor nutritivo, se prefiere para muchas aplicaciones en lugar de los ácidos orgánicos de mayor precio. La principal aplicación del ácido fosfórico está en la manufactura de fosfatos que se utilizan en la industria alimentaria.

#### a) BEBIDAS GASEOSAS

El ácido fosfórico se utiliza ampliamente en la industria productora de bebidas gaseosas, en especial en las de cola y en la llamada cerveza de raíz (Root Beer). En esta aplicación se utilizan también los ácidos orgánicos como el cítrico, tartárico y maleico. pero estos por lo general, se usan en bebidas de mayor calidad, dado su mayor costo.

Los ácidos dan a la bebida su sabor refrescante y picante. El ácido fosfórico tiene un menor precio que el de los ácidos orgánicos, y es un ácido más fuerte que ellos por lo que se puede usar menor cantidad para obtener los resultados deseados. Estas dos propiedades hacen, que el ácido fosfórico sea aproximadamente 20 veces más económico de usarse, en comparación con los otros.

El aspecto económico no es el único que gobierna el uso del ácido fosfórico en esta aplicación. Los ácidos sulfúrico y clorhídrico son aun mas baratos y a la vez mas fuertes. Sin embargo, estos ácidos no se utilizan ya que se prefiere el fosfórico por tener propiedades alimenticias que los otros ácidos carecen.

#### b) MERMELADAS

El ácido fosfórico se utiliza en la industria de mermelada para preparar rellenos para donas y pasteles, que tienen la propiedad de ser firmes y poco húmedas. El ácido se usa como agente buffer para controlar la acidez y para secuestrar cationes metálicos, como el fierro, que le dan color indeseado a la mermelada.

#### c) AZUCAR REFINADA

Las impurezas del azúcar se eliminan al refinarla. El licor de azúcar se trata con ácido fosfórico y óxido de calcio en un tanque, en la presencia de aire que se introduce por la parte inferior. El precipitado de fosfato de calcio junto con insolubles e impurezas del azúcar, forma una nata en la parte superior que se separa mecánicamente del licor.

#### d) VARIAS

El ácido fosfórico se utiliza como nutriente y agente buffer en operaciones microbiológicas como en la producción de antibióticos. También se emplea para dar sabor ácido en los aderezos para ensaladas.

Otra aplicación del ácido fosfórico está en la producción de aceites y grasas vegetales. El ácido se añade en pequeñas cantidades durante el proceso de manufactura para controlar el pH y secuestrar iones como níquel, fierro y cobre que aceleran la transformación de los aceites y grasas para volverlos rancios.

**SEGURIDAD****TOXICIDAD**

El ácido fosfórico no está clasificado como un compuesto químico peligroso. Sin embargo, es un líquido corrosivo que puede ocasionar quemaduras al contacto con la piel. A excepción de los ojos, usualmente se requiere de contacto prolongado con la piel antes de que algunos individuos sientan quemaduras o irritaciones. El contacto frecuente o constante de este ácido con la piel puede provocar dermatitis en el área afectada.

El ácido fosfórico puede ocasionar daños si se ingiere, y la niebla del ácido es irritante. El ácido fosfórico no es explosivo o inflamable, pero al contacto con metales férricos menos resistentes que el acero inoxidable libera gas de hidrógeno.

El fósforo elemental es un sólido que se prende espontáneamente al contacto con el aire liberando vapores que son irritantes a la nariz, garganta y pulmones. Al contacto con el fósforo, se debe bañar el área afectada con agua fría en abundancia. El agua fría solidifica al fósforo, con lo cual es más fácil de removerlo de la piel.

**EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL**

Se debe tener equipo de protección para todo aquel personal que labore en la producción, o en el manejo, del ácido fosfórico. El equipo que recomienda la Asociación de Productores Químicos (HCA) es el siguiente:

- 1.- Goggles de adherencia equipados con lentes de plástico o de vidrio resistente al impacto. Estos deben usarse en el caso dónde exista la posibilidad de que penetre ácido fosfórico a los ojos.
- 2.- Anteojos de seguridad con guardas laterales de protección. Estos se deben de usar para proteger los ojos en todo momento.
- 3.- Caratas de plástico, estos se deben usar para dar una mayor protección, pero deben utilizarse en conjunto con los goggles.

4.- Equipo de respiración y máscaras. Este tipo de equipo se debe utilizar al haber emisiones de gases tóxicos, como vapores de fósforo. Entre este tipo de equipo, se encuentran los de respiración autónoma, que ofrecen la ventaja de una mayor movilidad a cambio de que su empleo requiera de entrenamiento.

5.- Guantes de hule. Se deben utilizar al manejar el ácido fosfórico. Se recomienda un traje de hule para protección contra salpicaduras y botas del mismo material para poder circular por áreas donde haya ácido. Para limpieza de tanques es recomendable usar un traje de hule con goggles y careta.

#### PRIMEROS AUXILIOS

El método más efectivo para el tratamiento de la piel o de los ojos al contacto con el ácido fosfórico, es el de eliminar el ácido con grandes cantidades de agua. Si después de lavar por 15 min. el ojo de la persona afectada continúa teniendo dolor, se puede agregar una gota de aceite mineral, aceite de olivo o de castor para reducir el dolor del ojo. El ojo debe ser cubierto, colocando un parche sobre él, y se debe consultar a un médico de inmediato.

En caso de quemaduras de ácido caliente, se debe lavar la parte afectada con agua en abundancia. Para aliviar el dolor puede tomarse aspirina o, en casos severos, una toalla limpia mojada con agua o con una solución diluida de bicarbonato de sodio se puede colocar sobre la quemadura. El exponer la quemadura al aire aumenta el dolor; no se deben utilizarse grasas sobre las quemaduras.

Al ingerir ácido fosfórico, se deben tomar grandes cantidades de agua para diluirlo. Es recomendable tomar un neutralizante como la leche de magnesia, hidróxido de aluminio, o soluciones de jabón. No deben tomarse carbonatos por la generación de gases.

En el caso de ingerir fósforo ó agua con residuos de este elemento, se recomienda inducir el vómito y así continuar hasta que el fluido del vomito sea claro.

### CAPITULO III.

### Breve descripción de los Procesos

**BREVE DESCRIPCION DE LOS PROCESOS PARA LA OBTENCION  
DEL ACIDO FOSFORICO GRADO TECNICO Y ALIMENTICIO.**

**OBTENCION DEL ACIDO FOSFORICO TECNICO**

El fósforo en estado sólido se transporta en carros tanque de ferrocarril debidamente protegido por una capa de gas inerte como el nitrógeno ( se necesita para evitar la ignición del fósforo, dado dado que en presencia de oxígeno produce calor ), posteriormente se funde el fósforo introduciendo vapor al serpentín de cada carro tanque que pasa directamente a la cámara de combustión a una temperatura entre 55 y 65 °C aproximadamente, a la cual se mantiene el fósforo fundido.

Los gases que salen de la cámara se encuentran a una temperatura de 900 °C aproximadamente, estos gases entran a la torre hidratadora-absorbedora (debido a que se empieza a adicionar agua para que se humedezcan los gases), por la parte inferior. En esta sección los gases son rociados con ácido fosfórico diluido que sale por varias boquillas de aspersión y con lo que se logra reducir la temperatura de los gases a 250-200 °C aproximadamente. Al salir de esta sección los gases pasan a la parte superior de la torre, que es la sección absorbedora. Los gases que salen de la torre se dividen y son succionados por los ventiladores los que descargan a unos separadores ciclónicos, (debido a que con el contacto del aire con las paredes, se separa el ácido líquido de los gases al quedarse en las paredes, para que se despidan dichos gases a la atmósfera sin ningún problema). En el ducto antes de llegar al ventilador, los gases se rocían con agua desmineralizada antes de que estos salgan a la atmósfera. El ácido fosfórico concentrado se colecta en el fondo de la torre y sale de ella a 105°C aproximadamente, el ácido cae a un enfriador de grafito, y se vuelve a reciclar hasta obtener la concentración deseada de 85% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, y de allí pasa a un tanque donde se bombea através de un enfriador de placas a los tanques de almacenamiento. Toda el agua que se utiliza en el proceso, ya sea para repuesto o para enfriamiento es agua desmineralizada, a excepción de la que se utiliza para enfriar las cámaras de combustión.

**Reacción de Combustión**



En la absorción se produce el ácido de acuerdo a la reacción



Para la elaboración del ácido fosfórico grado técnico se necesitan los equipos que se ilustran en la FIG.1

## OBTENCION DEL ACIDO FOSFORICO ALIMENTICIO

El proceso de purificación consiste en eliminar metales pesados como el arsénico y el plomo, en el ácido de grado técnico, por medio de la adición del sulfuro de sodio, seguido de un burbujeo de aire para eliminar el H<sub>2</sub>S que se formó.

En el proceso de purificación de este ácido se elimina estos contaminantes haciendo que se precipiten al reaccionar con el Sulfuro de Sodio.



Una vez que el arsénico se precipita se agrega filtro ayuda al tanque de mezcla, haciendo recircular esta solución através del filtro de hojas. En cuanto la mezcla tomada a la salida del filtro está completamente clara y libre de impurezas en suspensión, se deja de recircular el ácido al tanque de mezcla y se envía al tanque aereador.

El H<sub>2</sub>S se elimina en el tanque aereador, por medio de un burbujeo de aire através del flujo de ácido, y posteriormente se le agrega H<sub>2</sub>O para eliminar la turbiedad que le da el azufre elemental disuelto en el ácido, y pasa al tanque de almacenamiento a una concentración de 75% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

### Reacciones



Para la elaboración del ácido fosfórico grado alimenticio se necesitan los equipos indicados en la FIG.2

FIG. 1 Proceso de fabricación de ACIDO FOSFORICO TECNICO

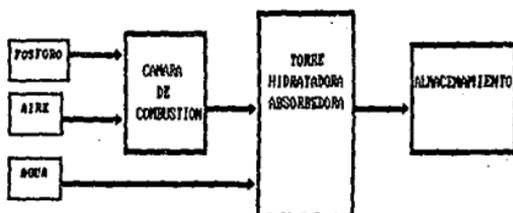
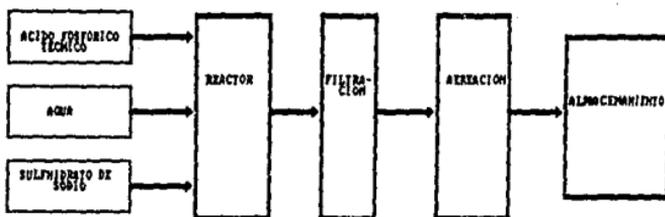


FIG. 2 Proceso de fabricación de ACIDO FOSFORICO ALIMENTICIO



**CAPITULO IV.**  
**Aplicación del**  
**Control Estadístico de Proceso**

**"El mejor recurso  
para mantener  
un control"**

**APLICACION DEL CEP A LOS PROCESOS DE H3PO4  
TECNICO Y ALIMENTICIO**

El objetivo de la implantación del Control Estadístico de Proceso (CEP) en los dos procesos es mejorar el control que se tiene actualmente de los parámetros a medir en ambos procesos, que son básicos para cumplir con las especificaciones o requerimientos del cliente.

**I. Análisis de los puntos de control que se tienen instalados en el proceso de H3PO4 Técnico**

Se toma una muestra de H3PO4 cada 4 horas en el tanque colector, se manda a analizar fierro al laboratorio de muestras y la concentración del H3PO4 se determina en la planta. Con estos parámetros se determina si el ácido está cumpliendo con la especificación, mostrando el siguiente análisis, después de varios lotes almacenados en el tanque.

PROPIEDAD	RESULTADO	ESPECIFICACION	UNIDAD
Apariencia	ok.	liq. cristalino	----
Turbidez	5	5 max.	----
Color	10	20 max.	alfa
Concentración	85.15	85.0 - 86.0	%
Fierro	Trazas	10 max.	ppm

Para cumplir con estas especificaciones, se deben seguir los siguientes puntos:

1) Como la información que se generaba era lenta se decidió llevar una gráfica por lecturas individuales de medias y rangos (X-R). El propósito de la gráfica es obtener información para establecer o cambiar especificaciones, procedimiento de producción, procedimientos de inspección; lograr un criterio para decidir si conviene investigar causas de variación del proceso de producción; y para obtener decisiones rutinarias sobre la situación de rechazo de un producto manufacturado o comprado.

2) Para que se realizara la gráfica por lecturas individuales se tuvo que capacitar a los operadores en el manejo de cartas de control así como en los fundamentos del CEP, haciendo énfasis en la utilidad que tienen este tipo de controles, ya que con esta herramienta estadística ellos pueden controlar mejor sus variables críticas de proceso y a la larga les redituara en una disminución del trabajo, dado que sabrán cuando hacer algún cambio en su equipo ó modificar una variable del proceso, para dar la calidad deseada; para lo cuál se tuvieron que reunir 125 datos (i), dado que con esto se tiene una

(i) A.J.Duncan, "CONTROL DE CALIDAD Y ESTADISTICA INDUSTRIAL", Alfaomega, Cap 18, México 1990.

información más confiable del proceso. Los primeros datos que se reunieron de cada propiedad, fueron colocados en tablas que corresponden a las propiedades del ácido fosfórico grado técnico y alimenticio, en el ANEXO 1, donde aparecen las lecturas que se tomaron para hacer las gráficas de especificación.

3) Una vez reunidas las 125 lecturas se graficó cada dato indicando los límites de especificación como se observa en el ANEXO 1, observándose una gran variación en los datos obtenidos; se decidió que se tenía que someter el proceso a un control estadístico más severo por lo que se procedió a elaborar las gráficas de control correspondientes.

4) Para poder elaborar las gráficas de control se calcularon los límites de control con las 125 lecturas ya obtenidas en las gráficas de especificación, de acuerdo a las siguientes fórmulas (1) :

a) Cálculo para la Media o Promedio de los datos ( $\bar{X}$ )

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

donde n= no. de mediciones

b) Cálculo para el Rango (R): es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de las lecturas anterior y última.

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

c) Cálculo para el Promedio de los rangos ( $\bar{R}$ )

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n - 1}$$

d) Cálculo para la desviación estandar (DESV. STD.) de la población.

$$\text{DESV. STD.} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

e) Cálculo para el Límite Superior de Control (LSCx)

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

f) Cálculo para el Límite Inferior de Control (LICx)

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

g) Cálculo para el Límite Superior de Control de Rangos (LSC)

$$\text{LSC} = D_4 * \bar{R}$$

(1) E.L.Grant y R.B.Leavenworth, "CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD", C.E.S.A., México, 1989.

## h) Cálculo para Límite Inferior de Control de Rangos (LIC)

$$LIC = D3 * \bar{R}$$

Los factores (1) que se utilizan en el cálculo de los límites de control y el Cp y Cpk se enlistan a continuación:

## FACTORES.

n	E2	d2	D3	D4
2	2.660	1.13	---	3.267
3	1.772	1.69	---	2.574
4	1.457	2.06	---	2.282
5	1.290	2.33	---	2.114
6	1.184	2.53	---	2.004
7	1.109	2.70	0.076	1.924
8	1.054	2.85	0.136	1.864
9	1.010	2.97	0.184	1.816
10	0.975	3.08	0.223	1.777

En este caso los factores que se requieren para grupos de n=2 son:

$$E2 = 2.660$$

$$d2 = 1.130$$

$$D3 = 0.000$$

$$D4 = 3.267$$

i) Cálculo para la habilidad potencial del proceso o capacidad del proceso (Cp):

$$Cp = \frac{(LSE - LIE)}{(6 * DESV. STD.)}$$

## Criterio de Evaluación

Cp > 1 = 1 Proceso Potencialmente Capaz para  $\pm 3\sigma$

Cp > 1 Proceso Potencialmente no Capaz

j) Cálculo para la habilidad real del proceso (Cpk):

$$Cpk = E_{min} / 3$$

$$E_{superior} = (LSE - \bar{X}) / DESV. STD.$$

$$E_{inferior} = (\bar{X} - LIE) / DESV. STD.$$

donde E<sub>min</sub> es el valor entre E<sub>superior</sub> y E<sub>inferior</sub>.

(1) Si se quiere consultar tablas con más factores, ver E.L.Grant y R.S.Leavenworth, "CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD", México 1989.

**Criterio de Evaluación**

Cpk > 0 = 1.33 Proceso realmente hábil para  $\pm 3\sigma$   
 Cpk > 1.33 Proceso realmente no hábil

5) Para la selección de la escala en el gráfico X y localización de zonas A B y C y límites de control, se tiene un tamaño del gráfico X diseñado de tal manera que la media (X) sea localizada en la parte central del mismo. Así mismo las zonas C, B y A se localizan a partir de la media hacia arriba y hacia abajo. La zona C corresponde a una desviación estandar, la zona B corresponde a dos desviaciones estandar y la zona A a tres desviaciones estandar.

El límite de la escala de la zona A hacia ambos lados arriba (LSCx) y abajo (LICx), representa los límites de control.

Para la selección de la escala en gráfico R y límite de control se utilizo aproximadamente el 80% del ancho de gráfica para representar el límite superior de control (LSC).

6) Una vez que se tienen los límites de control, la información que se seguía dando en el proceso, se fue anotando en las gráficas consecutivamente y se fueron graficando los puntos, en la línea que correspondía uniendolos con líneas, respetando la escala que se encuentra en la parte derecha de cada gráfico, como se muestra en las gráficas del No.1 al 5 de ambas propiedades en el ANEXO 2.

7) Se analizaron estas gráficas de acuerdo a los criterios de interpretación de gráficos de control que se encuentra en el ANEXO 3, y cada vez que se encontraba algo fuera de lo estipulado se tenía que anotar inmediatamente en el espacio indicado para las observaciones y decir que fue lo que ocasiono que en ese momento la producción del lote no estuviera bajo control.

8) Una vez que se analizaron las gráficas, se vio que existía una gran variación en los datos, con lo que se decidió reunir a la gente de operación y técnicos a fin de determinar cuales eran las causas que estaban provocando esta variabilidad en los datos.

Esta información fué útil para definir el programa de trabajo y para encontrar la relación que pudiera existir entre las condiciones del proceso y la funcionalidad del producto. El análisis debe ser exhaustivo en cuanto al establecimiento de los problemas para cada una de las propiedades del producto y no debe iniciarse sin haber terminado completamente el anterior, ya que pudiera haber influencia o confusión de ideas al mencionar los problemas.

8.1) Primeramente se formo el grupo con 10 personas, 6 operadores y 4 Ingenieros (Suppte prod, Ing Procesos, Ing Control Calidad y Becaria) reuniendose una vez por semana 2 horas, de acuerdo al proceso normal de círculo de calidad.

8.2) La primera herramienta del CEP que se uso en esta junta fue la lluvia de ideas para ver cuales eran las causas que estaban afectando esta variación, y se empezó a ver la factibilidad de cada idea. Una vez que se tuvieron estas ideas se utilizo un diagrama de Causa-Efecto, utilizando 4 ramas principales: Mano de Obra, Materiales, Método y Maquinaria y se insertaron estas ideas, a la vez que se vio cada una de las cuatro ramas, si no había otra causa que influyera el efecto, y se analizaron hasta llegar a las causas básicas, encontrándose con los siguientes diagramas del ANEXO 4.

La elaboración de estos diagramas deben ser de tal forma que quede lo más completo posible, ya que de el se derivan acciones, propuestas, normas, procedimientos, etc., para eliminar las causas especiales de desviación y prevenir que se presenten otras.

El diagrama Causa-Efecto, debe mostrar claramente las diversas causas que afectan un resultado clasificandolo y relacionandolos; recordando que un buen diagrama Causa-Efecto, es el que logra el objetivo de encontrar la causa del efecto que se esta analizando.

8.3) Una vez analizado el diagrama de Causa y Efecto, se procedió a realizar un diagrama de Pareto; como se ilustra en el ANEXO 5, esto se hizo con el fin de darnos cuenta de cuales eran las causas de mayor prioridad que nos afectaban en las diferentes propiedades y con esto ayudarnos a distinguir las más fácilmente, para poder eliminarlas y lograr que nuestros procesos se sometan a un buen control; es importante hacer notar que no siempre la causa que se repita más será la más importante, se necesita un análisis para determinar cuáles son las que más están afectando en la elaboración del ácido fosfórico grado técnico y grado alimenticio.

8.4) Ya que se tuvieron las causas básicas, se procedió a tomar las acciones necesarias para tratar de que no se volvieran a repetir, para así mantener nuestro proceso bajo un control estadístico, estas acciones fueron analizadas y llevadas a acabo de una manera muy eficiente, mediante platicas con el personal involucrado en la realización de manuales y con las personas que tenían que aplicar dichos procedimientos, como se observa en el ANEXO 6.

8.5) Inmediatamente con los datos que se obtenian se decidió analizarlos por medio del uso del Histograma, para ver de manera más clara la tendencia que se tenía con la proporción del resultado de los datos; pudiendo observar que habian más datos en las zonas laterales que en el centro de la curva; como se ilustra en el ANEXO 7.

9) Se empezaron a aplicar medidas correctivas sobre todo en las causas especiales de mayor prioridad que se encontraron con este segundo grupo de 125 datos, se colocaron los nuevos límites de control, con las fórmulas del punto 4, y con la escala correspondiente a dichos límites se registraron las lecturas

siguientes de ambos procesos en sus gráficas a las cuales pertenecen para reunir los datos para el tercer grupo, ( gráficas del No.6 al 10) que se encuentran en el ANEXO 2.

10) El reporte de estos nuevos datos, dieron una visión de mejora notable, se encontró que la variabilidad del proceso había disminuido notablemente. Se espero tener otros 125 datos y se recalcularon los límites de control, observándose que ya se encontraban dentro de los límites de especificación; como se puede apreciar en la parte inferior de la gráfica No. 11, como se ve en la ultima gráfica de las propiedades en el ANEXO 2; el cálculo del Cp y del Cpk reflejo que el proceso de producción del Acido Fosfórico Técnico ya estaba bajo control estadístico.

II. Análisis de los puntos de control que se tienen instalados en el proceso de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> Alimenticio.

Se toma una muestra de cada lote y se envía al laboratorio de control de calidad, para determinar la cantidad de arsénico, plomo y la concentración del H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> se hace en la planta, y al tenerse varios lotes almacenados en un tanque se determina el siguiente análisis:

PROPIEDAD	RESULTADO	ESPECIFICACION	UNIDAD
Apariencia	ok	líq. cristalino	----
Olor	sin	ninguno	----
Sabor	ok	ok	----
Concentración	75.38	75.0 - 76.0	%
Arsénico	Trazas	0.5 max.	ppm
Plomo	Trazas	8 max	ppm
Metales pesados	< 10	20 max.	ppm
Hierro	6.57	10 max.	ppm
Fosfatos alcalinos	0.33	0.4 max.	ppm
Cloruros	Trazas	30.0 max.	ppm
Fluoruros	1.03	10.0 max	ppm
Sulfatos	Trazas	100.0 max	ppm
Sulfuros	Trazas	0.4 max	ppm
Nitratos	Pasa	pasa la prueba	----
Acido hipo o fosforoso	Pasa	pasa la prueba	----

Para cumplir con las especificaciones, los puntos de control se instalaron en forma similar a lo antes comentado con el ácido fosfórico técnico.

**ANEXO 1****Gráficas de Especificación**

## ELABORACION DE GRAFICAS DE ESPECIFICACION

El realizar un estudio de un proceso, no es algo sencillo requiere tiempo y mucha dedicación; se tiene que tener personal capacitado para resolver dudas, proponer cambios y mejoras, para que todo marche bajo un régimen más controlado.

La producción del ácido fosfórico, en ciertas ocasiones presenta algunas complicaciones, como en cualquier tipo de proceso, por lo que es recomendable estudiar con más detalle el comportamiento del mismo en un tiempo determinado, decidiéndose primeramente juntar un grupo de 125 lecturas para empezar a analizar el comportamiento que se tenía en las propiedades que más afectaban a la producción del ácido fosfórico grado técnico y grado alimenticio.

Las lecturas se colocaron en una gráfica de especificaciones, en donde los límites eran las especificaciones correspondientes a cada propiedad :

PROPIEDAD	ESPECIFICACIONES
CONC. H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> TECNICO (%)	85 - 86
FIERRO (ppm)	0.0 - 10
CONC. H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ALIMENTICIO (%)	75 - 76
ARSENICO (ppm)	0.0 - 0.5
PLOMO (ppm)	0.0 - 8

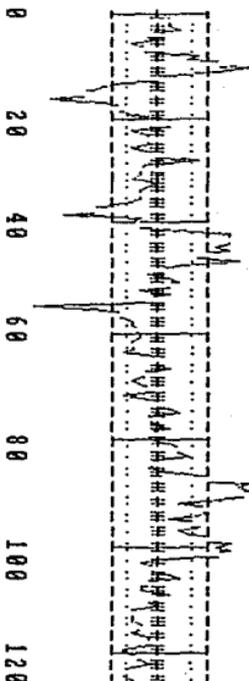
Se observó que algunas lecturas sobrepasaban los límites de especificación por lo que se decidió, calcular los límites de control para observar el comportamiento con más claridad con las lecturas consecuentes que se venían dando.

## DATOS DE CONCENTRACION DE ACIDO FOSFORICO 85% GRADO TECNICO. PRIMER GRUPO

No. DATOS	CONC %	RANGO	No. DATOS	CONC %	RANGO	No. DATOS	CONC %	RANGO
1	85.6	0	26	85.4	0.5	51	85.7	0.4
2	85.6	0.1	27	85.9	0.5	52	85.3	0.3
3	85.7	0.3	28	85.4	0.1	53	85.6	0.2
4	85.4	0.1	29	85.3	0	54	85.4	1.2
5	85.5	0.3	30	85.3	0.1	55	84.2	0.6
6	85.2	0.2	31	85.2	0.3	56	84.8	0.3
7	85.4	0.5	32	85.5	0.1	57	85.1	0.1
8	85.9	0.1	33	85.4	0.1	58	85.2	0
9	85.8	0.6	34	85.3	0	59	85.2	0.1
10	86.4	0.3	35	85.3	0.2	60	85.3	0
11	86.1	0.5	36	85.1	0.2	61	85.3	0.1
12	85.6	0.5	37	84.9	0.4	62	85.2	0
13	85.1	0.2	38	84.5	0.8	63	85.2	0.1
14	84.9	0.1	39	85.3	0.1	64	85.1	0.4
15	84.8	0.4	40	85.2	0.5	65	85.3	0
16	84.4	0.5	41	85.7	0.5	66	85.5	0.1
17	84.9	0.2	42	86.2	0	67	85.6	0.3
18	85.1	0.1	43	86.2	0.1	68	85.3	0.1
19	85.2	0.4	44	86.1	0.1	69	85.2	0.1
20	85.6	0	45	86.2	0.3	70	85.3	0.1
21	85.6	0.4	46	85.9	0.4	71	85.4	0.3
22	85.2	0.2	47	86.3	0.6	72	85.1	0.3
23	85.4	0	48	85.7	0.3	73	85.4	0.2
24	85.4	0.2	49	85.4	0.2	74	85.6	0.1
25	85.2		50	85.6		75	85.7	

## DATOS DE CONCENTRACION DE ACIDO FOSFORICO 85% GRADO TECNICO. PRIMER GRUPO

No. DATOS	CONC %	RANGO	No. DATOS	CONC %	RANGO
76	85.4	0.1	101	86.2	0.7
77	85.5	0.1	102	85.5	0.2
78	85.6	0.2	103	85.3	0.2
79	85.4	0	104	85.5	0.1
80	85.4	0.2	105	85.6	0.1
81	85.6	0.1	106	85.7	0.4
82	85.7	0.1	107	85.3	0
83	85.8	0.3	108	85.3	0.3
84	85.5	0.1	109	85.6	0.2
85	85.4	0.2	110	85.4	0.1
86	85.6	0.3	111	85.5	0.3
87	85.9	0.5	112	85.2	0
88	86.4	0.1	113	85.2	0
89	86.3	0.1	114	85.2	0.1
90	86.4	0.3	115	85.3	0.1
91	86.1	0.4	116	85.2	0.2
92	85.7	0.3	117	85.4	0
93	86	0.1	118	85.4	0.3
94	85.9	0.3	119	85.1	0
95	85.6	0.3	120	85.1	0.2
96	85.9	0.2	121	85.3	0.1
97	85.7	0.1	122	85.4	0.2
98	85.8	0.4	123	85.2	0.1
99	86.2	0.1	124	85.1	0.1
100	86.1		125	85.2	



UCL = 86.0000  
 CL = 85.4768  
 LCL = 85.0000

AVERAGE CHART  
 LARGEST AVG: 86.4889  
 SMALLEST AVG: 84.2880

LECTURAS PARA LA  
 CONCENTRACION 85%

ERRORES TÍPICOS

NO. AVERAGES: 0  
 VALUES/AVERAGE: 125  
 PRIMER GRUPO: 1

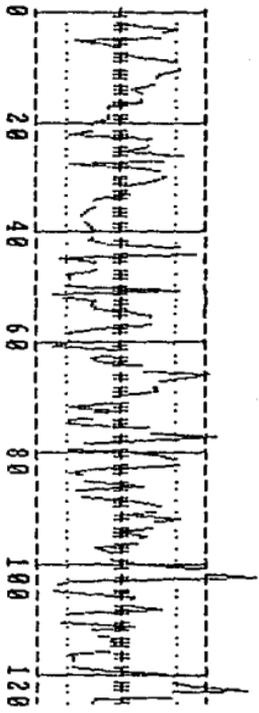
OUT OF CONTROL

## DATOS DE CONCENTRACION DE FIERRO EN H3PO4 85% GRADO TECNICO. PRIMER GRUPO

No. DATOS	CONC ppm	RANGO	No. DATOS	CONC ppm	RANGO	No. DATOS	CONC ppm	RANGO
1	4.7	0.9	26	8.7	6.7	51	8.8	7.5
2	5.6	2.7	27	2	4.3	52	1.1	2.4
3	8.3	0.9	28	6.3	1.5	53	3.5	0.1
4	7.4	4.9	29	7.8	0.4	54	3.4	0.2
5	2.5	1.8	30	7.4	1.1	55	3.6	1.8
6	4.3	0.8	31	6.3	1.5	56	5.4	1.4
7	5.1	0.8	32	4.8	0.8	57	6.8	3.3
8	5.9	2.4	33	5.6	1.8	58	3.5	1.4
9	8.3	0.2	34	3.8	0.5	59	2.1	0.1
10	8.5	1	35	3.3	0.3	60	2	0.9
11	7.5	0.3	36	3	0.2	61	1.1	3.7
12	7.2	0.6	37	2.8	0.3	62	4.8	1.5
13	6.6	0.8	38	3.1	0.3	63	3.3	0.5
14	5.8	0.5	39	3.4	0.1	64	3.8	1.8
15	6.3	0.1	40	3.5	0.4	65	5.6	4.7
16	6.4	2.1	41	3.1	1.4	66	10.3	1.6
17	4.3	0	42	4.5	4.9	67	8.7	1.6
18	4.3	0.1	43	9.4	8	68	7.1	0.3
19	4.2	0.9	44	1.4	3.6	69	6.8	0.5
20	3.3	0	45	3.6	0.1	70	7.3	2.1
21	3.3	1.2	46	3.5	0	71	5.2	1
22	2.1	4.7	47	3.5	1.4	72	4.2	0.6
23	6.8	0.3	48	2.1	0	73	4.8	2.7
24	6.5	1.3	49	2.1	0.1	74	2.1	0.1
25	5.2		50	2		75	2	

## DATOS DE CONCENTRACION DE FIERRO EN H3PO4 85% GRADO TECNICO. PRIMER GRUPO

No. DATOS	CONC ppm	RANGO	No. DATOS	CONC ppm	RANGO
76	5.9		101	9.5	
77	10.5	4.6	102	13	3.5
78	6.5	4	103	2.1	10.9
79	2.1	4.4	104	1.1	1
80	5.6	3.5	105	2.2	1.1
81	7.6	2	106	5.8	3.6
82	8.5	0.9	107	5.6	0.2
83	3.3	5.2	108	7.4	1.8
84	2.1	1.2	109	2.1	5.3
85	3.8	1.7	110	1.5	0.6
86	6.4	2.6	111	5.8	4.3
87	2.4	4	112	3.3	2.5
88	3.6	1.2	113	4.7	1.4
89	6.3	2.7	114	4.5	0.2
90	7.4	1.1	115	4.8	0.3
91	5.4	2	116	2.1	2.7
92	8.6	3.2	117	2.2	0.1
93	6.7	1.9	118	2.3	0.1
94	4.9	1.8	119	4.5	2.2
95	8.5	1.6	120	8.4	3.9
96	5.7	0.8	121	8.2	0.2
97	3.5	2.2	122	9.4	1.2
98	4.2	0.7	123	12.5	3.1
99	4.6	0.4	124	3.5	9
100	6.1	1.5	125	3.3	0.2



UCL = 10.0000  
 CL = 5.0600  
 LCL = 0.0000

AVERAGE CHART  
 LARGEST AVG.: 13.0000  
 SMALLEST AVG.: 1.1000

LECTURAS PARA EL

FIERRO

REINA TERCERO

23

NO. AVERAGES: 125  
 VALUES/AVERAGE: 1

PRIMER GRUPO

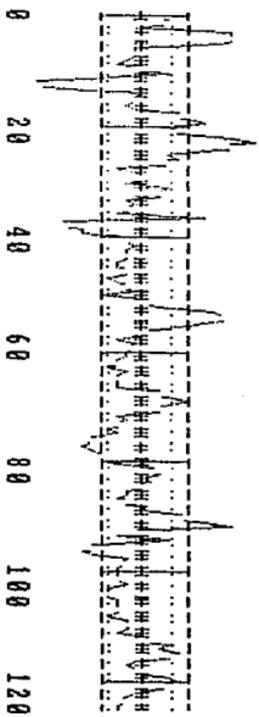
OUT OF CONTROL

## DATOS DE CONCENTRACION DE ACIDO FOSFORICO 75% GRADO ALIMENTICIO. PRIMER GRUPO

No. DATOS	CONC %	RANGO	No. DATOS	CONC %	RANGO	No. DATOS	CONC %	RANGO
1	75.8	0.4	26	75.9	0.7	51	75.5	0.3
2	75.4	1.1	27	75.2	0.2	52	75.9	0.5
3	76.5	0	28	75.4	0.1	53	76.3	0.1
4	76.5	0.1	29	75.5	0.2	54	76.4	0.2
5	76.4	1	30	75.3	0.5	55	76.2	0.3
6	75.4	0	31	75.8	0.1	56	75.9	0.4
7	75.4	0.1	32	75.7	0.4	57	75.5	0.3
8	75.3	0.1	33	75.3	0.1	58	75.2	0.2
9	75.2	0.6	34	75.4	0.2	59	75.4	0.1
10	75.8	0.7	35	75.2	1	60	75.3	0
11	75.1	0.8	36	76.2	1.6	61	75.3	0.1
12	74.3	0.3	37	74.6	0.2	62	75.2	0.1
13	74.6	0.9	38	74.8	0	63	75.1	0.2
14	75.5	0.1	39	74.8	0.5	64	75.3	0.1
15	75.4	0.1	40	75.3	0.1	65	75.2	0
16	75.3	0.1	41	75.4	0.1	66	75.2	0
17	75.4	0.6	42	75.3	0	67	75.2	0.6
18	76	0.2	43	75.3	0.1	68	75.8	0.2
19	76.2	0.4	44	75.2	0	69	76	0.2
20	75.8	0.1	45	75.2	0.1	70	75.8	0.1
21	75.9	0.6	46	75.3	0.2	71	75.7	0.5
22	76.5	0.3	47	75.1	0.1	72	75.2	0.1
23	76.8	0.6	48	75.2	0.2	73	75.3	0.2
24	76.2	0.4	49	75.4	0.4	74	75.1	0.1
25	75.8		50	75.8		75	75.2	

## DATOS DE CONCENTRACION DE ACIDO FOSFORICO 75% GRADO ALIMENTICIO. PRIMER GRUPO

No. DATOS	CONC %	RANGO	No. DATOS	CONC %	RANGO
76	74.9	0.1	101	75.2	0.1
77	74.8	0.1	102	75.3	0.2
78	74.9	0.1	103	75.1	0
79	75	0	104	75.1	0.1
80	75	0.3	105	75.2	0
81	75.3	0.4	106	75.2	0
82	75.7	0.2	107	75.2	0.1
83	75.5	0.1	108	75.1	0.2
84	75.6	0.3	109	75.3	0
85	75.3	0	110	75.3	0.1
86	75.3	0.1	111	75.2	0.3
87	75.2	0.3	112	75.5	0.3
88	75.5	0	113	75.8	0.1
89	75.5	0.4	114	75.7	0.2
90	75.9	0.3	115	75.9	0.5
91	76.2	0.3	116	75.4	0.1
92	76.5	1.3	117	75.3	0.1
93	75.2	0.6	118	75.4	0.4
94	75.8	0.6	119	75.8	0.1
95	75.2	0.4	120	75.9	0.2
96	74.8	0.1	121	75.7	0.3
97	74.9	0.4	122	75.4	0.1
98	75.3	0.1	123	75.3	0.1
99	75.2	0	124	75.2	0
100	75.2		125	75.2	



UCL = 76.0000  
 CL = 75.4688  
 LCL = 75.0000

AVERAGE CHART  
 LARGEST AVG:  
 76.8000  
 SMALLEST AVG:  
 74.3000

LECTURAS PARA LA  
 CONCENTRACION 75%  
ENVA ALUDICIDIO

NO. AVERAGES: 6  
 VALDES/AVERAGE:  
 125  
 1

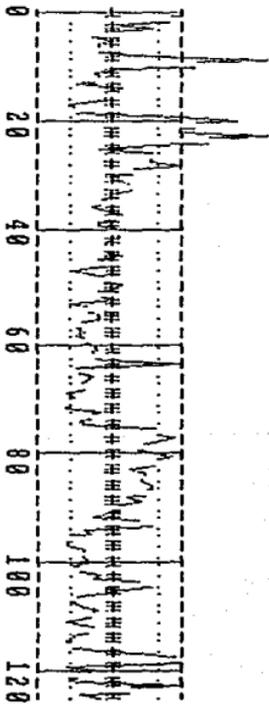
PRIMER GRUPO  
 OUT OF CONTROL

## DATOS DE CONCENTRACION DE ARSENICO EN H3PO4 75% GRADO ALIMENTICIO. PRIMER GRUPO

No. DATOS	CONC ppm	RANGO	No. DATOS	CONC ppm	RANGO	No. DATOS	CONC ppm	RANGO
1	0.5	0.23	26	0.4	0	51	0.22	0.06
2	0.27	0.13	27	0.4	0.1	52	0.28	0.16
3	0.4	0.2	28	0.5	0.2	53	0.12	0.08
4	0.2	0.06	29	0.3	0.05	54	0.2	0.02
5	0.26	0.04	30	0.25	0.05	55	0.22	0
6	0.22	0	31	0.3	0.03	56	0.22	0.08
7	0.22	0.18	32	0.33	0.06	57	0.14	0.02
8	0.4	0.4	33	0.27	0.02	58	0.16	0.02
9	0.8	0.5	34	0.25	0.05	59	0.14	0.07
10	0.3	0.09	35	0.2	0.04	60	0.21	0
11	0.21	0.01	36	0.24	0.06	61	0.21	0.01
12	0.22	0.08	37	0.3	0.08	62	0.2	0.04
13	0.14	0.16	38	0.22	0	63	0.24	0.26
14	0.3	0.05	39	0.22	0.08	64	0.5	0.36
15	0.25	0.02	40	0.3	0.02	65	0.14	0.05
16	0.23	0.11	41	0.28	0.04	66	0.19	0.02
17	0.12	0.02	42	0.24	0	67	0.17	0.01
18	0.14	0.36	43	0.24	0.06	68	0.18	0.06
19	0.5	0.2	44	0.3	0.22	69	0.1	0.13
20	0.7	0.2	45	0.22	0.01	70	0.13	0.01
21	0.5	0	46	0.23	0.1	71	0.12	0.02
22	0.5	0.3	47	0.13	0.05	72	0.1	0.12
23	0.8	0.4	48	0.18	0.12	73	0.22	0.07
24	0.4	0.18	49	0.3	0.01	74	0.15	0.01
25	0.22		50	0.29		75	0.18	

## DATOS DE CONCENTRACION DE ARSENICO EN ESP04 75% GRADO ALIMENTICIO. PRIMER GRUPO

No. DATOS	CONC ppm	RANGO	No. DATOS	CONC ppm	RANGO
76	0.4	0.08	101	0.13	0.09
77	0.48	0.06	102	0.22	0.02
78	0.42	0.07	103	0.2	0.2
79	0.35	0.05	104	0.4	0.1
80	0.4	0.07	105	0.3	0.08
81	0.47	0.07	106	0.22	0.1
82	0.4	0.07	107	0.12	0.03
83	0.33	0.05	108	0.15	0.06
84	0.38	0.01	109	0.21	0.05
85	0.37	0.03	110	0.16	0.06
86	0.4	0	111	0.1	0.1
87	0.4	0.08	112	0.2	0.06
88	0.32	0.05	113	0.14	0.02
89	0.37	0.07	114	0.12	0.02
90	0.3	0.06	115	0.1	0.11
91	0.24	0.04	116	0.21	0.19
92	0.2	0.2	117	0.4	0.1
93	0.4	0.24	118	0.5	0.4
94	0.16	0.02	119	0.1	0.12
95	0.18	0.08	120	0.22	0.1
96	0.1	0	121	0.12	0.02
97	0.1	0.06	122	0.14	0.36
98	0.16	0	123	0.5	0.35
99	0.16	0.02	124	0.15	0.07
100	0.18		125	0.22	



UCL = 0.5000  
 CL = 0.2669  
 LCL = 0.0000

**AVERAGE CHART**

LARGEST AVG: 0.8000

SMALLEST AVG: 0.1000

LECTURAS PARA EL

ARSENICO

3004 ALUMBRICIO

35

NO. AVERAGES: 125

VALUES/AVERAGE: 1

PRIMER GRUPO

OUT OF CONTROL

## DATOS DE CONCENTRACION DE PLOMO EN H3PO4 75x GRADO ALIMENTICIO. PRIMER GRUPO

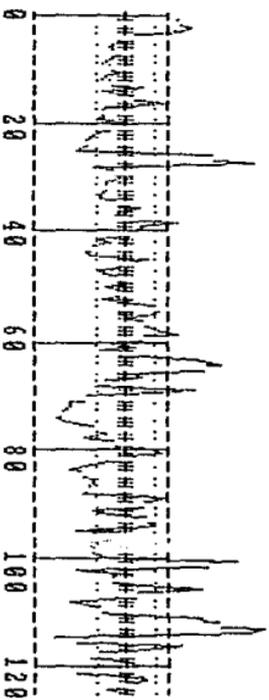
No. DATOS	CONC ppm	RANGO
1	8.5	0.7
2	9.2	0.5
3	8.7	3.3
4	5.4	0.6
5	4.8	0.3
6	4.5	0.3
7	4.8	0.3
8	4.5	0.4
9	4.1	1.1
10	5.2	0.9
11	4.3	0.2
12	4.1	2.2
13	6.3	2.3
14	4	1.6
15	5.6	2.4
16	8	3.8
17	4.2	0.1
18	4.1	0.3
19	3.8	1.8
20	5.6	1.5
21	4.1	0.6
22	3.5	0.3
23	3.2	0.4
24	2.8	0.3
25	2.5	

No. DATOS	CONC ppm	RANGO
26	10	3
27	13	9.5
28	3.5	1.6
29	5.1	0.1
30	5	0.7
31	4.3	0.1
32	4.2	0.4
33	3.8	0
34	3.8	2.3
35	6.1	0.8
36	5.3	0.5
37	4.8	3.6
38	8.4	2.1
39	6.3	0.1
40	6.2	2.6
41	3.6	0.8
42	4.4	1.3
43	3.1	0.1
44	3.2	3.6
45	6.8	1.4
46	5.4	1.6
47	3.8	0.3
48	4.1	1.7
49	5.8	1.5
50	4.3	

No. DATOS	CONC ppm	RANGO
51	5.4	1.3
52	4.1	1.9
53	6	1.4
54	7.4	0.3
55	7.1	2
56	5.1	1.7
57	6.8	0.6
58	7.4	1.1
59	8.5	4.2
60	4.3	1.8
61	5.9	2.1
62	3.8	4.2
63	8	2
64	10	1
65	11	5.1
66	5.9	6.4
67	6.3	2.7
68	3.6	5.8
69	9.4	3.8
70	5.6	3.4
71	2.2	0
72	2.2	0.3
73	1.9	0.5
74	1.4	0.6
75	2	

## DATOS DE CONCENTRACION DE PLOMO EN H3PO4 75% GRADO ALIMENTICIO. PRIMER GRUPO

No. DATOS	CONC ppm	RANGO	No. DATOS	CONC ppm	RANGO
76	3.5	0.7	101	12	9.5
77	4.2	1.3	102	2.5	2.3
78	2.9	2.3	103	4.8	0.1
79	5.2	1.8	104	4.7	1.8
80	7	0.5	105	6.5	3.3
81	7.5	3	106	9.8	4.6
82	4.5	1.7	107	5.2	3.1
83	2.8	0.6	108	2.1	1.4
84	2.2	1.2	109	3.5	1.2
85	3.4	0.1	110	4.7	5.1
86	3.5	0.3	111	9.8	0.2
87	3.2	0.3	112	10	3.5
88	2.9	4.9	113	13.5	0.7
89	7.8	0.8	114	12.8	11.6
90	7	3.5	115	1.2	7.5
91	3.5	0.8	116	8.7	2.2
92	4.3	2.9	117	6.5	3.3
93	7.2	0.4	118	3.2	2.6
94	6.8	4.2	119	5.8	0.2
95	2.6	3.3	120	6	3.4
96	5.9	2.7	121	2.6	3.8
97	3.2	0	122	6.4	0.1
98	3.2	0.4	123	6.5	2.3
99	3.6	0.6	124	4.2	1.6
100	4.2		125	5.8	



UCL = 8.0000  
 CL = 5.3784  
 LCL = 0.0000

AVERAGE CHART  
 LARGEST AVG: 13.5000  
 SMALLEST AVG: 1.2000

LECTURAS PARA EL

PLOMO

EDPM ALUMBRICIO

NO. AVERAGES: 4  
 VALUES/AVERAGE: 125  
 1

PRIMER GRUPO

OUT OF CONTROL

**ANEXO 2**

**Gráficas de Control**

## ELABORACION DE GRAFICAS DE CONTROL

Las gráficas de control que se implementaron en el proceso del ácido fosfórico grado técnico y grado alimenticio, tienen el propósito, de obtener información para establecer o cambiar especificaciones, procedimientos de producción, procedimientos de inspección; lograr un criterio para decidir si conviene investigar causas de variación del proceso de producción; lograr un criterio para decisiones rutinarias sobre la situación de rechazo de un producto manufacturado o comprado. La variable a considerar, debe ser siempre algo que puede ser medido como: dimensiones, concentraciones, pesos, etc.

El tamaño de la muestra se recomienda de mínimo dos datos (j) de acuerdo con el volumen de producción, el tiempo de respuesta, el orden, entre otros.

Los límites de control se recalculan cada 125 datos para observar la mejora en el proceso, dado que conforme se va mejorando, los límites de control tienden a cerrarse cada vez más.

La información general que deberá aparecer en el gráfico se menciona a continuación:

- a. DEPARTAMENTO
- b. SUPERVISOR
- c. PRODUCTO
- d. PROPIEDAD
- e. ESPECIFICACION
- f. FRECUENCIA
- g. CAPACIDAD REAL DEL PROCESO (Cpk)
- h. CAPACIDAD DEL PROCESO (Cp)
- i. GRADO
- j. UNIDADES
- k. No. CARTA
- l. MES
- m. LOTE
- n. LECTURA
- ñ. RANGO

Todos estos datos son importantes, ya que al llevar orden en los reportes, se hace más ágil y claro el estudio de los resultados de la producción del ácido fosfórico grado técnico y grado alimenticio y para cualquier otro proceso.

Se coloca en la parte izquierda los resultados que se obtuvieron al calcular los límites de control superior e inferior y los datos ya sea de la media o del rango promedio.

(j) A.J.Duncan, "CONTROL DE CALIDAD Y ESTADISTICA INDUSTRIAL", Alfaomega, Cap 18 de preferencia, México 1990.

Para elaborar la escala, se coloca la media a la mitad y los límites de control en los extremos a la misma distancia, y se ajusta la escala de tal manera que se respete los valores de los límites de control.

El espacio que existe en la parte izquierda inferior, sirve para indicar por medio de rayas, en donde se encuentran los límites tanto de especificación como los de control, de esta manera se ve de una manera más rápida si el proceso se encuentra bajo las especificaciones del cliente.

Por último el espacio inferior derecho es dedicado para las observaciones que debiera ser llenado por el personal que labore en dichos procesos, ya que es muy importante que cualquier cosa que pase en el transcurso de la producción sea detectada a tiempo, para que se tomen las medidas pertinentes.

De esta manera los límites de control que se encuentren en el grupo serán del grupo de datos anterior, para que se pueda observar el comportamiento de los procesos .

Para seguir paso a paso la correcta elaboración de las gráficas de control se realizara un ejemplo de la propiedad de concentración al 85%  $H_3PO_4$  grado técnico. Es muy importante que quede muy claro que el seguimiento de los pasos que se van a hacer se realizan para cualquier propiedad que se tenga en el proceso del ácido fosfórico grado técnico y grado alimenticio.

Se debe tener en cuenta que el seguimiento de este ejemplo, sigue paso a, paso los puntos expuestos en el capítulo IV.

I. Las gráficas de control numeradas del 1 al 5, que se encuentran en este ANEXO , contienen los límites de control obtenidos al reunir las 125 lecturas que se observan en el ANEXO 1. Estas primeras lecturas son reunidas en dichas tablas, para facilitar el manejo de datos.

II. El cálculo que se hace para obtener los límites de control, la media, el rango, el rango promedio, el  $C_p$  y el  $C_{pk}$ , se realiza a continuación:

a) Para calcular la Media o  $X$  Promedio ( $\bar{X}$ ), se suman todas las lecturas y se divide entre el número total de datos que resultaron, usando la siguiente fórmula:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

Sustituyendo los valores tenemos:

$$\bar{X} = (85.6+85.6+85.7+85.4+85.5+85.2+85.4+85.9+85.8+86.4+86.1+85.6+85.1+84.9+84.8+84.4+84.9+85.1+85.2+85.6+85.6+85.2+85.4+85.4+85.2+85.4+85.9+85.4+85.3+85.3+85.1+84.9+84.5+85.3+85.2+85.7+86.2+86.2+86.1+86.2+85.9+86.3+85.7+85.4+85.6+85.7+85.3+85.6+85.4+84.2+84.8+85.1+85.2+85.2+85.3+85.3+85.2+85.2+85.1+85.5+85.5+85.6+85.3+85.2+85.3+85.4+85.1+85.4+85.6+85.7+85.4+85.5+85.6+85.4+85.4+85.6+85.7+85.8+85.5+85.4+85.6+85.9+86.4+86.3+86.4+86.1+85.7+86.0+85.9+85.6+85.9+85.7+85.8+86.2+86.1+86.2+85.5+85.3+85.5+85.6+85.7+85.3+85.3+85.6+85.4+85.5+85.2+85.2+85.2+85.4+85.4+85.1+85.1+85.3+85.4+85.2+85.1+85.2) / n$$

$$\bar{X} = \frac{10684.6}{125} = 85.4768$$

b) El Rango lo obtenemos restando de dos en dos, el número de las lecturas mayor menos el número de las lecturas menor:

$$R = X \text{ mayor} - X \text{ menor}$$

Si tomamos como ejemplo las primeras cinco lecturas tenemos:

$$R = 85.6 - 85.6 = 0.0$$

$$R = 85.7 - 85.6 = 0.1$$

$$R = 85.7 - 85.4 = 0.3$$

$$R = 85.5 - 85.4 = 0.1$$

$$R = 85.5 - 85.2 = 0.3 \quad \text{y así sucesivamente...}$$

Los resultados se encuentran en las Tablas del ANEXO 1.

c) Para calcular el Rango promedio se realizan cálculos similares a los que se hicieron con la Media, utilizando la siguiente fórmula:

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

Con los resultados obtenidos de los rangos realizamos los siguientes cálculos:

$$\bar{R} = \frac{(0.0+0.1+0.3+0.1+0.3+0.2+0.5+0.1+0.6+0.3+0.5+0.5+0.2+0.1+0.4+0.5+0.2+0.1+0.4+0.0+0.4+0.2+0.0+0.2+0.5+0.5+0.1+0.0+0.1+0.3+0.1+0.1+0.0+0.2+0.2+0.4+0.8+0.1+0.5+0.5+0.0+0.1+0.1+0.3+0.4+0.6+0.3+0.2+0.4+0.3+0.2+1.2+0.6+0.3+0.1+0.0+0.1+0.0+0.1+0.0+0.1+0.4+0.0+0.1+0.3+0.1+0.1+0.1+0.3+0.3+0.2+0.1+0.1+0.2+0.0+0.2+0.1+0.1+0.3+0.1+0.2+0.3+0.5+0.1+0.1+0.3+0.4+0.3+0.1+0.3+0.3+0.2+0.1+0.4+0.1+0.7+0.2+0.2+0.1+0.1+0.4+0.0+0.3+0.2+0.1+0.3+0.0+0.0+0.1+0.1+0.2+0.0+0.3+0.0+0.2+0.1+0.2+0.1+0.1) / (n-1)}$$

$$\bar{R} = \frac{27.9}{(125-1)} = 0.225$$

d) Para calcular la desviación estandar (DESV. STD) se hace con la siguiente fórmula :

$$\text{DESV. STD.} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

donde  $d_2 = 1.130$   
sustituyendo los valores:

$$\text{DESV. STD.} = \frac{0.225}{1.13} = 0.1991$$

e) El Limite Superior de Control para la  $\bar{X}$  (LSCx) se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{LSCx} = \bar{X} + (E_2 * \bar{R})$$

donde  $E_2 = 2.66$   
sustituyendo los valores:

$$\text{LSCx} = 85.4768 + (2.66 * 0.225) = 86.0753$$

f) Calculamos el Limite Inferior de Control para la  $\bar{X}$  (LICx) con la siguiente fórmula:

$$\text{LICx} = \bar{X} - (E_2 * \bar{R})$$

sustituyendo los valores:

$$\text{LICx} = 85.4768 - (2.66 * 0.225) = 84.8783$$

g) Enseguida se calcula el Limite Superior de Control de Rangos (LSC) con la siguiente fórmula:

$$\text{LSC} = D_4 * \bar{R}$$

donde  $D_4 = 3.267$   
sustituyendo los valores:

$$\text{LSC} = 3.267 * 0.225 = 0.7350$$

h) Para calcular el Limite Inferior de Control de Rangos (LIC) se tiene la siguiente fórmula:

$$\text{LIC} = D_3 * \bar{R}$$

donde  $D_3 = 0.0$   
sustituyendo los valores:

$$D_3 = 0.0 * 0.225 = 0.0$$

En este momento ya se tienen los siguientes valores:

$$\bar{X} = 85.4768$$

$$\bar{R} = 0.225$$

$$LSCx = 86.0753$$

$$LICx = 84.8783$$

$$LSC = 0.7350$$

$$LIC = 0.0$$

Estos datos son colocados en el lado izquierdo de las primeras cinco gráficas de control en el ANEXO 2, de la propiedad del H3PO4 85% grado técnico.

Con estos datos se pueden calcular el Cp y el Cpk. Estos valores que vamos a obtener a continuación, son para ver si los procesos que tenemos son potencialmente hábiles, es decir, si nuestro proceso opera bajo las especificaciones que se requiere, en caso de que nuestro proceso no sea potencialmente capaz se tomarán las medidas necesarias para que entre en los requerimientos deseados.

i) Cálculo para la habilidad potencial del proceso o capacidad del proceso (Cp):

$$Cp = \frac{(LSE - LIE)}{(6 * DESV. STD.)}$$

sustituyendo los valores:

$$Cp = \frac{(86 - 85)}{(6 * 0.1991)} = 0.8370$$

Tenemos que

Cp > 1 = 1 Proceso potencialmente capaz. para  $\pm 3 \sigma$   
 Cp < 1 Proceso potencialmente no capaz.

j) Cálculo para la habilidad real del proceso (Cpk):

$$Cpk = Zmin/3$$

$$Zsuperior = (LSE - \bar{X})/DESV. STD.$$

$$Zinferior = (\bar{X} - LIE)/DESV. STD.$$

donde Zmin es el valor entre Zsuperior y Zinferior.

sustituyendo los valores:

$$Zsuperior = (86 - 85.4768)/0.1991 = 2.6276$$

$$Zinferior = (85.4768 - 85)/0.1991 = 2.3945$$

por lo que la Zminima = 2.3945

$$Cpk = 2.3945/3 = 0.7981$$

Tenemos que:

$Cpk > 1.33$  Proceso realmente hábil. para  $\pm 3 \sigma$   
 $Cpk < 1.33$  Proceso realmente no hábil.

Con los resultados obtenidos del  $C_p$  y  $C_{pk}$  se puede ver que aún el proceso no se encuentra operando bajo las especificaciones requeridas, por lo que se deben tomar las medidas pertinentes para el mejoramiento del mismo. Estos resultados son puestos en la parte central superior de las gráficas de control numeradas del 1 al 5 en este ANEXO .

III. Ya teniendo nuestros límites de control, lo que se tiene que hacer a continuación es colocar la escala del lado derecho , teniendo en cuenta que la proporción que se tenga al hacer la escala debe ser la misma que se guarde cuando se quiera llegar al LSCx desde la Media, como la que se tenga que hacer cuando se disminuyan los valores para llegar al LICx desde la Media. De la misma manera se hace la escala para el Rango Promedio, colocando el valor del Rango Promedio aproximadamente a la mitad de la gráfica.

IV. Con los límites de especificación (86 y 85) se hace una escala en la cual debe abarcar dichos límites y también los límites de control. (LSCx y LICx). Esta escala se debe colocar en el espacio reservado para la gráfica de especificaciones que se encuentra en la parte inferior izquierda de la gráfica de control. Enseguida se trazan cuatro líneas, dos correspondientes a los límites de especificación y otras dos correspondientes a los límites de control. Esta última gráfica nos permite ver de manera clara como se esta comportando el proceso comparado con lo que requiere el cliente. Como se puede ver en las cinco primeras gráficas de control de este ANEXO , los límites de especificación se encuentran adentro del rango de los límites de control, por lo que el proceso no se encuentra aún con las especificaciones deseadas.

V. Ahora que ya se tiene todos los datos que se requirieren en las gráficas de control, se procede a poner los datos siguientes que se vayan dando en el transcurso del tiempo en el espacio dedicado a las lecturas, anotando el mes y el número de lote o carga correspondiente y calculando el rango para inmediatamente después de hacer esto, ir graficando puntualmente cada dato en la gráfica de medias y rangos, como se observa en las gráficas del 1 al 5 de este ANEXO.

VI. Al ir graficando los puntos de las lecturas y los rangos, se deben de ir analizando bajo los criterios correspondientes a los contenidos en el ANEXO 3, esos criterios indican con mayor prontitud si existe algun comportamiento similar en los resultados del proceso ayudando a tener un criterio más amplio al poner las observaciones en el espacio indicado par ello. Es importante que cada vez que se tenga alguna observación se coloca el comentario con el número de lectura que le corresponda para poder identificar donde fue la falla.

VII. Con estas observaciones que se dieron, se procedió a sacar las causas que podrían ser las que ocasionaban estas desviaciones por medio de una lluvia de ideas, dando la pauta para elaborar los diagramas de causa y efecto como se observa en el ANEXO 4, para poder atacar con prontitud los problemas que se tienen.

VIII. Como la producción se sigue dando y no se puede parar el proceso, el mejoramiento se va dando de acuerdo al tiempo, por lo que se agruparon las causas principales en el proceso en general, para ver cuales son las que se repiten más veces elaborando así un diagrama de pareto como se puede observar en el ANEXO 5.

IX. De esta manera las soluciones que se plantearon para atacar el problema se pueden observar en el ANEXO 6, las cuáles inmediatamente se pusieron en práctica.

X. Con los nuevos datos que se tienen en las gráficas del 1 al 5 en este ANEXO, se calculan los límites de control para la gráfica de media y de rangos, se saca la media, el rango promedio, el Cp y el Cpk con las mismas fórmulas obteniendo los siguientes datos:

$$\bar{X} = 85.3920$$

$$\bar{R} = 0.1816$$

$$LSCx = 85.8752$$

$$LICx = 84.9087$$

$$LSC = 0.5935$$

$$LIC = 0.0$$

$$Cp = 1.0366$$

$$Cpk = 0.8127$$

Estos datos se colocan en las próximas gráficas de control numeradas del 6 al 10. Estos resultados corresponden al grupo de datos número dos.

XI. Se vuelve a hacer el mismo procedimiento para la escala y para la gráfica de especificaciones, solo que ahora nos podemos dar cuenta que el LSCx se encuentra adentro de especificación sin embargo el LICx aun no, comprobándolo en el resultado del Cp y Cpk que aun no cumplen con el criterio que llevan.

XII. Se siguen tomando medidas necesarias, apoyadas con las acciones que se tomaron en el ANEXO 6, anotando las lecturas de las cargas que corresponden a las gráficas numeradas del 6 al 10 de este ANEXO.

XIII. Con los datos del segundo y tercer grupo, se realizaron los histogramas correspondientes como se ve en el ANEXO 7, al hacer la comparación se observa que el histograma del grupo tres el centro de la curva contiene mayor número de datos disminuyendo también los datos que se encontraban en el área de  $3\sigma$  en el segundo grupo.

XIV. Con estos datos obtenidos se nota notablemente que casi ya no existen puntos que sobresalen los límites de control. Se espera a que se tengan otras 125 lecturas para volver a hacer los cálculos pertinentes obteniendo:

$$\bar{\bar{X}} = 85.4592$$

$$\bar{R} = 0.1275$$

$$LSCx = 85.7983$$

$$LICx = 85.12$$

$$LSC = 0.4165$$

$$LIC = 0.0$$

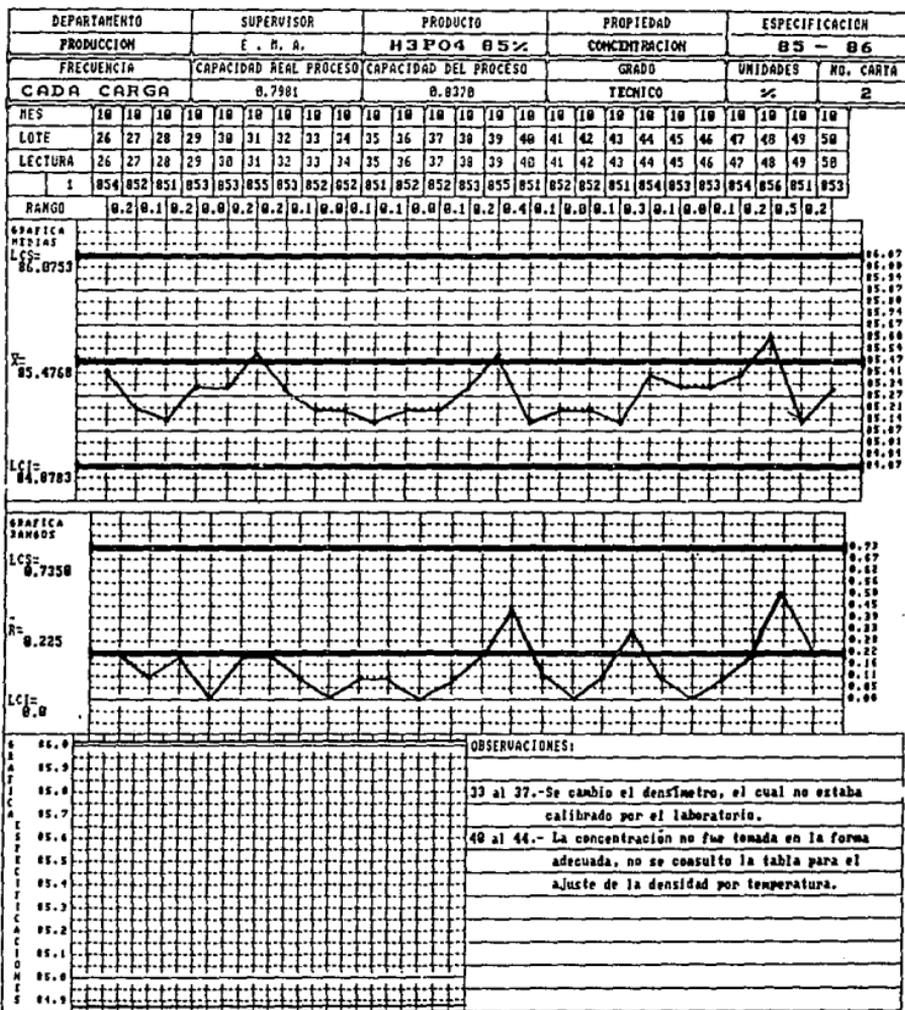
$$Cp = 1.4771$$

$$Cpk = 1.3565$$

Con estos últimos datos los valores de los límites de control ya se encuentran adentro de las especificaciones requeridas por el cliente como se puede observar más claramente en la gráfica de especificaciones de la gráfica No.11 de este ANEXO. Se puede ver que el intervalo nuevo es más reducido, esto nos indica que el proceso empieza a seguir una tendencia más competitiva en el mercado.



## CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (X-R)

















61  
**CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (X-R)**

DEPARTAMENTO		SUPERVISOR										PRODUCTO										PROPIEDAD										ESPECIFICACION									
PRODUCCION		E. N. A.										H3PO4 85%										CONCENTRACION										85 - 86									
FRECUENCIA					CAPACIDAD REAL PROCESO					CAPACIDAD DEL PROCESO					GRADO					UNIDADES					NO. CARTA																
CADA CARGA					0.8127					1.0366					TECNICO					%					10																
MES	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01									
LOTE	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250																
LECTURA	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125																
1	855	855	856	855	855	853	854	855	855	856	855	855	854	854	856	856	855	853	851	852	853	852	850	850	853																
RANGO	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0	0.3																	
GRAFICA MEPIAF																																									
LCS= 85.8752																																									
R= 85.3920																																									
LCI= 84.9887																																									
GRAFICA RANGOS																																									
LCS= 0.5935																																									
R= 0.1816																																									
LCI= 0.0																																									
C R A F I C A															OBSERVACIONES:																										
85.9															Hubo una mejora en la supervisión y operación.																										
85.9																																									
85.9																																									
85.7																																									
85.4																																									
85.5																																									
85.4																																									
85.3																																									
85.2																																									
85.0																																									
84.9																																									



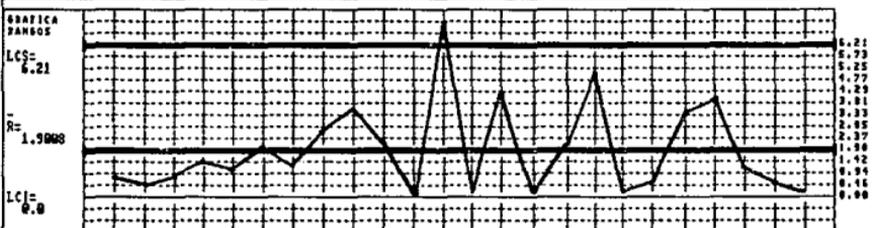
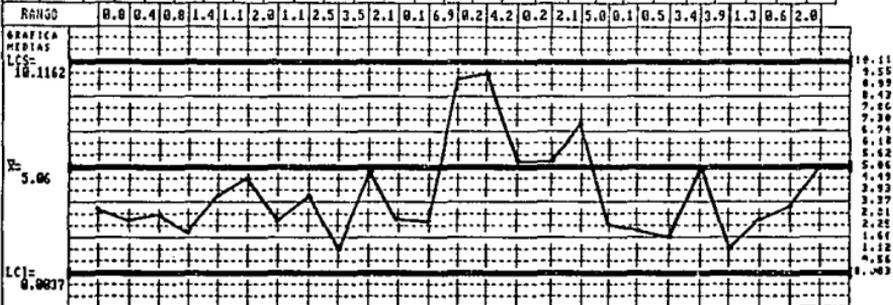




CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (X-R)

DEPARTAMENTO	SUPERVISOR	PRODUCTO	PROFIEDAD	ESPECIFICACION
PRODUCCION	E. n. A.	H3PO4 85%	FERRO	8 - 10
FRECUENCIA	CAPACIDAD REAL PROCESO	CAPACIDAD DEL PROCESO	GRADO	UNIDADES
CADA CARGA	0.9789	0.9907	TECNICO	ppm
				3

MES	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11			
LOTE	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	
LECTURA	1	3.2	2.4	2.8	2.0	3.4	4.5	2.5	3.6	1.1	4.6	2.5	2.4	9.3	9.5	5.3	5.1	7.2	2.2	2.1	1.6	5.0	1.1	2.4	3.0	5.0



<p style="text-align: center;">OBSERVACIONES:</p> <p>51 al 59.- Hubo una mejora en la supervisión y operacion.</p> <p>63 y 64.- Se encontro que el tanque de almacenamiento tenia roto el recubrimiento.</p> <p>67.- Contaminación de fierro por fuga en la base de la torre (concreto con varilla de fierro)</p>	
---	--



























# ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

## CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (X-R)

DEPARTAMENTO	SUPERVISOR	PRODUCTO	PROPIEDAD	ESPECIFICACION
PRODUCCION	E. N. A.	H3PO4 75%	CONCENTRACION	75 - 76
FRECUENCIA	CAPACIDAD REAL PROCESO	CAPACIDAD DEL PROCESO	GRADO	UNIDADES
CADA CARGA	0.6351	0.8219	ALIMENTICIO	PPM
				6

MES	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12			
LOTE	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
LECTURA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	1	752	752	754	753	753	754	753	753	753	753	752	752	753	752	752	754	752	752	752	752	751	752	752	754
RANGO	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	

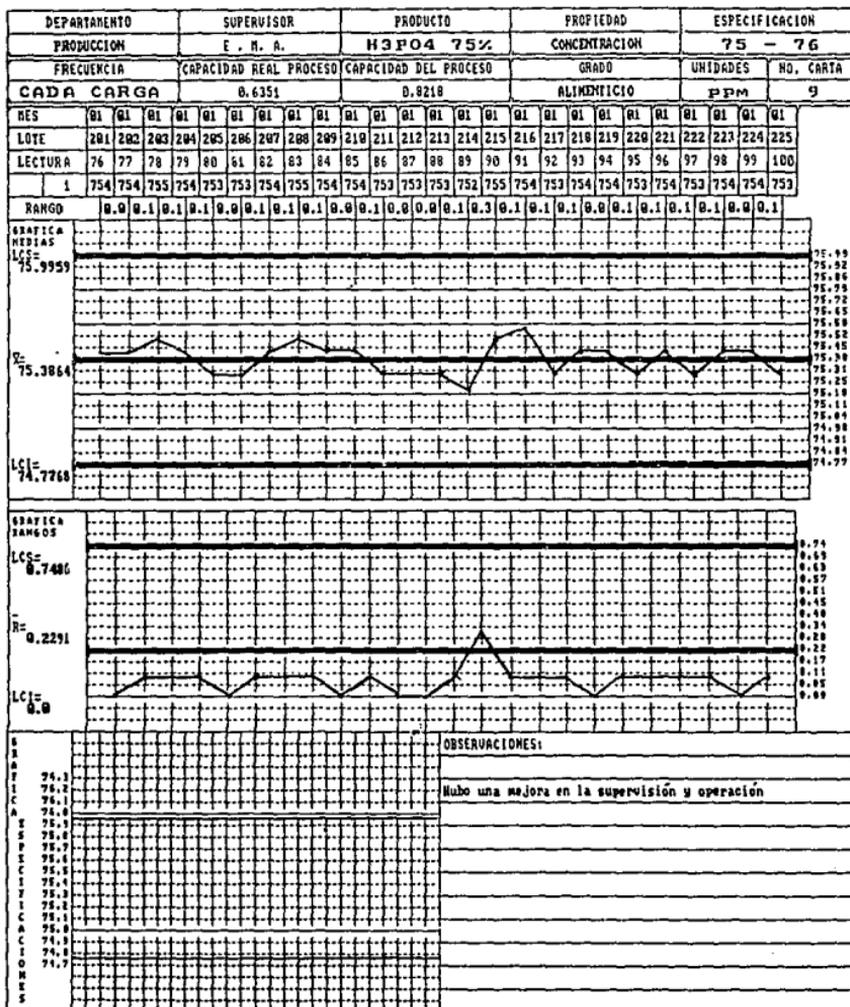


	OBSERVACIONES:
M 74.3	
F 76.2	
T 76.1	
C 76.0	
A 76.9	
Z 76.9	
P 76.7	
I 75.6	
C 75.4	
T 75.3	
I 75.1	
C 76.1	
A 76.0	
C 74.9	
I 74.8	
D 74.7	
H	
T	





## CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (X-R)

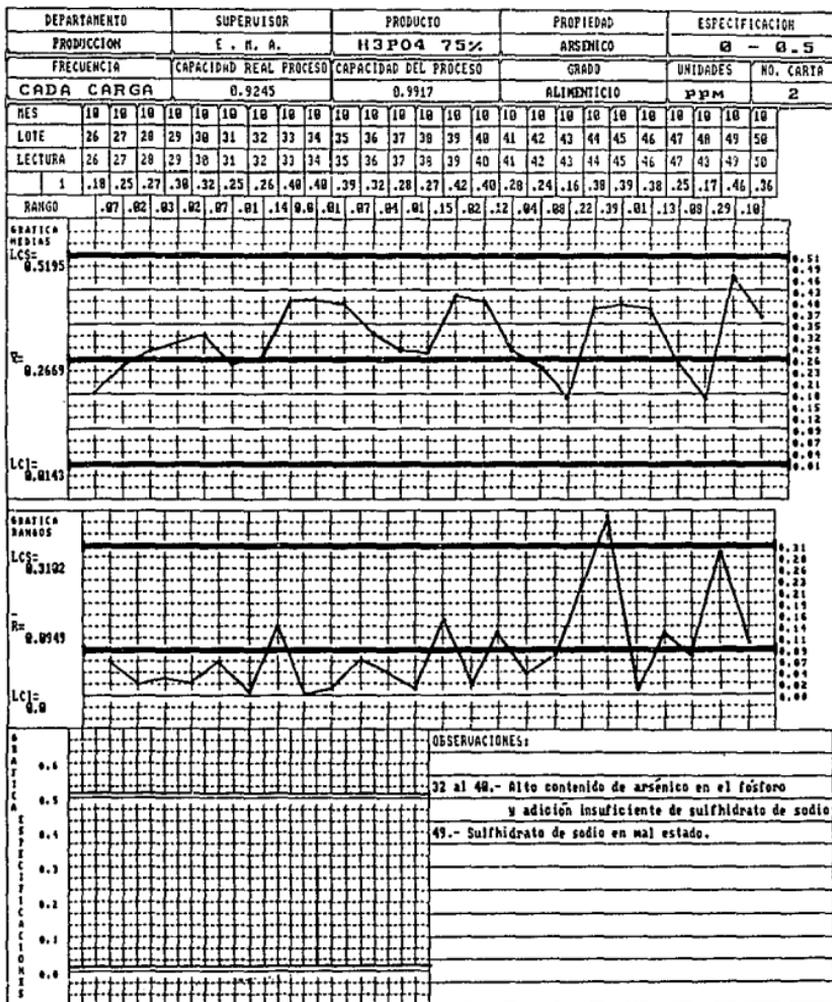




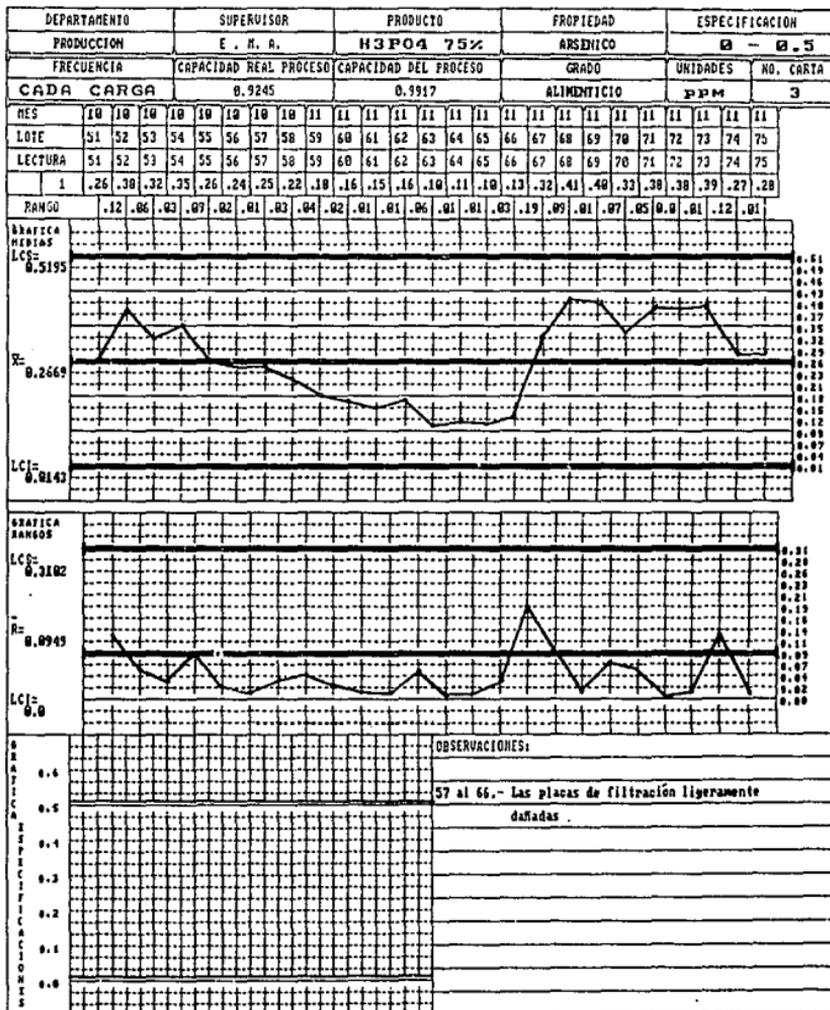




## CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (X-R)



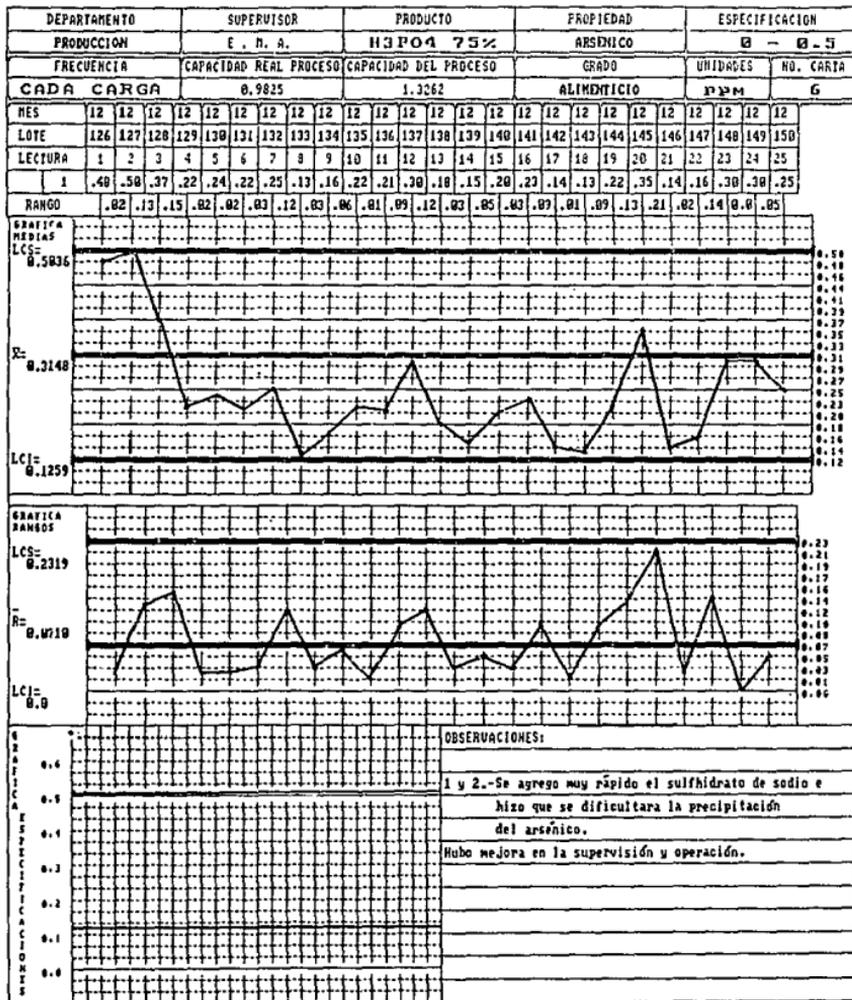
## CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (X-R)



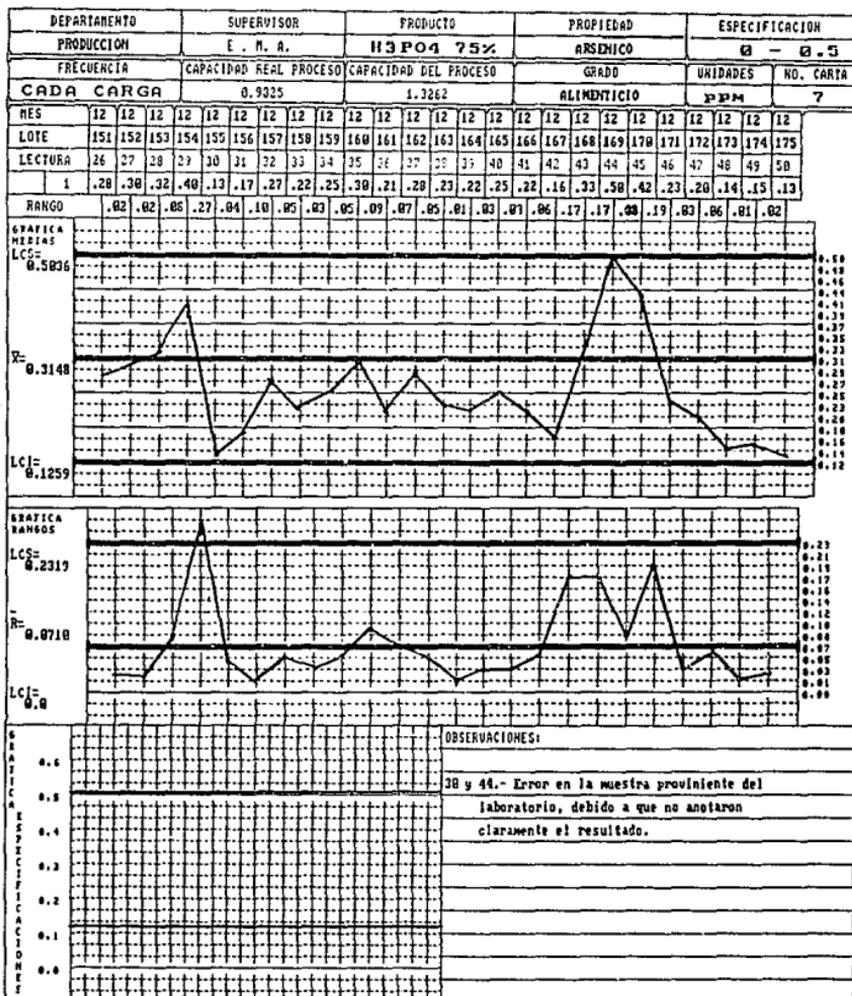




## CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (X-R)



## CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (X-R)









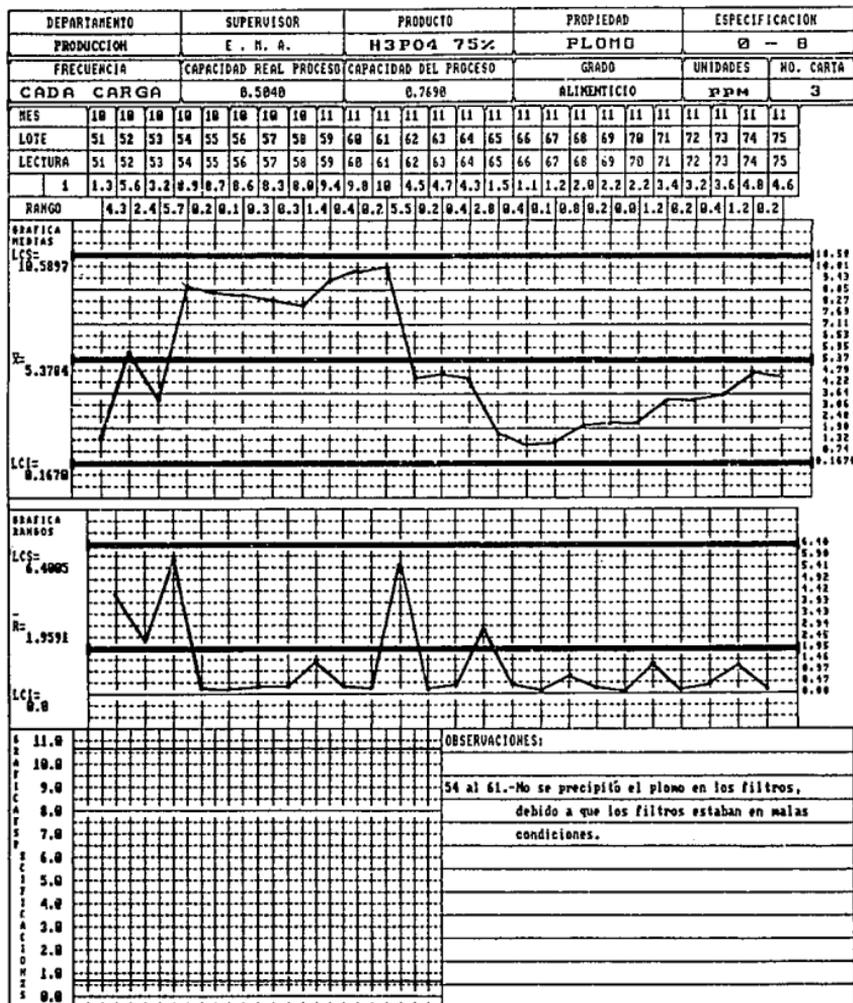
CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (X-R)

DEPARTAMENTO	SUPERVISOR					PRODUCTO					PROPIEDAD					ESPECIFICACION												
PRODUCCION	E. N. A.					H3PO4 75%					ARSENICO					0 - 0.5												
FRECUENCIA		CAPACIDAD REAL PROCESO					CAPACIDAD DEL PROCESO					GRADO					UNIDADES	NO. CARTA										
CADA CARGA		1.3556					1.3763					ALIMENTICIO					ppm	11										
RES																												
LOTE																												
LECTURA																												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25				
RANGO																												
GRAFICA																												
MEDIAS																												
LCS= 0.4282																												
R= 0.2462																												
LCI= 0.0642																												
0.42																												
0.40																												
0.38																												
0.36																												
0.34																												
0.32																												
0.30																												
0.28																												
0.26																												
0.24																												
0.22																												
0.20																												
0.18																												
0.16																												
0.14																												
0.12																												
0.10																												
0.08																												
0.06																												
GRAFICA																												
RANGOS																												
LCS= 0.2235																												
R= 0.0684																												
LCI= 0.0																												
0.22																												
0.20																												
0.18																												
0.16																												
0.14																												
0.12																												
0.10																												
0.08																												
0.06																												
0.04																												
0.02																												
0.01																												
0.00																												
OBSERVACIONES:																												
0.5																												
0.4																												
0.3																												
0.2																												
0.1																												
0.0																												





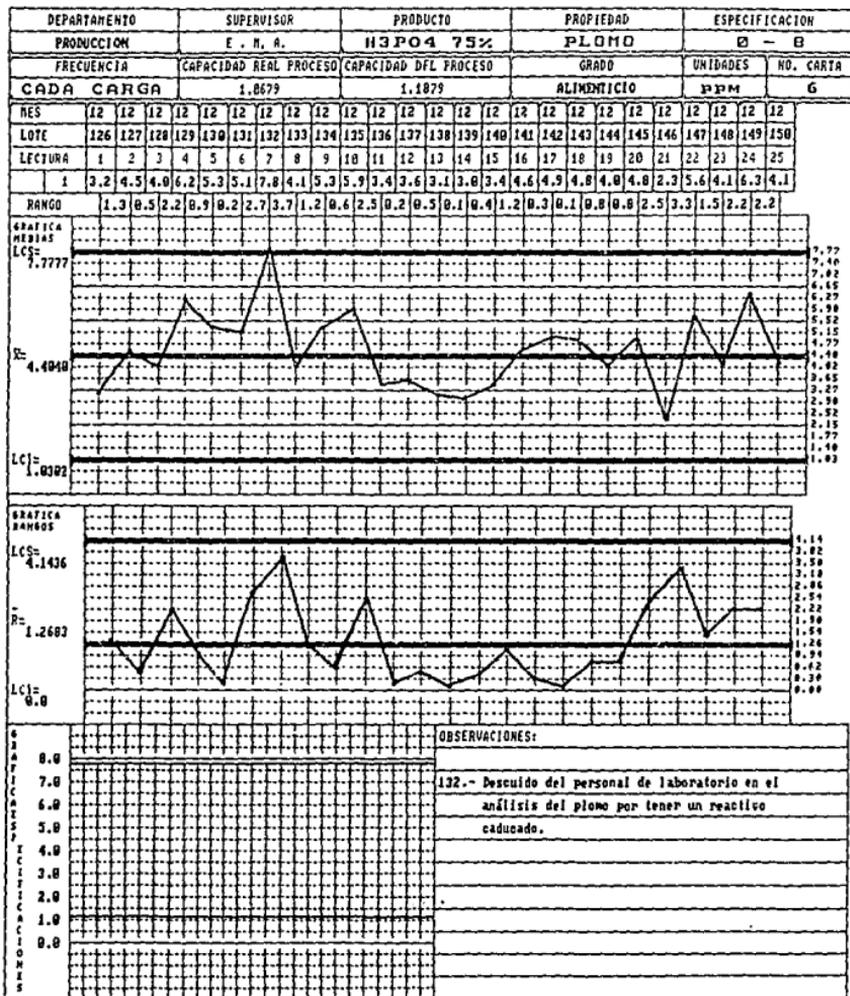
## CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (X-R)







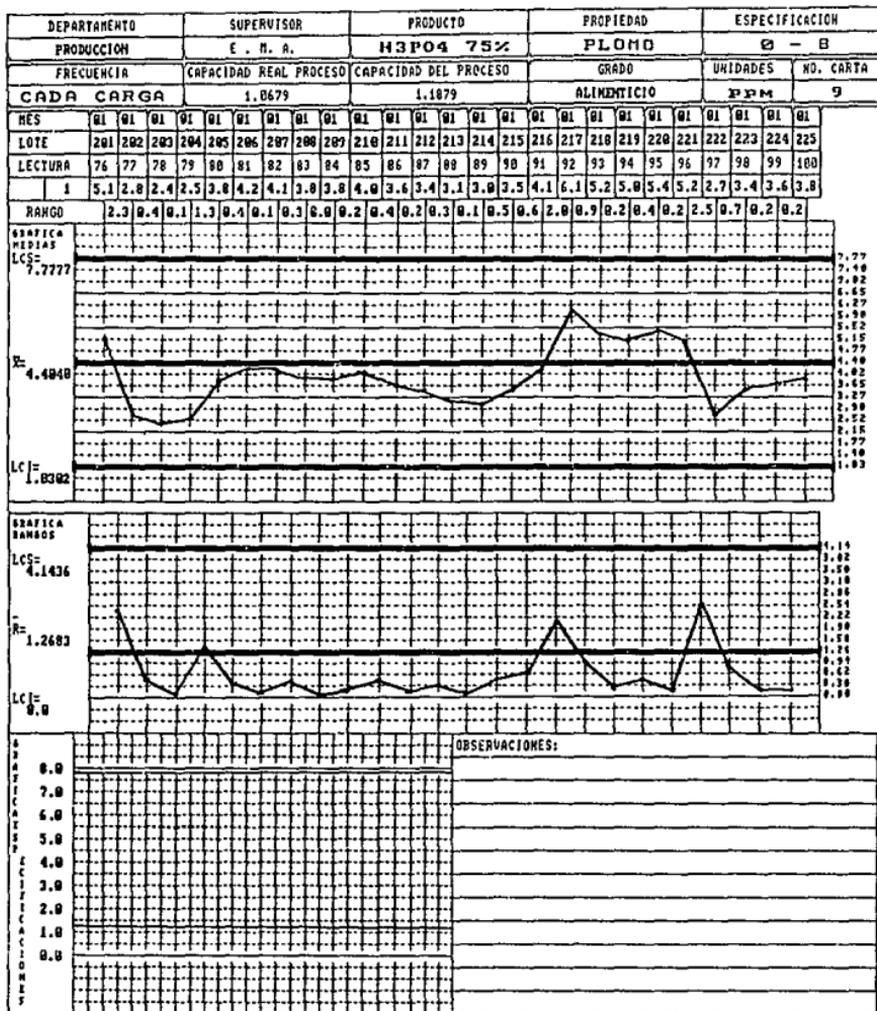
## CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (X-R)







## CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (X-R)





## CARTA DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES (X-R)

DEPARTAMENTO	SUPERVISOR		PRODUCTO		PROPIEDAD		ESPECIFICACION				
PRODUCCION	E. N. A.		H3PO4 75%		PLOMO		Ø - Ø				
FRECUENCIA	CAPACIDAD REAL PROCESO		CAPACIDAD DEL PROCESO		GRADO		UNIDADES		NO. CARTA		
CADA CARGA	1.8923		1.9891		ALIMENTICIO		ppm		11		
MES											
LOTE											
LECTURA											
1											
RANGO											
GRAFICA MEDIAS											
Lc = 6.0639											
R = 3.9648											
Lc = 1.8656											
GRAFICA RANGOS											
Lc = 2.5782											
R = 0.7891											
Lc = 0.0											
SERIES											
0.0											
7.0											
6.0											
5.0											
4.0											
3.0											
2.0											
1.0											
0.0											
OBSERVACIONES:											

ANEXO 3  
Interpretación  
de  
Gráficas de Control

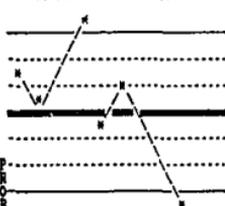
# INTERPRETACION DE LOS GRAFICOS DE CONTROL (X-R)

UNA GRAFICA DE CONTROL SE CONSTITUYE DE LA SIGUIENTE FORMA:

Limite de Control Superior	----- Zona A
	----- Zona B
	----- Zona C
Media de medias o Promedio	----- Zona C
	----- Zona B
Limite de Control Inferior	----- Zona A

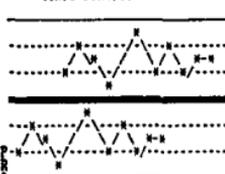
CUANDO ALGUNA DE LAS SIGUIENTES TENDENCIAS SE OBSERVA EN EL GRAFICO ( X ) SE DICE QUE EL PROCESO ESTA "FUERA DE CONTROL" Y ES NECESARIO TOMAR ACCION CORRECTIVA CUANDO LAS ENCUENTRE :

1 ) Uno o mas puntos caen fuera de los limites de control



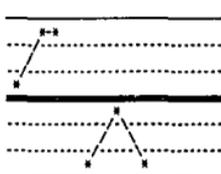
- a) Cambios en el material y equipo  
b) Operador o maquina nueva  
c) Cambio en calibracion de equipo  
d) Error en las mediciones

2c ) Nueve puntos consecutivos en un mismo lado de la linea central



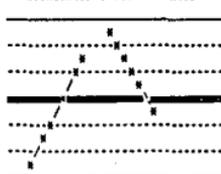
- a) Variacion en el sistema de medicion  
b) Mejora en supervision y operacion  
c) Cambio en estandares

2a ) Dos de tres puntos consecutivos sobre la ZONA A del mismo lado de la linea central



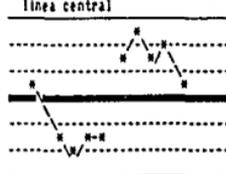
- a) Cambio de operadores a intervalos regulares  
b) Operador o maquina nueva  
c) Cambios en el material  
d) Mala calibracion de instrumentos

2d ) Seis puntos consecutivos ascendentes o descendentes



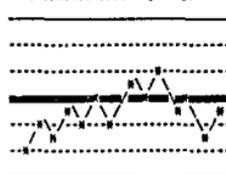
- a) Fatiga del operador  
b) Cambio gradual en la homogeneidad de la calidad de la materia prima  
c) Retorno en equipo de produccion operador  
d) Variacion en las condiciones ambientales  
e) Cambio gradual en estandares

2b ) Cuatro de cinco puntos consecutivos en la ZONA B o mas alla de ella en el mismo lado de la linea central



- a) Cambio de operadores a intervalos regulares  
b) Cambios en el material  
c) Metodo modificado

2e ) Catorce puntos consecutivos alternando arriba y abajo



- a) Fatiga de operador  
b) Variacion en las condiciones ambientales  
c) Cambio de operadores a intervalos regulares  
d) Diferencia en operacion y/o medicion

CAMBIOS EN OPERACION

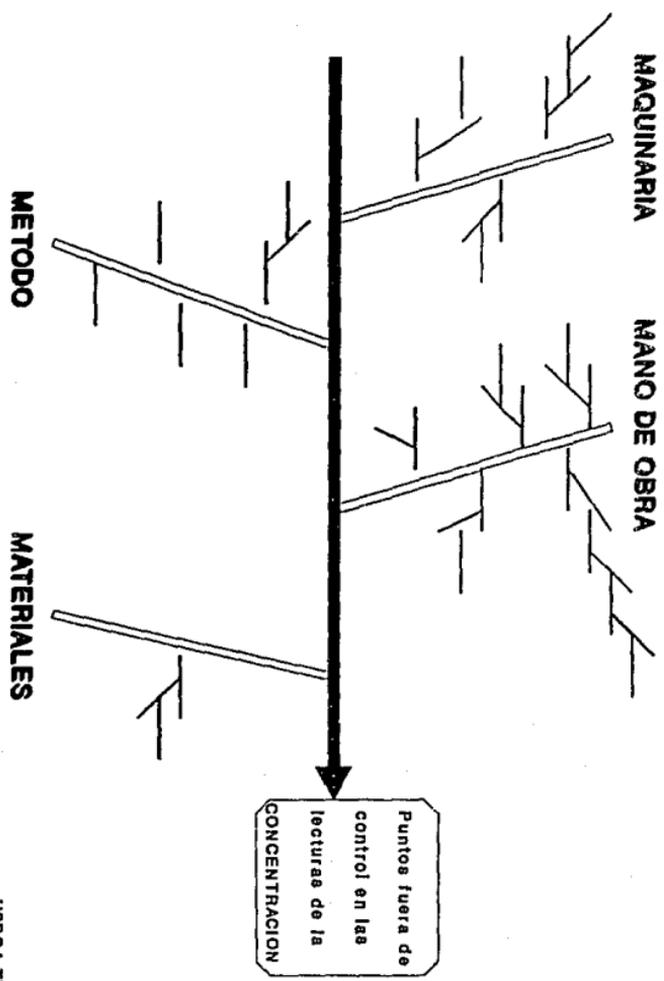
CAMBIOS EN OPERACION

ANEXO 4

Diagrama Causa - Efecto

# DIGRAMA CAUSA-EFECTO

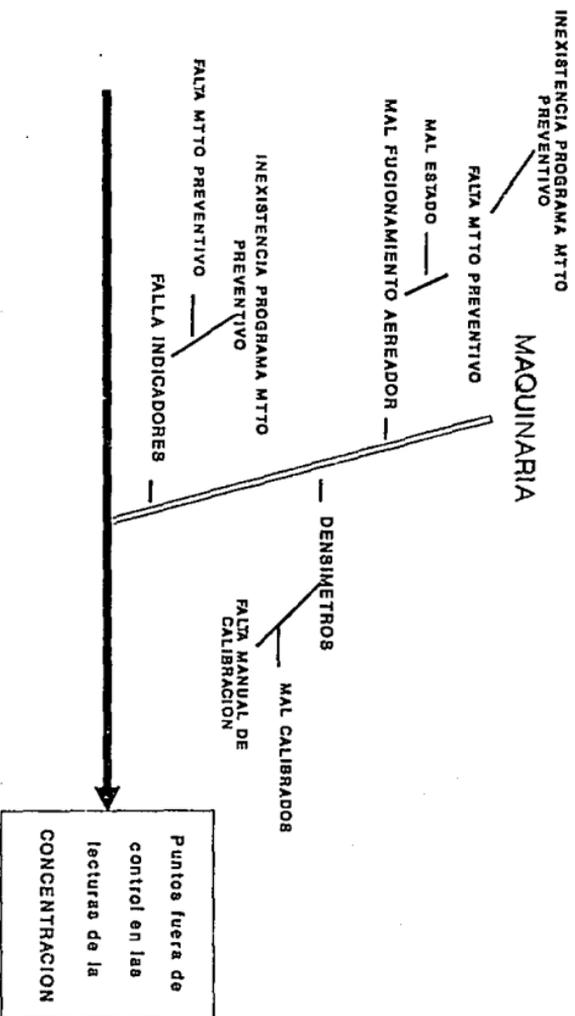
H3PO4 85%



H3PO4 TECNICO

# DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

H3PO4 85%

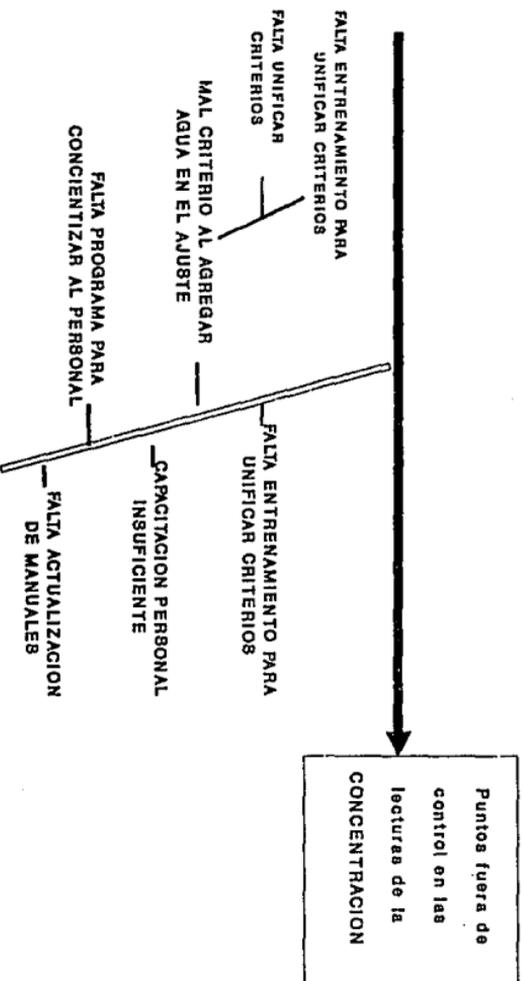


H3PO4 TECNICO



# DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

H3PO4 85%

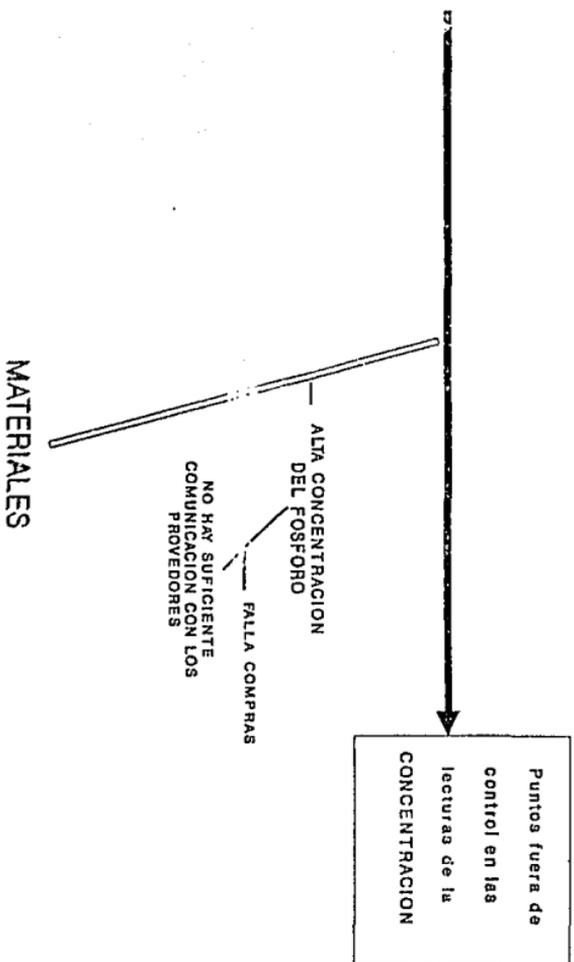


METODO

H3PO4 TECNICO

# DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

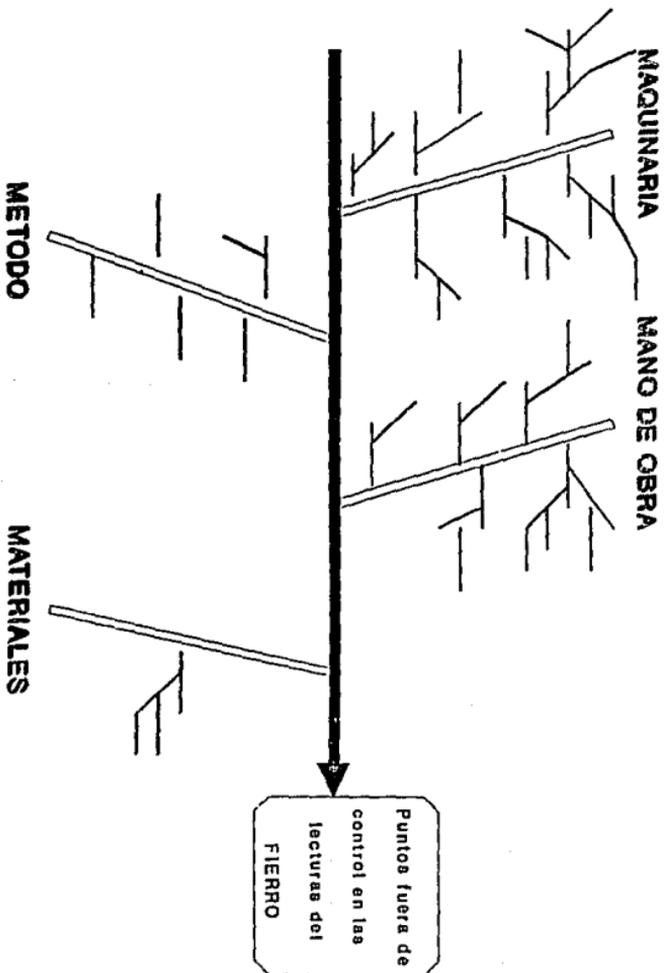
H3PO4 85%



H3PO4 TECNICO

# DIGRAMA CAUSA-EFECTO

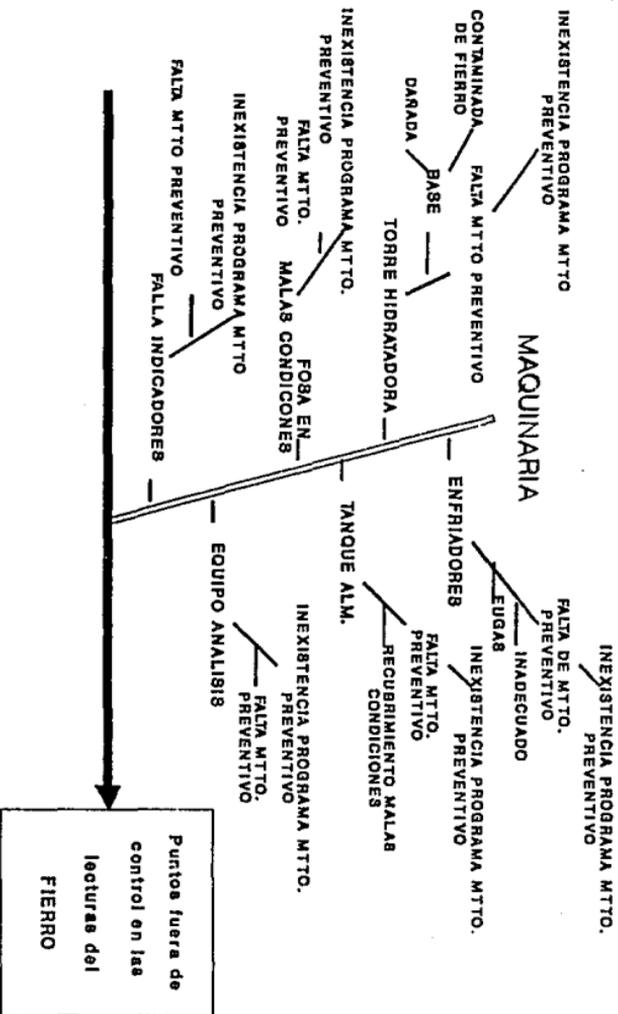
H3P04 85%



H3P04 TECNICO

# DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

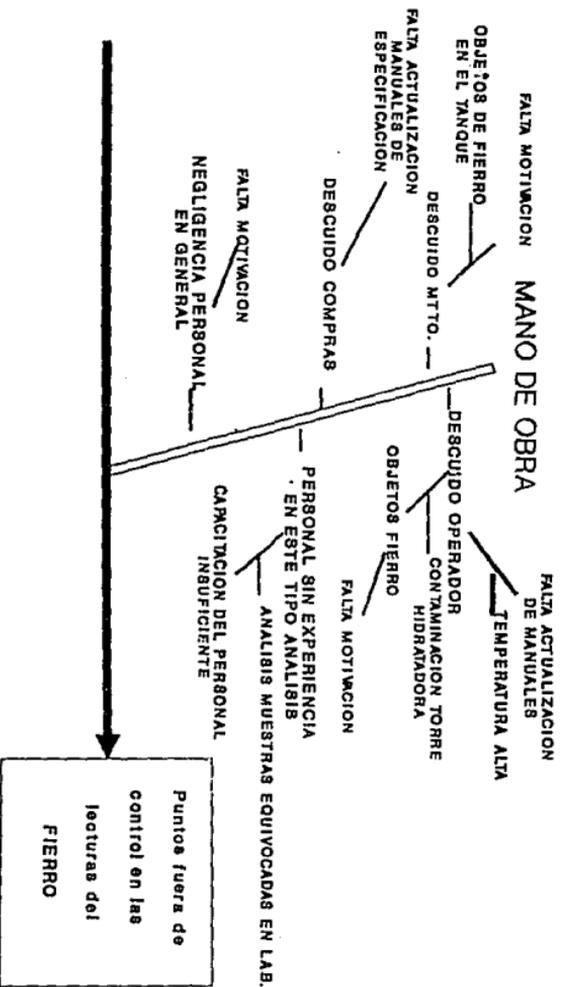
H3P04 85%



H3P04 TECNICO

# DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

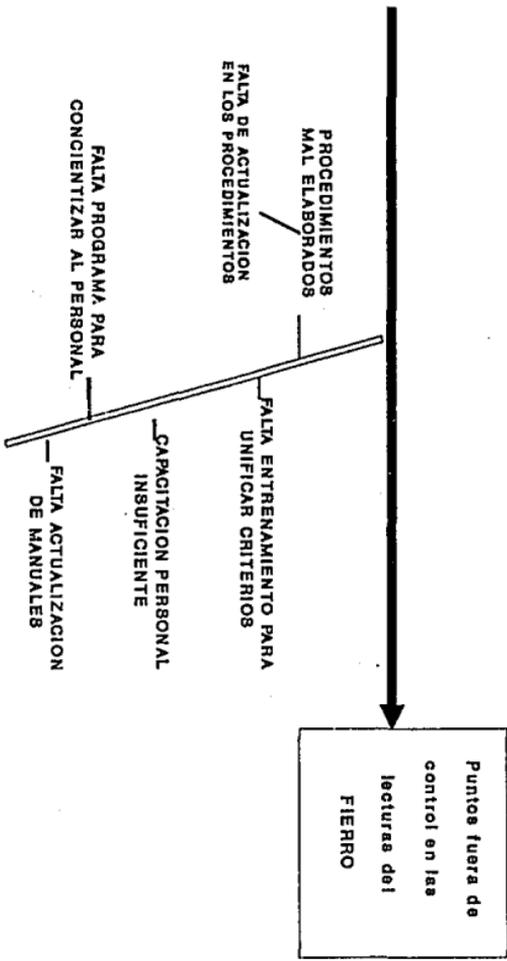
H3P04 85%



H3P04 TECNICO

# DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

H3PO4 85%

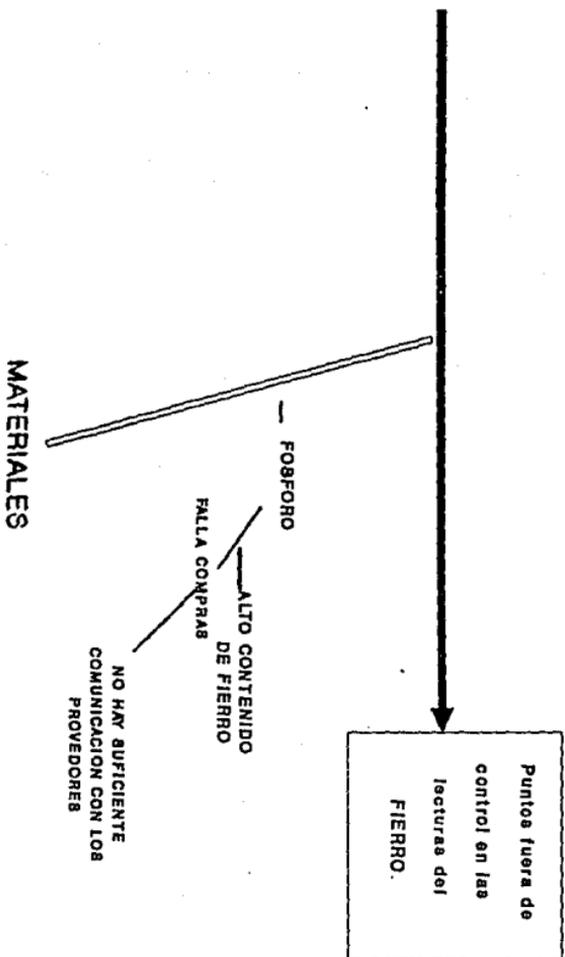


METODO

H3PO4 TECNICO

# DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

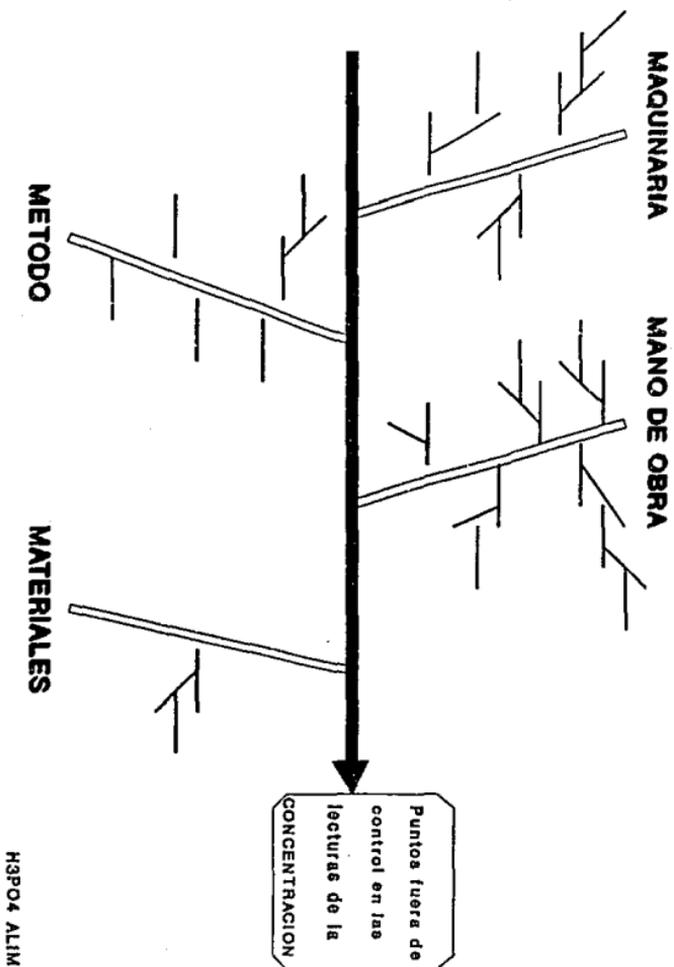
H3PO4 85%



H3PO4 TECNICO

# DIGRAMA CAUSA-EFECTO

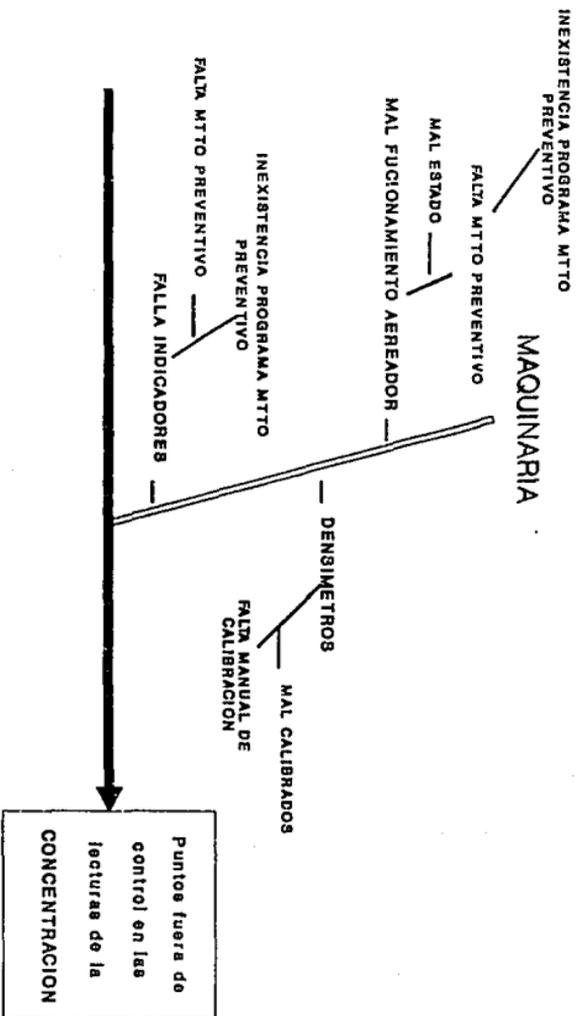
H3PO4 75%



H3PO4 ALIMENTICIO

# DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

## H3P04 75%

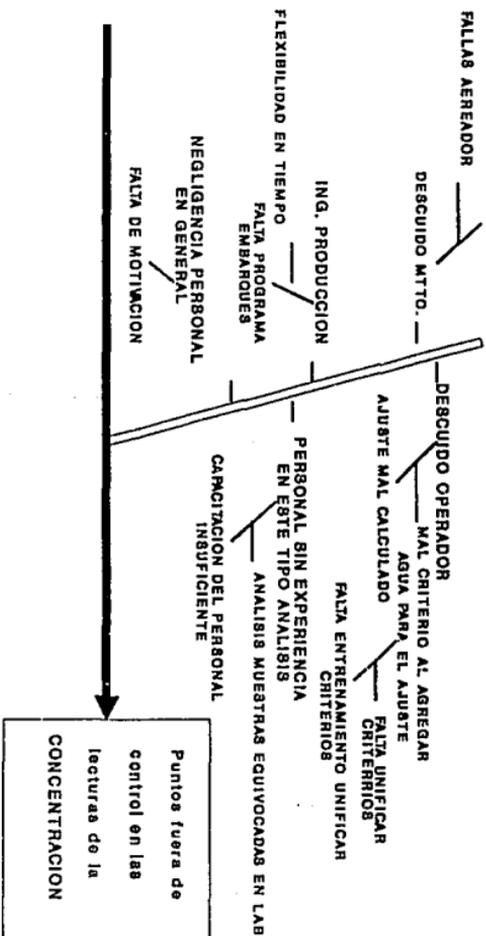


H3P04 ALIMENTICIO

# DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

H3PO4 75%

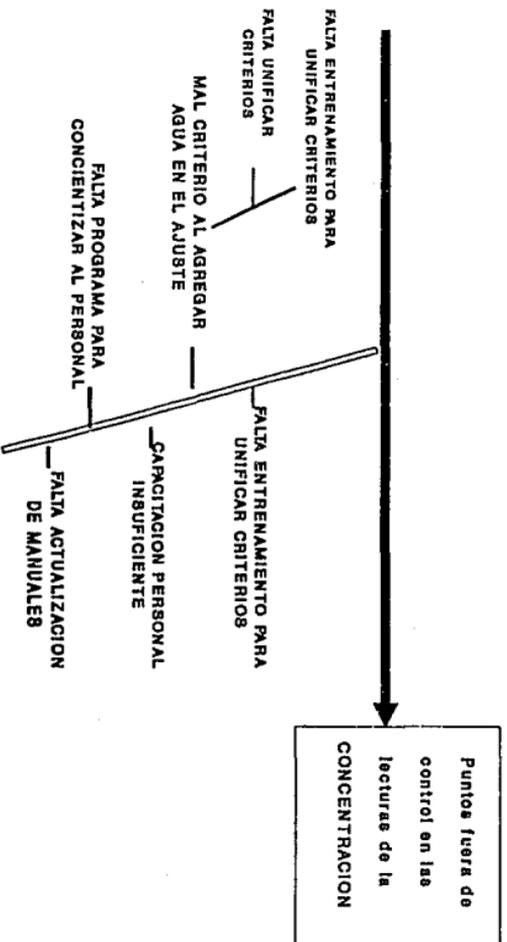
FALTA MOTIVACION MANO DE OBRA



H3PO4 ALIMENTICIO

# DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

H3P04 75%

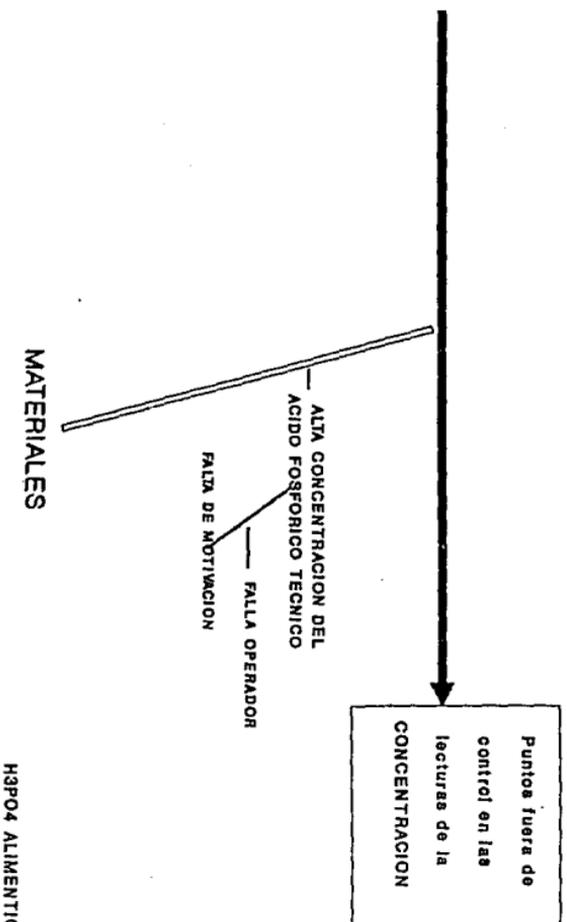


METODO

H3P04 ALIMENTICIO

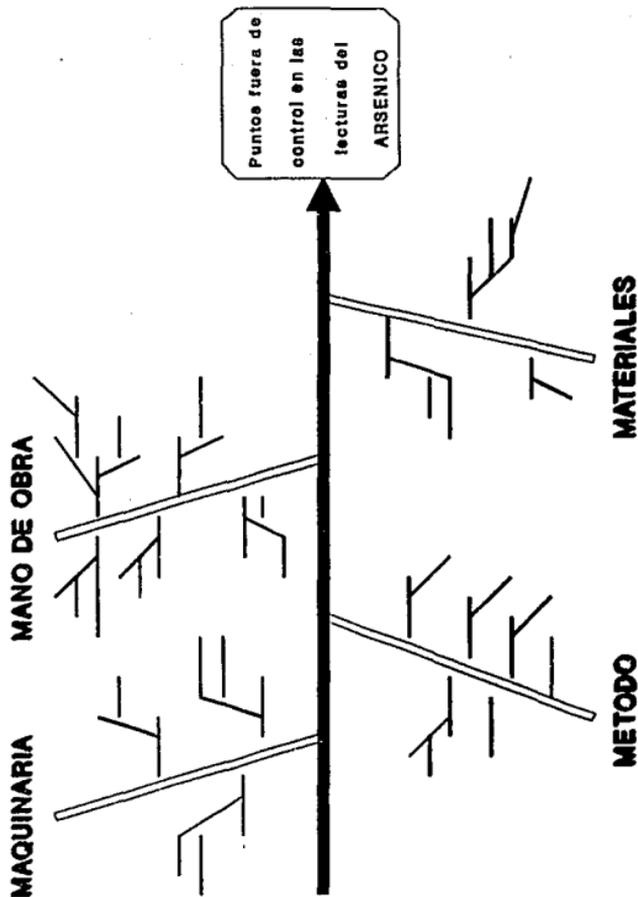
# DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

H3PO4 75%



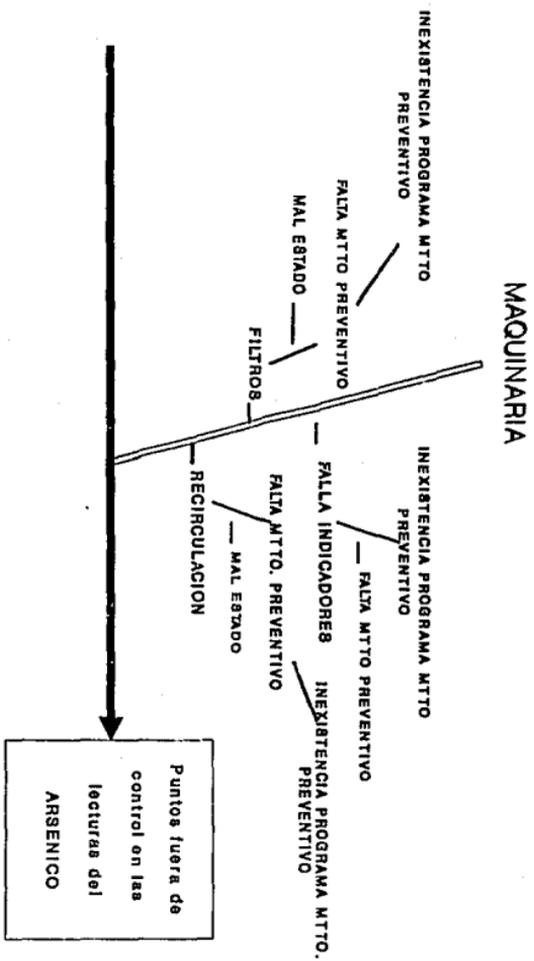
# DIGRAMA CAUSA-EFECTO

H3PO4 75%



# DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

## H3P04 75%



H3P04 ALIMENTICIO

# DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

H3PO4 75%

INEXISTENCIA PROGRAMA PARA UNIFICAR CRITERIOS

FALTA MOTIVACION MANO DE OBRA

FILTRO MAL ESTADO

DESCUIDO MTO.

FALTA COMUNICACION CON PROVEDORES

ALTO CONTENIDO DE ARSENICO  
DESCUIDO DE COMPRAS

NEGLIGENCIA PERSONAL EN GENERAL  
AGREGAR RAPIDO SULFIDRATO DE SODIO  
FALTA DE MOTIVACION/ASCRIPCION

FALTA ENTRENAMIENTO PARA UNIFICAR CRITERIOS

MAL PRECIPITACION DEL ACIDO

DESCUIDO OPERADOR

SULFIDRATO DE SODIO MAL ESTADO

FALTA MOTIVACION

PERSONAL SIN EXPERIENCIA EN ESTE TIPO ANALISIS  
ANALISIS MUESTRAS EQUIVOCADAS EN LAB.  
CAPACITACION DEL PERSONAL INSUFICIENTE

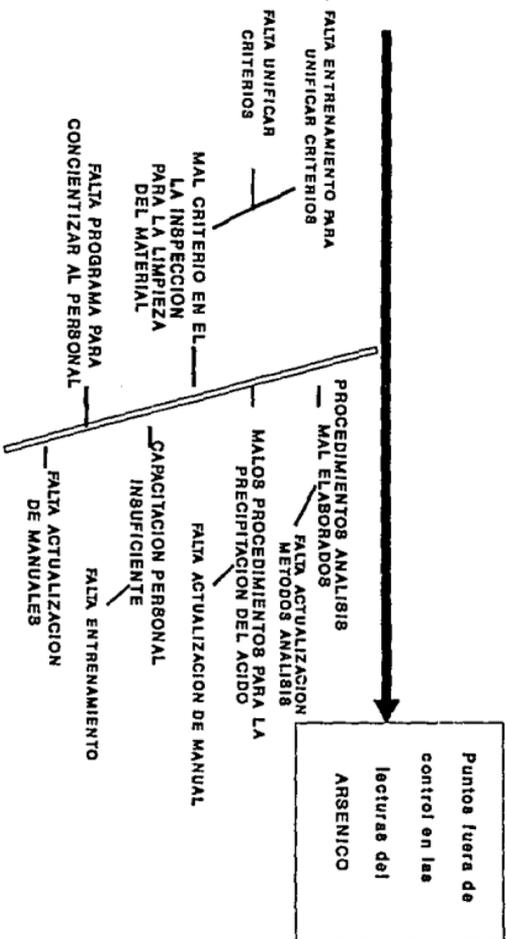
Punto fuera de control en las lecturas del

ARSENICO

H3PO4 ALIMENTICIO

# DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

H3P04 75%

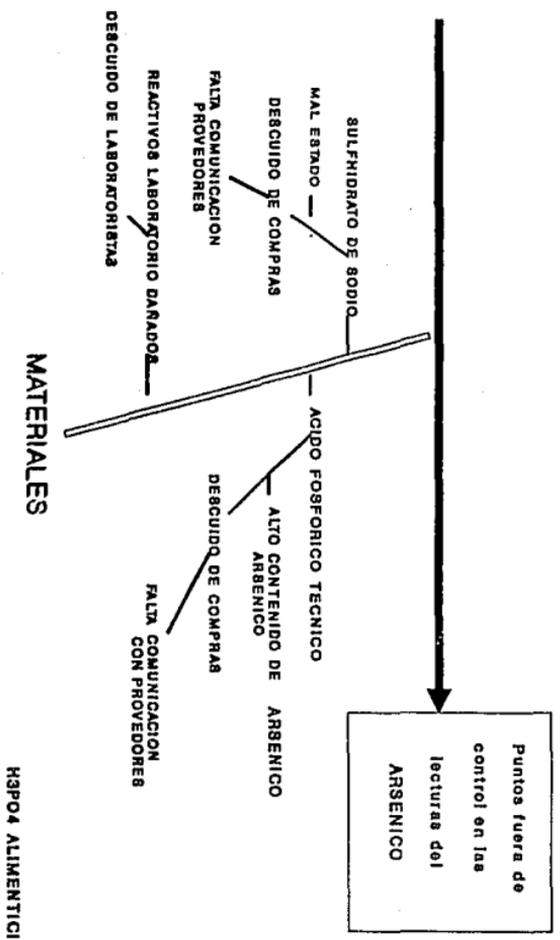


METODO

H3P04 ALIMENTICIO

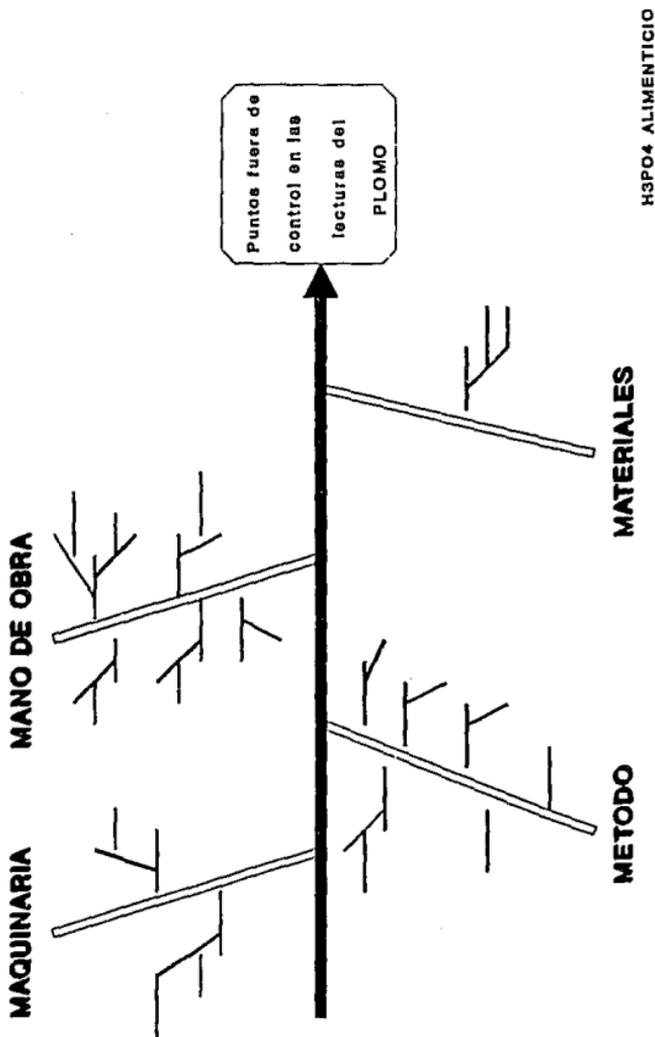
# DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

H3PO4 75%



# DIGRAMA CAUSA-EFECTO

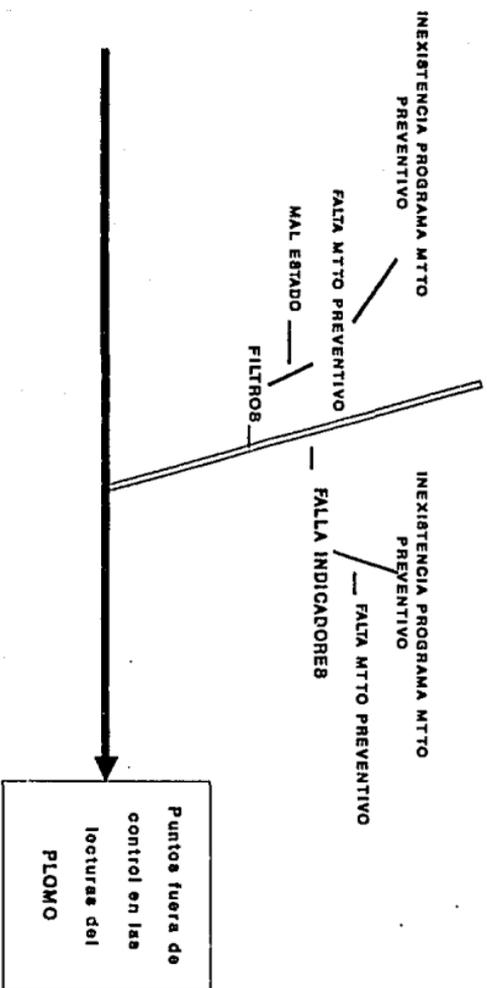
H3PO4 75%



# DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

H3PO4 75%

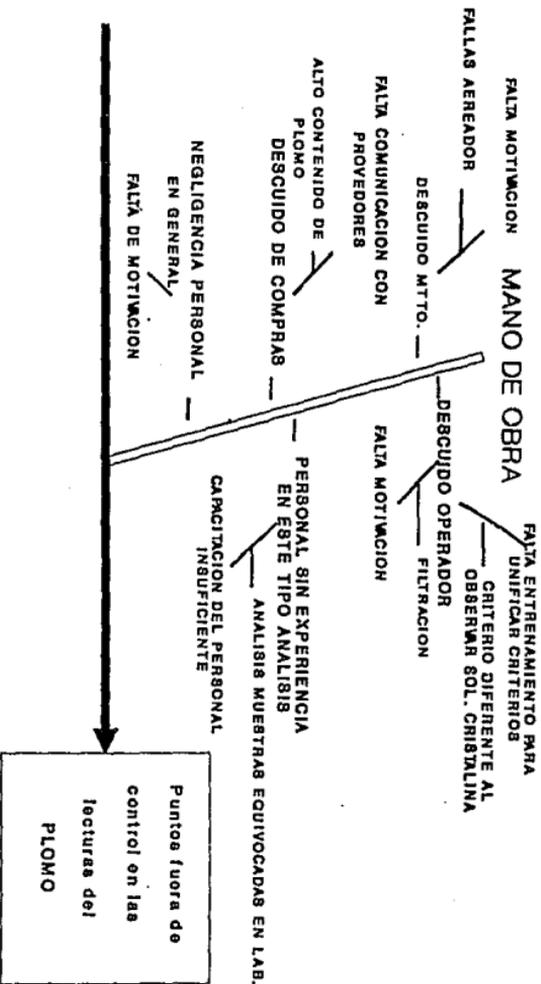
MAQUINARIA



H3PO4 ALIMENTICIO

# DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

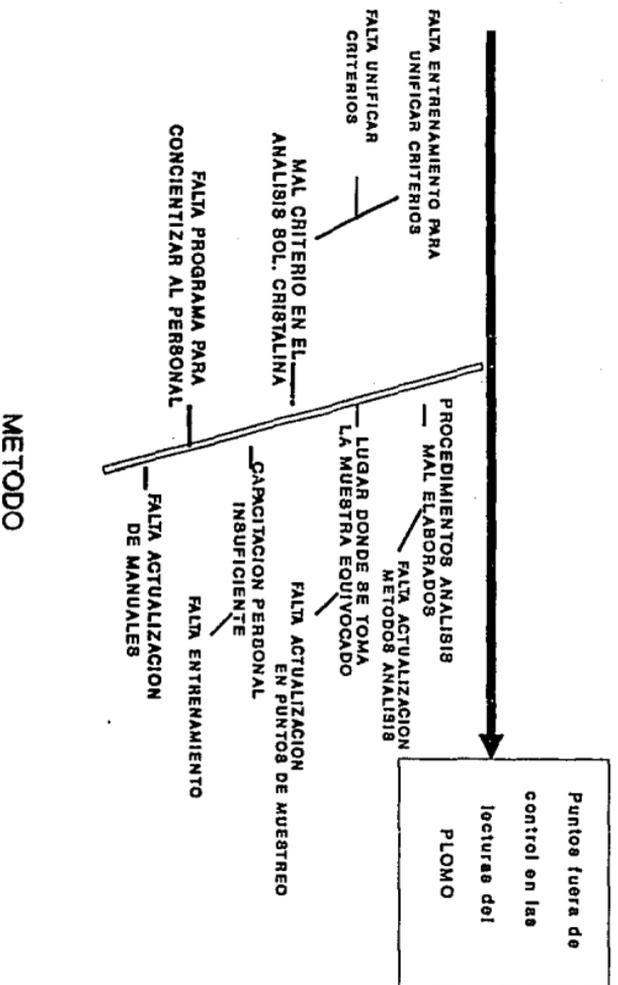
H3PO4 75%



H3PO4 ALIMENTICIO

# DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

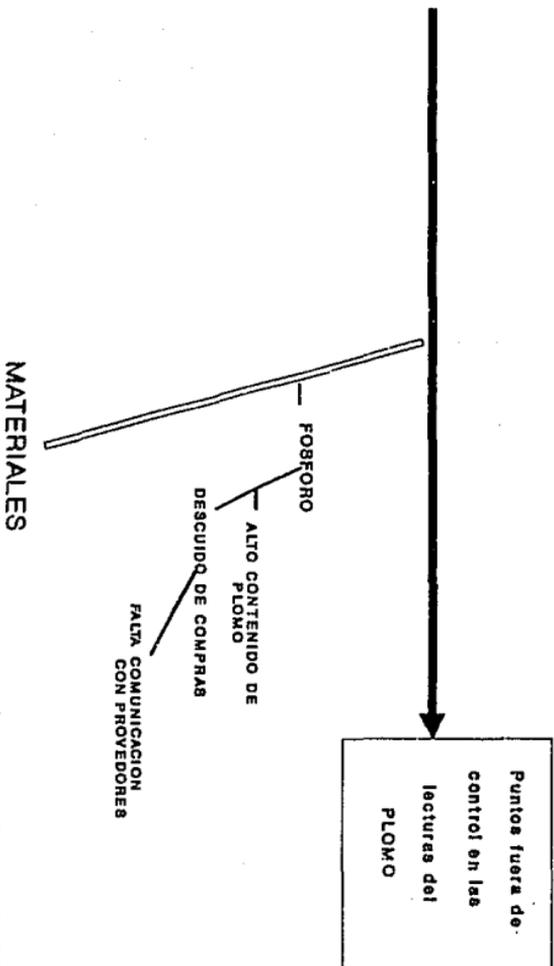
H3P04 75%



H3P04 ALIMENTICIO

# DIAGRAMA CAUSA-EFECTO

H3PO4 75%

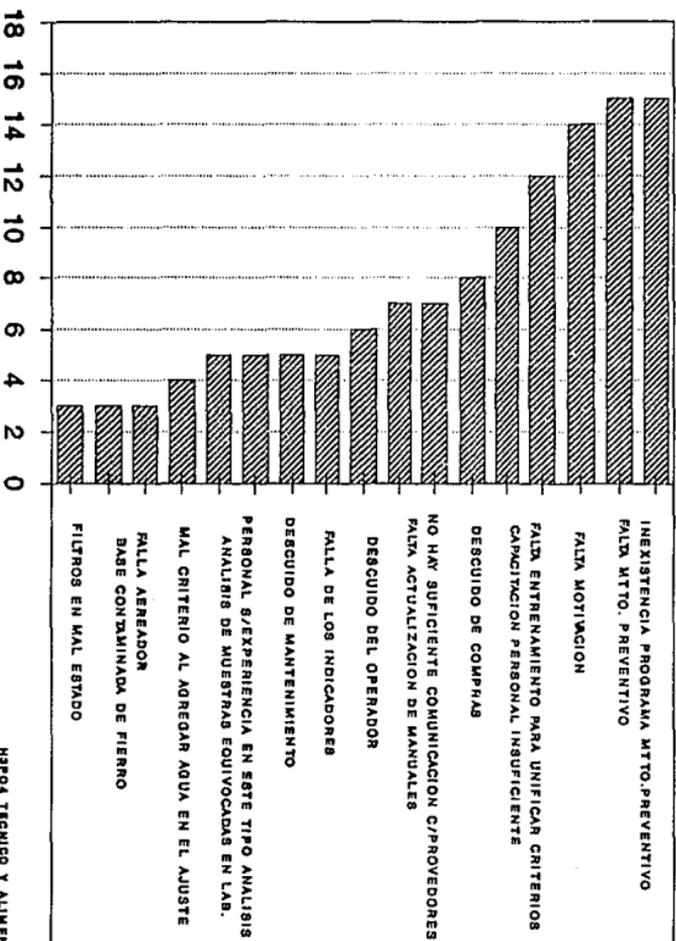


H3PO4 ALIMENTICIO

**ANEXO 5**

**Diagrama Pareto**

# DIAGRAMA DE PARETO



MAP04 TECNICO Y ALIMENTICIO

**ANEXO 6**

**Causas y Acciones a tomar**

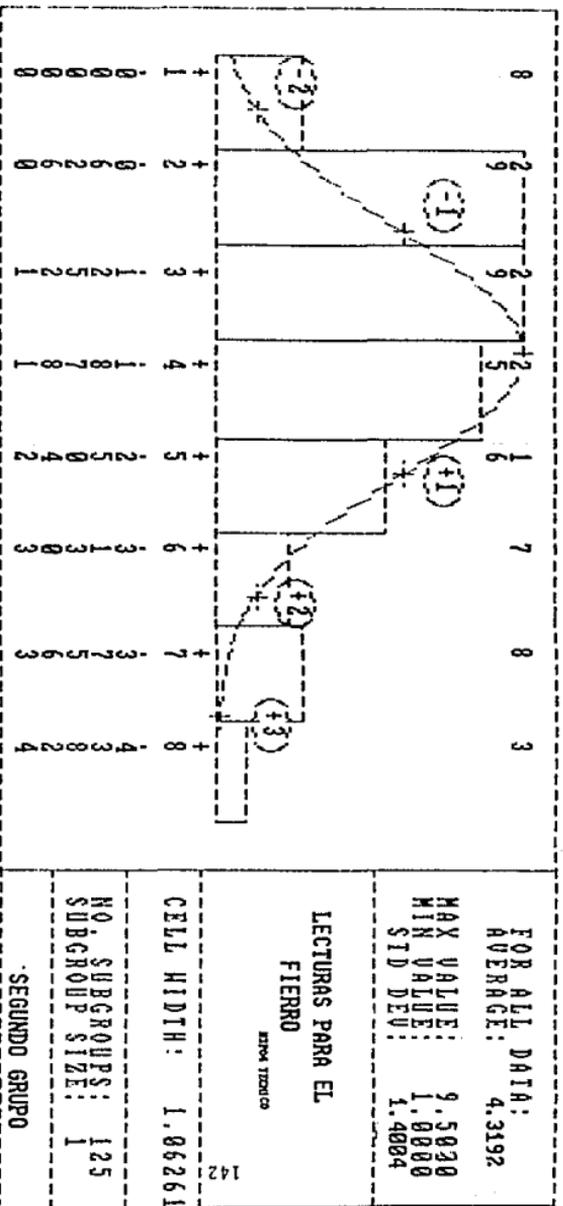
CAUSAS BASICAS	ACCIONES QUE SE TOMARON
Inexistencia de un programa de mantenimiento preventivo	Se elaboro un programa que se ajustara a las necesidades que requerian los equipos.
Falta de unificación de criterios.	Se capacitó al personal de cada area en las decisiones a las que deben enfrentarse, para que ya no hubieran discrepancias en la manera de reportar sus observaciones. Esto se hizo por grupos, platicando con ellos para homogenizar criterios.
Personal sin experiencia en los tipos de análisis que se requieren.	Se capacitó al personal del laboratorio y a los operadores mediante un curso específico, con análisis de prueba, durante una semana una hora diaria.
Falta de motivación en el personal	Se hicieron pláticas por grupos, para hacerles ver y sentir la importancia que se tiene en la correcta elaboración del trabajo que desempeña cada uno, en el area que le corresponde y como afecta cualquier error o mejora en las otras areas en general.
Falta de actualización en los metodos de análisis y en los manuales.	Se volvieron a elaborar procedimientos correctos, con base a las necesidades actuales en el proceso, para la producción como para los instrumentos que se utilizan.
Falta de comunicación entre el personal y los proveedores.	Se realizaron juntas para actualizar las especificaciones y características de los productos, que se necesitan para la materia prima.

CAUSAS BASICAS	ACCIONES QUE SE TOMARON
Falta de entrenamiento y capacitación de los operadores, en el reporte de los resultados en la producción.	Se realizo un curso de Control Estadístico de Proceso, para los operadores haciendo énfasis en las gráficas de control, de la importancia que tiene llevarlas actualizadas, con sus correspondientes observaciones en el instante en que ocurra cualquier desviación en los puntos graficados o en el proceso.
Falta de actualización de los puntos de muestreo	Se hicieron estudios en el laboratorio para que se determinara el lugar correcto, para tomar las lecturas que se tienen que sacar al momento de la producción.
Falta de un programa de embarque.	Se elaboro un programa que llevara un control mas severo en los pedidos de los productos y se platico con el personal de embarques de la importancia que tiene el tiempo de residencia del producto en su producción.
Las formulas para medir los tanques no estan actualizadas.	Se verificaron los calculos que realizan los operadores para la cubicación de tanques y se decidio actualizar sus procedimientos.
Mal estado de la base de la Torre-hidratadora.	Se mando reparar la base de la torre hidratadora, y se mando cubrir el canal por donde circula el acido fosfórico grado tecnico para evitar la contaminación de fierro.

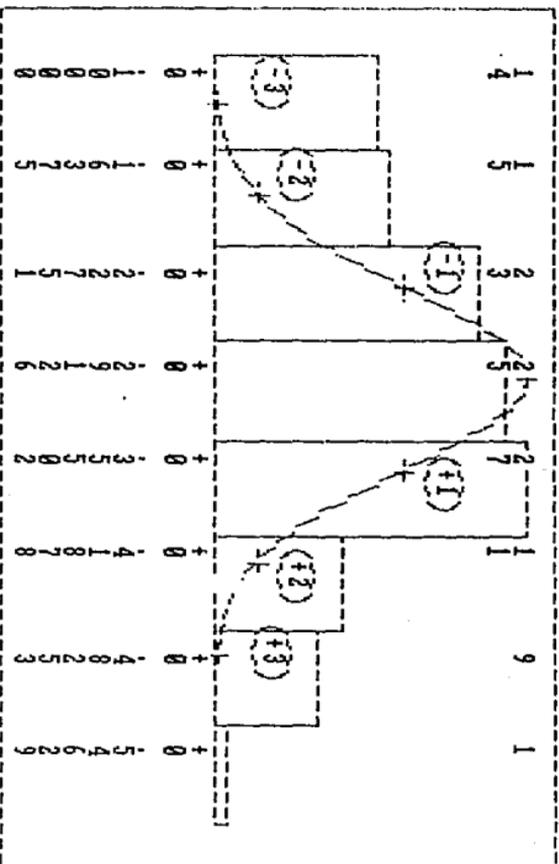
**ANEXO 7**

**Histograma**









FOR ALL DATA:  
 AVERAGE: 0.3148

MAX VALUE: 0.6100  
 MIN VALUE: 0.1000  
 STD DEV: 0.0628

LECTURAS PARA EL  
 ARSENICO

ADINA ALBARRICHO

CELL WIDTH: 0.06376

NO. SUBGROUPS: 125  
 SUBGROUP SIZE: 1

SEGUNDO GRUPO

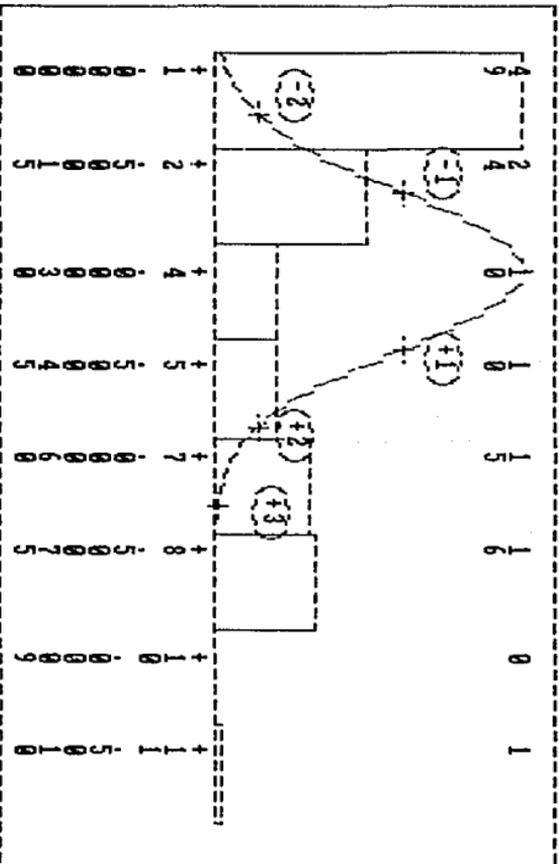
FOR ALL DATA:  
 AVERAGE: 4.4840  
 MAX VALUE: 13.0000  
 MIN VALUE: 1.0000  
 STD DEV: 1.2240

LECTURAS PARA EL

PLOMO

ENEM ALUMBRICIO

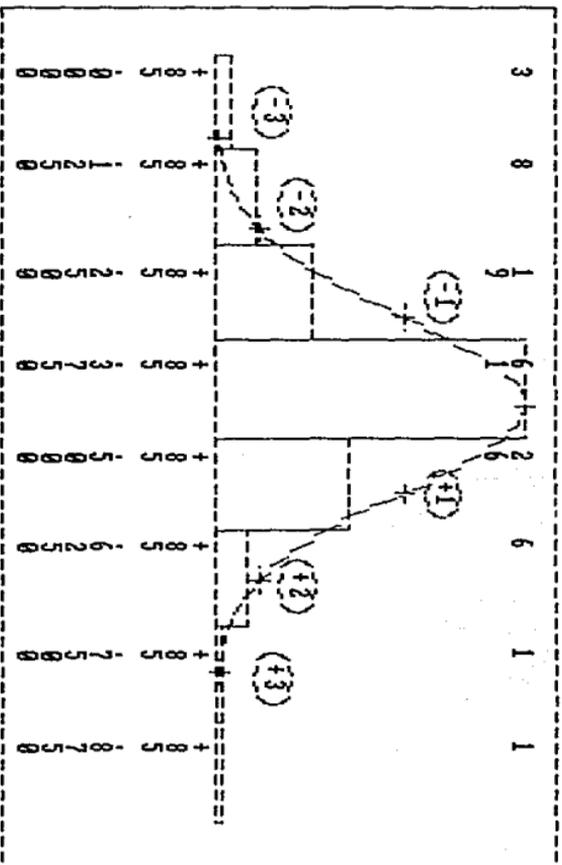
145



CELL WIDTH: 1.50015

NO. SUBGROUPS: 125  
 SUBGROUP SIZE: 1

SEGUNDO GRUPO



FOR ALL DATA:  
AVERAGE: 85.4592

MAX VALUE: 86.0000  
MIN VALUE: 85.0000  
STD DEV: 0.1128

LECTURAS PARA LA  
CONCENTRACION 85%

REPAS TECNICO

146

CELL WIDTH: 0.12501

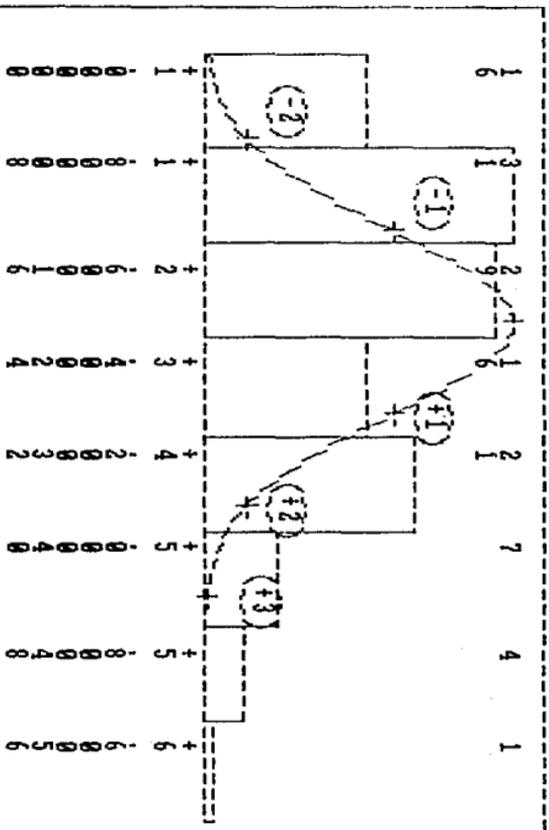
NO. SUBGROUPS: 125  
SUBGROUP SIZE: 1

TERCER GRUPO

FOR ALL DATA:  
 AVERAGE: 3.2528  
 MAX VALUE: 7.4000  
 MIN VALUE: 1.0000  
 STD DEV: 0.7743

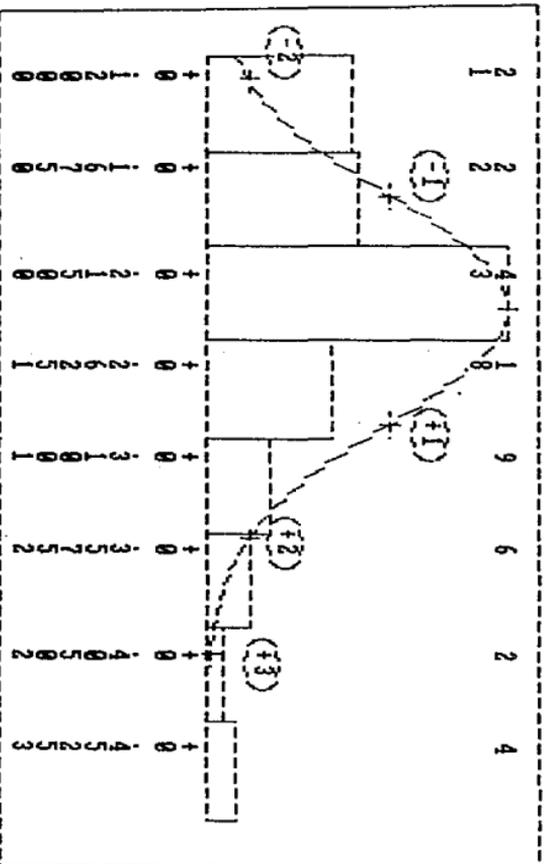
LECTURAS PARA EL  
 FIERRO  
 EXAM TECNICO

147



CELL WIDTH: 0.80008  
 NO. SUBGROUPS: 125  
 SUBGROUP SIZE: 1  
 TERCER GRUPO





FOR ALL DATA: 0.2462  
 AVERAGE:  
 MAX VALUE: 0.5000  
 MIN VALUE: 0.1200  
 STD DEV: 0.0605

LECTURAS PARA EL  
 ARSENICO  
 BIRM ALUMINICO  
 149

CELL WIDTH: 0.04750

NO. SUBGROUPS: 125  
 SUBGROUP SIZE: 1

TERCER GRUPO



**CONCLUSIONES**

**CONCLUSIONES**

El Control Estadístico de Proceso (CEP), es una herramienta estadística que ayuda a mejorar el control de nuestros procesos, y a poder predecir desviaciones en el mismo, dado que su filosofía es la prevención y no la corrección.

La implantación del CEP en la producción de ácido fosfórico técnico y alimenticio, se hizo necesaria para llevar un mejor control del proceso, y llevar un récord de las desviaciones, como de las causas que las producen, y utilizando esta información para implantar medidas correctivas estableciendo controles a fin de mejorar la calidad de este producto. Se requiere de mucha dedicación y conocimiento en esta herramienta estadística, porque de esa manera se podrá aplicar de una forma adecuada a los procesos que necesiten un mayor control en su elaboración.

Toda compañía debe lograr la conciencia en calidad de su personal, no importando que realice labores administrativas, secretariales, u operativas, dado que para lograr la Excelencia, se requieren hacer cambios continuos de sus procesos como en este caso. Se puede llegar a formar un gran equipo de producción, para siempre estar en los niveles más altos del mercado en que se desarrolle; por eso para lograrlo se necesita gente entusiasta y con ganas de que las cosas siempre sigan una línea ascendente hacia una calidad; para esto se requiere dar una capacitación que abarque todas las medidas necesarias para un satisfactorio control de procesos, para el personal que labora en todo lo concerniente al proceso, otorgándoles manuales con procedimientos completos para que todos tengan el mismo criterio y no existan equivocaciones que a la larga llevará a tener problemas en la producción y por consiguiente en el mercado donde se desarrolle.

Se observó que los procesos del ácido fosfórico técnico y alimenticio, al principio tenían desviaciones frecuentes en los puntos reportados contra las gráficas de especificación, por eso se decidió someterlo a un control más estricto logrando un resultado más favorable al atacar las causas básicas que se detectaron, gracias a la lluvia de ideas que proporciono el grupo de personas encargadas a la resolución del problema en la producción del ácido fosfórico; esto mejoró la visión del producto al mercado exterior dando como consecuencia una mejor aceptación por parte de los clientes.

El tiempo que se llevó en implantar el CEP en el proceso de ácido fosfórico técnico y alimenticio, fué aproximadamente de 3 meses, debido a que la capacitación fué dada principalmente a los operadores encargados del proceso ya que ellos son los que reportan los datos que se van obteniendo a lo largo de la producción, logrando así un aumento en la confiabilidad de los resultados obtenidos en la elaboración del ácido fosfórico técnico y alimenticio y una agilidad para atacar los problemas que se suscitan a diario con prontitud.

Los puntos registrados en las gráficas de control son puestos manualmente por los operadores, sin embargo existen paquetes que se adaptan a una computadora personal, que facilitan la elaboración de tablas, diagramas de pareto y de causa y efecto, gráficas de control y de especificación, histogramas y otros, tales como son los paquetes de Lotus 123, Flow, Quality Alert, Harvard Graphics, Works. Estos paquetes fueron utilizados en la elaboración de este trabajo, dando así una mejor presentación, un grado menor de equivocación y una mayor rapidez en la realización de este trabajo comparado si se hubiera hecho manualmente.

Por lo que podemos darnos cuenta que con esfuerzo y perseverancia se logra sacar avante resultados satisfactorios en los procesos de ácido fosfórico técnico y alimenticio, y de la misma manera se logra resolver cualquier desviación de un proceso o situación.

**BIBLIOGRAFIA**

## BIBLIOGRAFIA

Dr. Kaoru Ishikawa; " GUIA DE CONTROL DE CALIDAD "  
 Editorial UNIPUB 1985.  
 Impreso en E.U.A.

Raymond, Arkin; " METODOS ESTADISTICOS "  
 Editorial C.E.C.S.A.México. 1981  
 Impreso en México.

Feigerbaum; " CONTROL TOTAL DE LA CALIDAD "  
 Cía. Editorial Continental, S.A. México. 1981.

Charles A. Mills; " MARKETING QUALITY ASSURANCE "  
 Quality Progress, Vol. 19, Núm. 6, Junio 1987.

Antony V. Cootino; " IMPROVE PLANTA PERFORMANCE VIA STATISTICAL  
 PROCESS CONTROL "  
 Chemical Engineering, Julio 20, 1987.

Acheson J. Duncan; " QUALITY CONTROL AND INDUSTRIAL STATISTICS "  
 Richard D. Irwin, Inc. IL, 1974

Kaoru Ishikawa; " QUE ES CONTROL TOTAL DE CALIDAD? ...  
 La Modalidad Japonesa. "  
 Editorial Norma, S.A. Colombia 1986.

E. L. Grant y R. S. Leavenworth; " CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD "  
 Editorial C.E.C.S.A., México. 1986.

Volume I Fertilizer; " PHOSPHORIC ACID "  
 Science and Technology Series  
 Edited by A.V. Slack 1968.

Volumen II Technology; "PHOSPHORUS AND ITS COMPOUNDS "  
 Biological Fuctions and Applications  
 Edited Interscience  
 Publishers, Inc. 1961.

Manuel G. Bayón, Isidro Arciniega ; "MANUAL DE CAPACITACION EN CONTROL ESTADISTICO DE PROCESO " Apuntes 1987.

" THE MEMORY JOGGER "  
Crespo & Associates Inc.  
1988.

Acheson J. Duncan; " CONTROL DE CALIDAD Y ESTADISTICA INDUSTRIAL " Alfaomega, México 1990.

Spiegel Murray R; " ESTADISTICA "  
Editorial Mc. Graw Hill. 1970.