



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"APLICACION DE SEIS SIGMA COMO HERRAMIENTA DE  
CALIDAD TOTAL PARA LA MEJORA EN EL PROCESO  
DE PURIFICACION DE AGUA POTABLE."

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
(AREA INDUSTRIAL)

P R E S E N T A:

OLEGARIO MUÑIZ CURA



DIRECTOR DE TESIS:  
ING. ADOLFO VELAZCO REYES

MEXICO, D. F.

MAYO 2005

m. 344127



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

# DEDICATORIA

A mis Padres por impulsarme a la superación profesional para el logro de mis aspiraciones.

A mi Esposa por su comprensión y apoyo en todos los momentos importantes de mi vida.

A mis Hijas que son lo más preciado de mi vida.

A mis hermanos quienes siempre me han brindado orientación, afecto y cariño.

# AGRADECIMIENTOS

**Al Ing. Adolfo Velazco Reyes**

Director de mi tesis y maestro durante mi carrera, que siempre me apoyo en la culminación de mis estudios, para quien guardo un gran afecto.

**Al Ing. Antonio Cordero Hogaza**

Por haber confiado en mí y brindarme su apoyo, para él mi respeto y admiración.

**Al Ing. Héctor Mejía Ramírez**

Por su orientación en el procedimiento para la realización de mi exámen profesional, ofreciéndome su apoyo en todo momento.

## PRÓLOGO

Este trabajo de investigación esta constituido por un análisis detallado de variables que influyen para mejorar el proceso de purificación de agua potat..., mediante la aplicación de la metodología Seis Sigma. Los datos analizados corresponden a una microempresa que elabora este producto de la cual obtuvieron resultados en la disminución de los costos y reducción de defectos por unidad.

Se presenta la distribución de la planta, diagramas de flujo, Diagramas de Relación, Diagrama de Pareto, Diagrama Causa-Efecto y Metodología de Taguchi. Se utilizó el paquete computacional Minitab versión 13 para el procesamiento de datos estadísticos y se analiza bajo el parámetro estadístico de dispersión que expresa la variabilidad de un conjunto de valores respecto a su valor medio el cual es sigma.

Las tablas de respuestas de media y grafica de desviación estándar reflejan la combinación de factores y niveles apropiados para mejorar la calidad del agua potable en el proceso de purificación.

# INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

## CAPITULO I

### DESCRIPCION DE LA SITUACIÓN DEL PROBLEMA

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	4
ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	4
OBJETIVO GENERAL.....	5
JUSTIFICACIÓN.....	6

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA.....	8
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO.....	9
RECURSOS UTILIZADOS EN EL PROCESO.....	10
FILTRO DE ARENA SILICA.....	10
FILTRO DE CARBÓN ACTIVADO.....	11
FILTRO DE RESINAS CATIONICAS.....	12
TANQUE DE ALMACENAMIENTO PRINCIPAL.....	13
MICROFILTRADOR.....	14
TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	15
RAYOS ULTRAVIOLETA.....	16
ESTACIÓN DE LLENADO DE GARRAFONES.....	17
TAPONES DE GARRAFÓN.....	18
LAVADORA DE GARRAFONES.....	19
TUNEL SELLADOR.....	20

ÁREA DE ALMACENAMIENTO.....	21
CONDUCTÓMETRO.....	22
HIPOCLORITO DE SODIO.....	23
SULFATO DE ALUMINIO.....	24
ARENAS SILICAS.....	25
CARBÓN ACTIVADO.....	26
RESINAS CATIONICAS.....	27
HERRAMIENTAS BASICAS.....	28
DIAGRAMA DE RELACION.....	28
FUENTES DE VARIACIÓN.....	29
DIAGRAMA DE PARETO.....	30
DIAGRAMA CAUSA – EFECTO.....	31
TECNICAS PARA LA MEJORA.....	34
METODOLOGÍA DE TAGUCHI.....	34
METODOLOGÍA SEIS SIGMA.....	43

### **CAPITULO III**

#### **PROPUESTA DE SOLUCIÓN**

MEJORA DEL PROCESO.....	48
UTILIZACIÓN DE SOFTWARE MINITAB PARA PROCESAMIENTO DE DATOS.....	48
CORRIDAS EXPERIMENTALES.....	58

### **CAPITULO IV**

#### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

GRAFICA DE MEDIAS.....	72
TABLA DE RESPUESTAS DE MEDIAS.....	73

GRAFICA DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR.....	74
TABLA DE RESPUESTAS DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR.....	75
GRAFICA DE LA RELACIÓN SEÑAL A RUIDO.....	77
TABLA DE LA RELACIÓN SEÑAL A RUIDO.....	78

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

CONCLUSIONES.....	81
RECOMENDACIONES.....	85

BIBLIOGRAFÍA.....	87
GLOSARIO.....	89
ANEXOS.....	91



## INTRODUCCIÓN

La elaboración de esta tesis tiene la finalidad de evaluar el conjunto de conocimientos adquiridos durante los estudios realizados en la facultad de ingeniería aplicando las técnicas de ingeniería industrial para el mejoramiento del proceso de un producto de consumo humano mediante una herramienta de calidad como lo es Seis Sigma.

La calidad Seis Sigma es hacer las cosas casi perfectas y como las quiere el cliente. Seis Sigma implica acordar con un cliente qué características de un producto o servicio son importantes para él; y luego dárselas de un modo libre de fallos; el soporte estadístico es simplemente un medio, no el fin.

Queremos que los procesos estén sin defectos para que nuestros clientes queden satisfechos, por lo que se medirá periódicamente para conocer el progreso que logramos.

Seis Sigma es un proceso que tiene como objetivo cuantificado; cometer sólo 3.4 errores entre un millón de oportunidades de cometerlos. Esas oportunidades de cometer errores, se cuantifica en aquellas características que el cliente nos ha dicho que son importantes para él. Seis Sigma es además una metodología de gestión total. Se diseña un proceso, se mide, analiza, mejora y se controla.

Por lo que esta investigación se enfocara al mejoramiento del proceso de purificación de agua potable aplicando la herramienta de calidad Seis Sigma ya que se ha detectado en información obtenida por diferentes fuentes el agua de consumo humano es de dudosa calidad.

# **CAPITULO I**

## **DESCRIPCION DE LA SITUACION DEL PROBLEMA**

## **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.**

Se ha notado, en recientes investigaciones, que en México, el incremento de las ventas de la industria de plantas purificadoras de agua supera en 20% la comercialización de refrescos embotellados y envasados en el país, lo que denota su acelerada expansión.

La guerra de las aguas embotelladas es ya un hecho en México. Miles de empresas purificadoras, "pseudo-purificadoras" o simples "llenadoras", saturan el mercado nacional y ofrecen sus productos al mejor postor, convirtiéndose en una supuesta alternativa al sistema de agua purificada. *Sin embargo, cerca del 85% de estos negocios no cuentan con la infraestructura y los controles sanitarios necesarios para garantizar la higiene y la seguridad que los consumidores merecen lo cual hace dudosa la calidad del agua.*

## **ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

De acuerdo con un estudio realizado por la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO), la calidad de las aguas envasadas –310 marcas analizadas y evaluadas en diversas regiones de la república mexicana-, "desde un punto de vista sanitario, es poco satisfactoria..." Es importante mencionar que en muchas de las aguas se encontró que los resultados de parámetros relacionados con la presencia de minerales fueron muy bajos, similares a los que presenta el agua

destilada usada para otros fines (industriales y farmacéuticos), y que no es recomendable para el consumo humano.

Justo Ezquer, vicepresidente de la Asociación Nacional de Productores y Distribuidores de Agua Purificada, A.C., reconoció que la mayoría de las embotelladoras no reúnen los requisitos mínimos para expender el vital líquido. Señaló que ante la falta de una normatividad para que los empresarios ofrezcan agua de calidad, la proliferación de empresas “piratas”, “llenadoras” y “pseudo purificadoras” se han extendido en nuestro país en los últimos ocho años.

Así mismo el surgimiento de enfermedades como el cólera ha propiciado también que las autoridades federales excedan sus dosis de cloro en el líquido, lo cual representa un contaminante más, sin considerar que el cloro deja mal sabor y olor en el agua. Como sociedad, este hecho nos alarma, porque la calidad de nuestro producto no es la adecuada, y esto podría causar problemas a la salud del consumidor y, como consecuencia de ello, acarreamos una pérdida de confianza, lo que implicaría poner en riesgo a la industria del agua purificada,

## **OBJETIVO GENERAL**

Proponer un método de análisis y mejora del proceso de purificación de agua para la obtención de un producto de consumo humano de alta calidad, aplicando la metodología Seis Sigma, apoyándose de un paquete estadístico de cómputo para el procedimiento de análisis de datos.

## JUSTIFICACIÓN

Se determino realizar la investigación con la adecuada recopilación de los datos que realmente son útiles y fiables para conocer el proceso en forma ordenada y critica de la purificación de agua potable para mejorar la calidad del producto.

Una metodología para la mejora de procesos es Seis Sigma; ya que guía a las empresas hacia el objetivo que supone cometer el menor número de errores en todas sus actividades desde elaborar las ordenes de compra hasta la fabricación de un producto o servicio eliminando los defectos por millón.

Las empresas que persiguen la mejora continua basada en la metodología Seis Sigma logran no solo reducir el nivel de defectos si no también:

- Reducir los costes a través de los errores internos.
- Reducir tiempo de proceso.
- Incrementar su productividad.
- Mejorar la calidad en el proceso de desarrollo y lanzamiento de nuevos productos.
- Mejorar los niveles de resultado de los procesos de soporte.

Por lo que se encontró que Seis Sigma es el método más sencillo, menos costoso y óptimo para la solución de la deficiencia del proceso de purificación del agua potable demostrando que su aplicación es una de las formas más factibles para resolver este problema.

## **CAPITULO II**

# **MARCO TEÓRICO**

## DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA

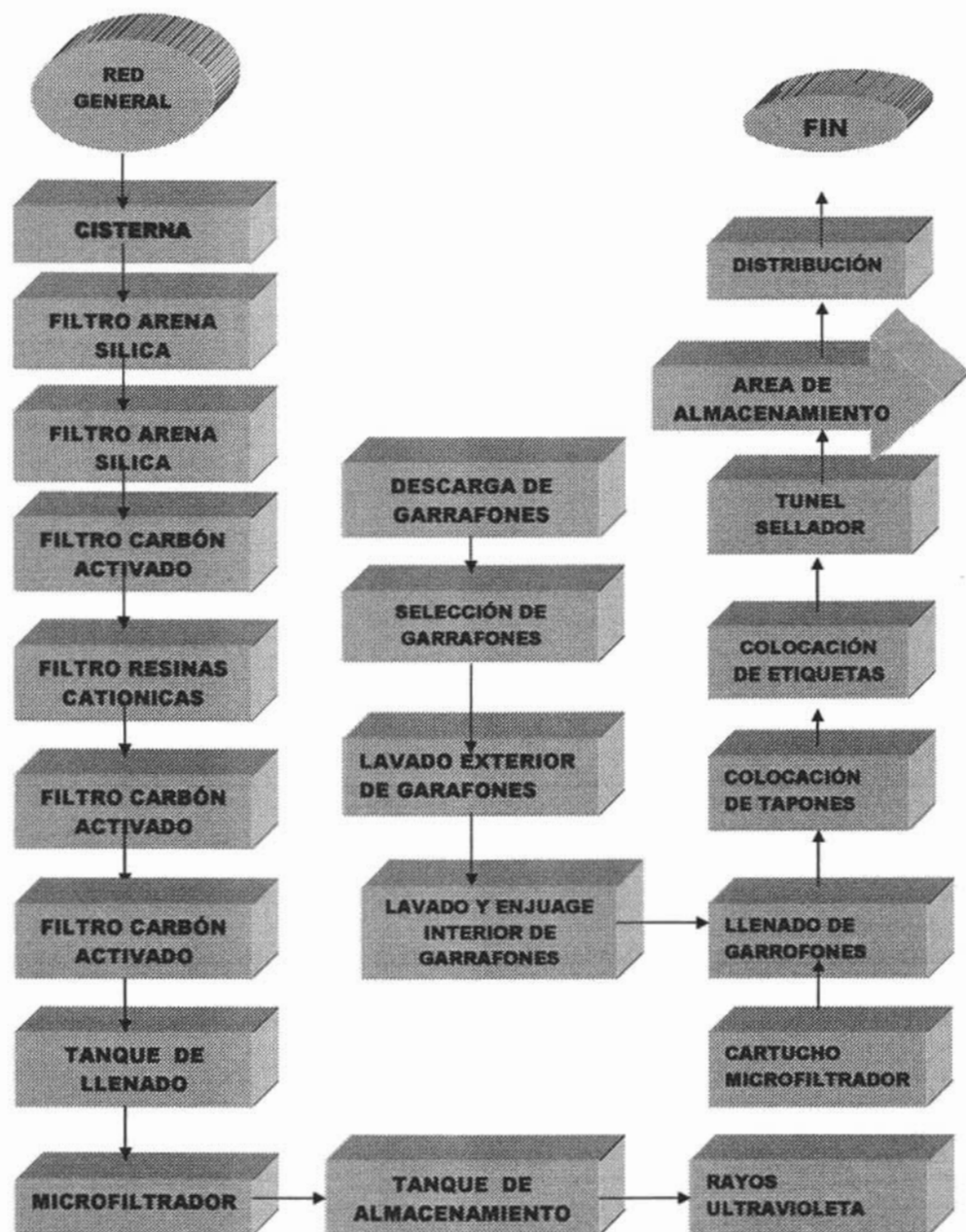
Baño	Bodega de materiales	Bodega de Plásticos	
------	----------------------	---------------------	--

Área de producción de botellas con agua de mesa	Área de Proceso	
Llenado de Garrafones		Lavado de Garrafones
Almacenamiento de garrafones con agua	Área de descarga de garrafones vacíos	Almacén de Sal
		Pasillo
		Oficina

El diagrama de distribución de planta despliega la ubicación y distribución de la empresa, en cuanto a las áreas que la constituyen. Es un diagrama de gran ayuda para visualizar el proceso.



## DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO



## RECURSOS UTILIZADOS EN EL PROCESO (EQUIPO Y MATERIAL)

### Filtros De Arena Sílica

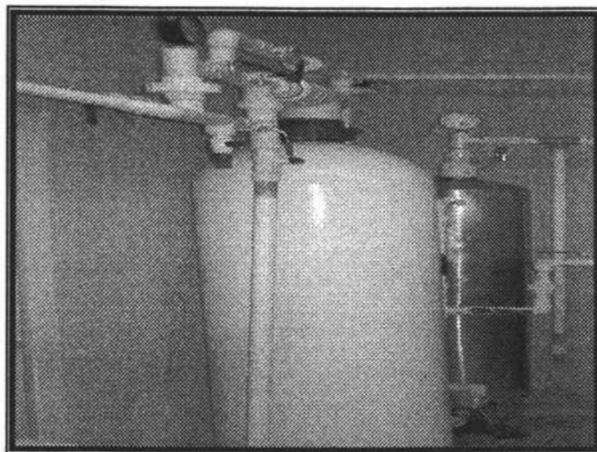


Figura 2.1

Filtro de arenas Sílicas con la finalidad de eliminar cualquier impureza en suspensión. Este proceso consiste en hacer pasar el agua a través de un tanque con diferentes grosores o calibres de arena sílica (Arena de mar). Este proceso es generalmente el primero de toda la secuencia de purificado, es un trabajo mecánico para remover todas las partículas suspendidas en el agua, tiene la ventaja que es sumamente económico, ya que requiere muy poco mantenimiento (cambiar cada tres años). Este proceso equivale a un filtrado de 20 micras, por lo que al pasar por este proceso, el agua no debe tener sustancias a la vista del ojo humano. El equipo requiere continuamente hacer un retro lavado, es decir hacer pasar el agua en sentido inverso.

## Filtro de Carbón Activado

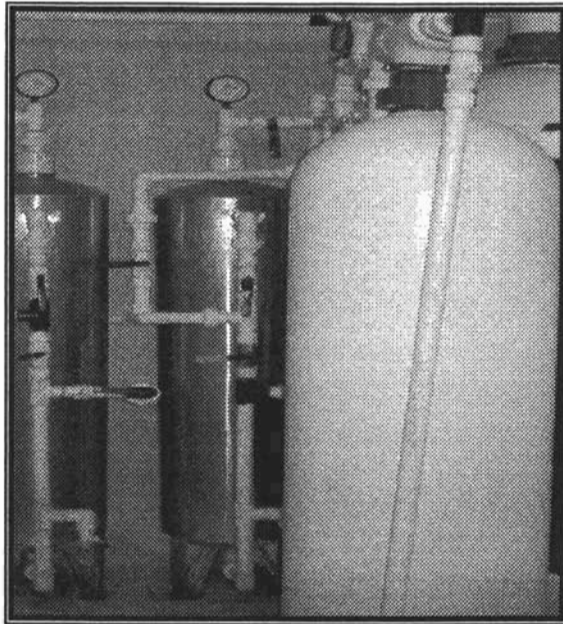


Figura 2.2

Este proceso consiste en hacer pasar el agua a través de un tanque o filtro con carbón activado, ya sea en bloque o granular. Este medio es sumamente eficiente para remover el cloro, mal olor y sabor del agua, así como sólidos pesados (plomo, mercurio) en el agua. Generalmente es el segundo proceso para el purificado del agua, pero este es el único proceso que es necesario, ningún proceso de purificado puede prescindir de él. Es el único que remueve los contaminantes orgánicos del agua (restos de insecticidas, pesticidas, herbicidas y bencenos, así como derivados del petróleo) Al terminar este proceso el agua debe tener un sabor y olor excelente. Existen varios tipos de carbón activado, ya sea por su micraje, bloque, de palma de coco, granular, etc.

## Filtro De Resinas Catiónicas

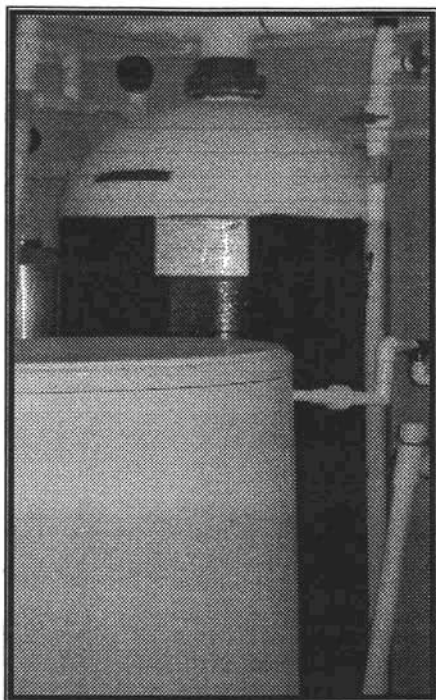


Figura 2.3

Esta resina tiene la capacidad de quitarle al agua minerales como calcio, sodio, magnesio y sílice, y una vez que se lleva a cabo este intercambio, por medio de filtración a través de la resina cationica, es necesario retrolavar la columna. (Este retrolavado se realiza con la finalidad de desechar los minerales que han quedado retenidos en la resina y a la vez aflojarla para evitar se forme un bloqueo compacto y exista una filtración eficiente.) Además provoca que las líneas de conducción de agua se tapen o incrusten con estos materiales.

## Tanque De Almacenamiento Principal

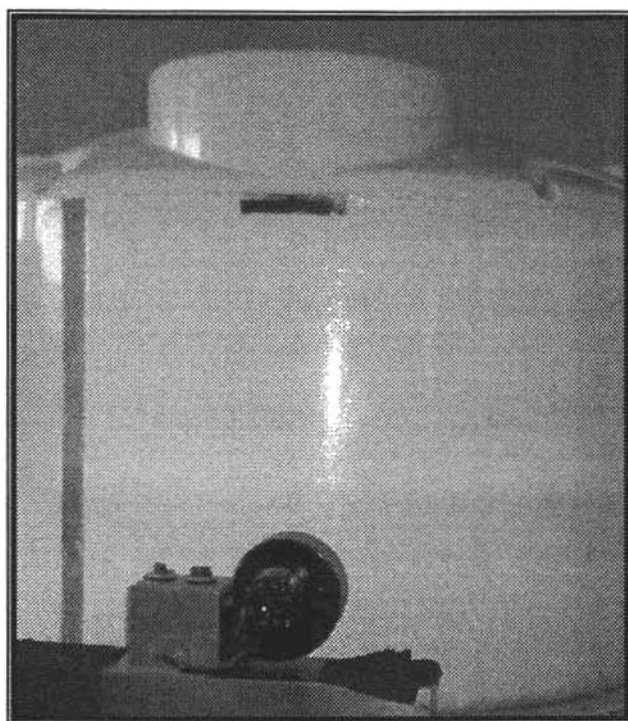


Figura 2.4

Este tanque tiene una capacidad de 1520 litros de agua previamente tratada para 80 botellones de 19 litros. Cuenta con una bomba de succión de 1HP y trabaja a 220 V.

## Microfiltrador

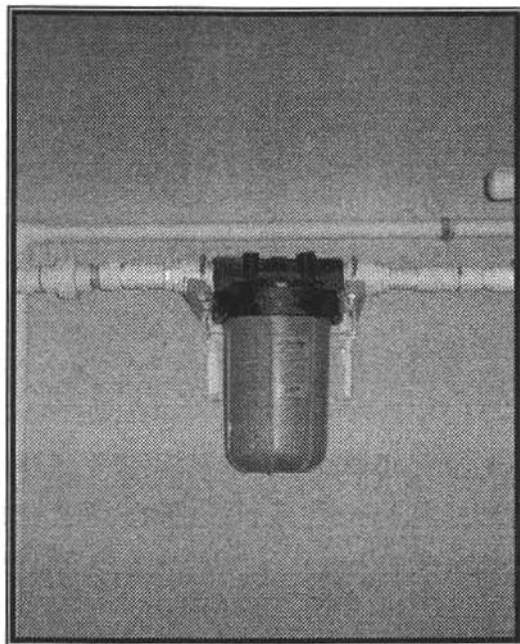


Figura 2.5

El producto obtenido del proceso de purificación pasa a través de este microfiltrador de poliéster y se envía el producto al tanque de almacenamiento de reserva. Este cartucho microfiltrador trabaja de 5, 10, 20 micras. Y un largo de 24.5 cm. de largo.

## Tanque De Almacenamiento

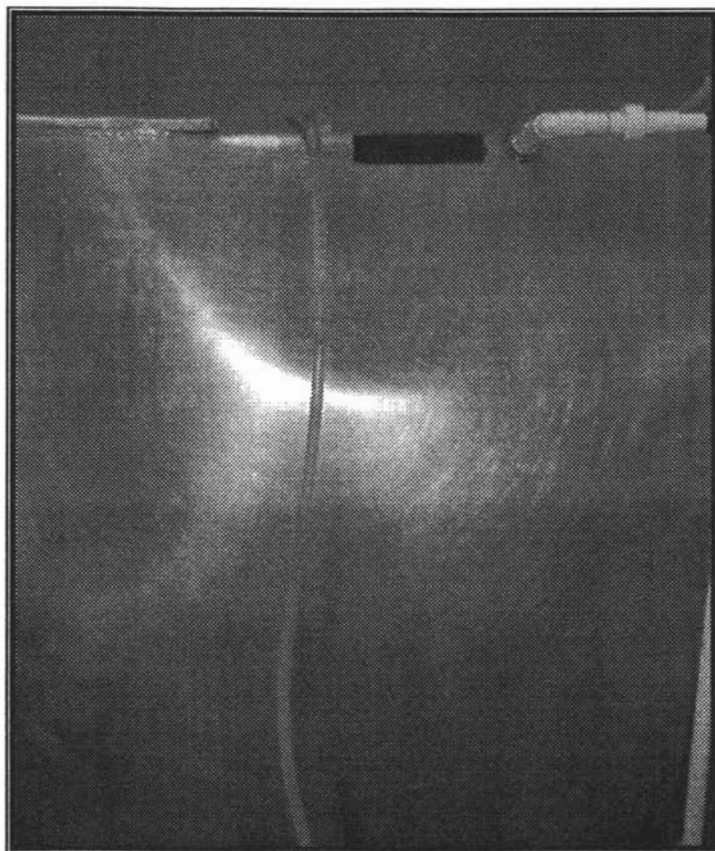


Figura 2.6

Cuando el tanque de almacenamiento principal se encuentra lleno, este tanque esta de reserva para depositar el agua que ha sido previamente tratada en el proceso de purificación pasando por un cartucho microfiltrador que le da mayor calidad al agua. Cuenta con una capacidad de 1900 litros equivalente a 100 botellones de 19 litros.

## Rayos Ultravioleta

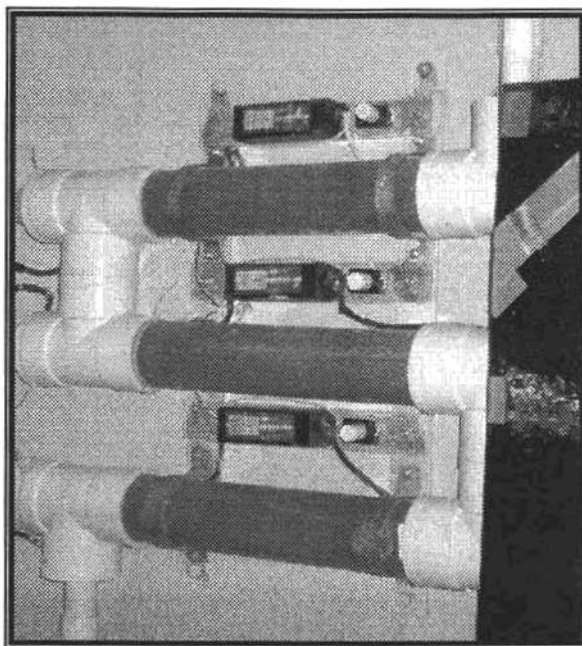


Figura 2.7

El uso de rayos ultravioleta es una parte del proceso de purificación que no se debe de omitir porque es un proceso germicida que logra erradicar la contaminación microbiológica. Con una tecnología simple (sin adición de químicos ni cambios en la química general del agua), se hace pasar el influente por un cámara donde se encuentran las lámparas que emiten rayos de luz ultravioleta. Cuando los microorganismos tienen contacto con la radiación UV son automáticamente destruidos, logrando una exterminación del 99.99%. No daña al medio ambiente, fácil de instalar, más efectiva que el cloro. La fuente de ultravioleta es básicamente una fusión de 3 tubo de silicio de cuarzo, Modelo G3OT8 de 30 watts de germicida GL de 32cm X91.5 cm. de largo.



## Estación De Llenado De Garraiones

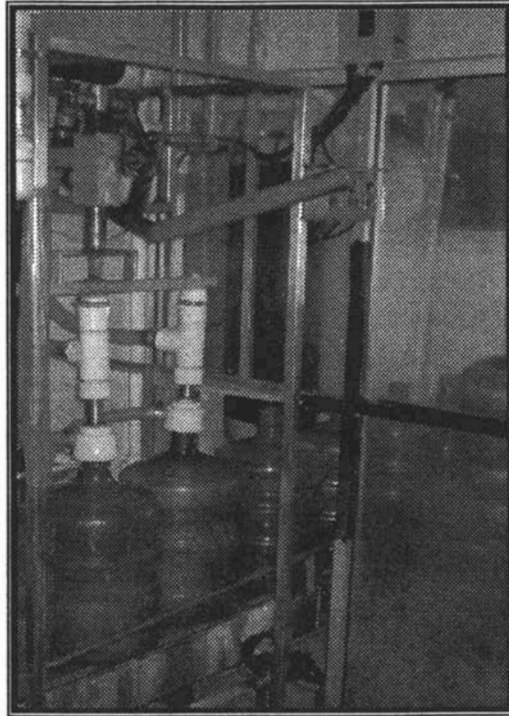


Figura 2.8

Después de haber pasado el agua por los rayos ultravioleta y un ultimo microfiltrador localizado previo a la maquina llenadora de garraiones., se lleva acabo esta operación llegando al proceso final de purificación. Esta maquina es manual con una bomba  $\frac{3}{4}$  de HP y trabaja a 110 volts. Cuenta con tres interruptores, en donde el primero es para encender la maquina el segundo para el flujo de agua a los garraiones y el tercero para la banda transportadora. La maquina llenadora tiene capacidad para 3 garraiones simultáneamente.

## Tapones de Garrafón

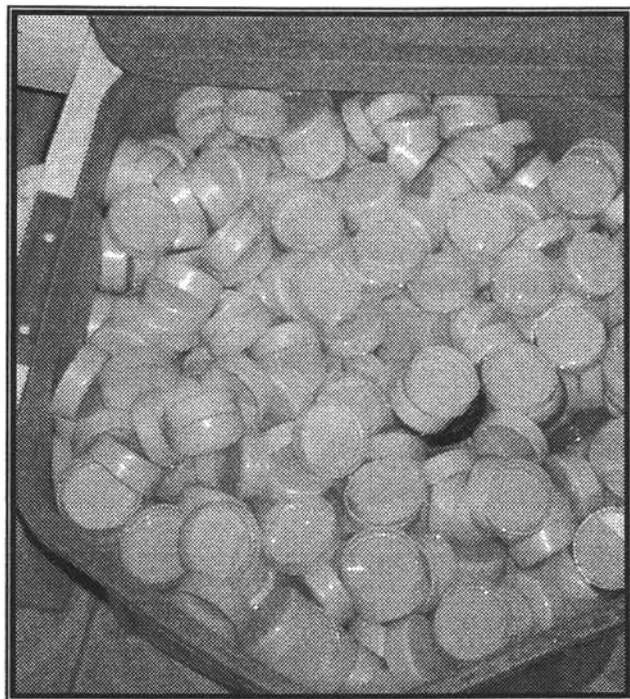


Figura 2.9

Los tapones de los garrafones son remojados en agua con hipoclorito para desinfectarlos antes de ser utilizados.

## Lavadora De Garrafones

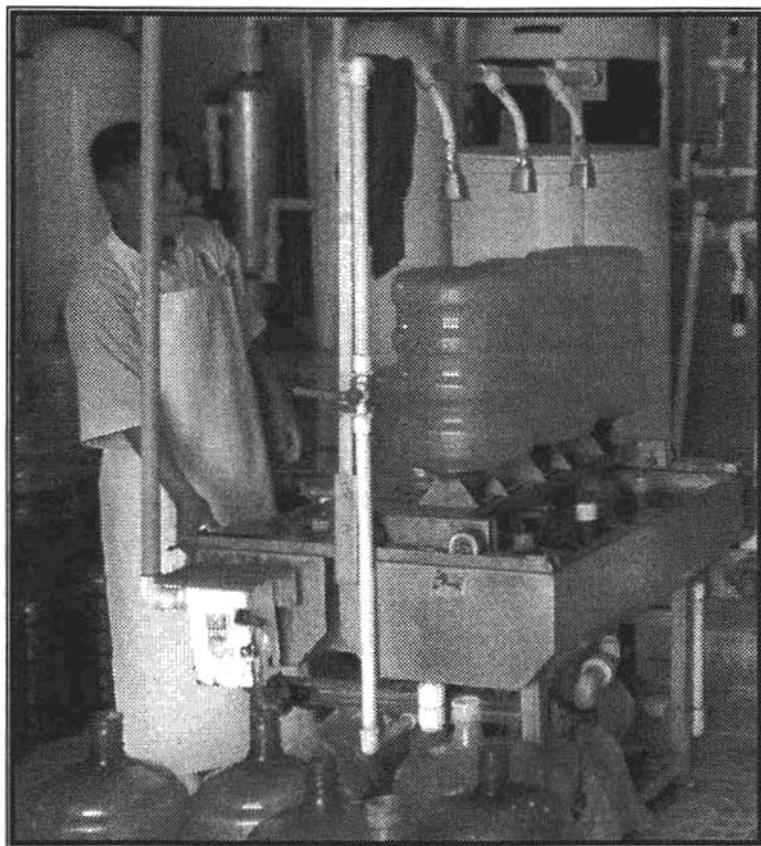


Figura 2.10

La maquina de lavado interno de garrafones cuenta con tres movimientos mecánicos de lavado a presión, cuenta con una bomba de succión de  $\frac{3}{4}$  de HP a 110 volts. Tiene capacidad para 3 garrafones simultáneamente.

## Túnel Sellador

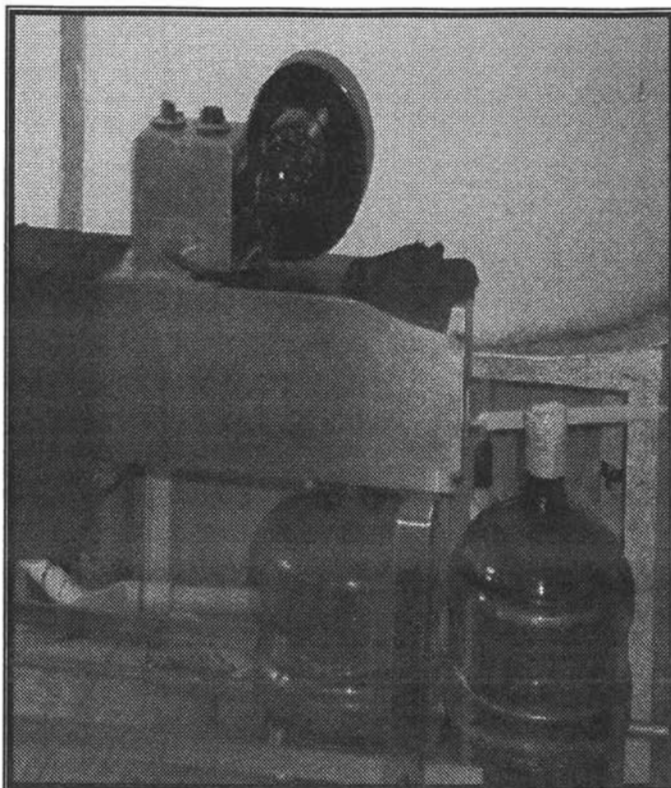


Figura 2.11

Después de haber sido llenados los garrafones de agua el operario les coloca las tapas y banda de seguridad. Por medio de la banda transportadora pasan por el túnel sellador generando calor por resistencias, adhiriéndose la banda de seguridad a la tapa y boca del garrafón. Esta Parte del proceso tarda aproximadamente 30 segundos en pasar un garrafón.

## Área De Almacenamiento

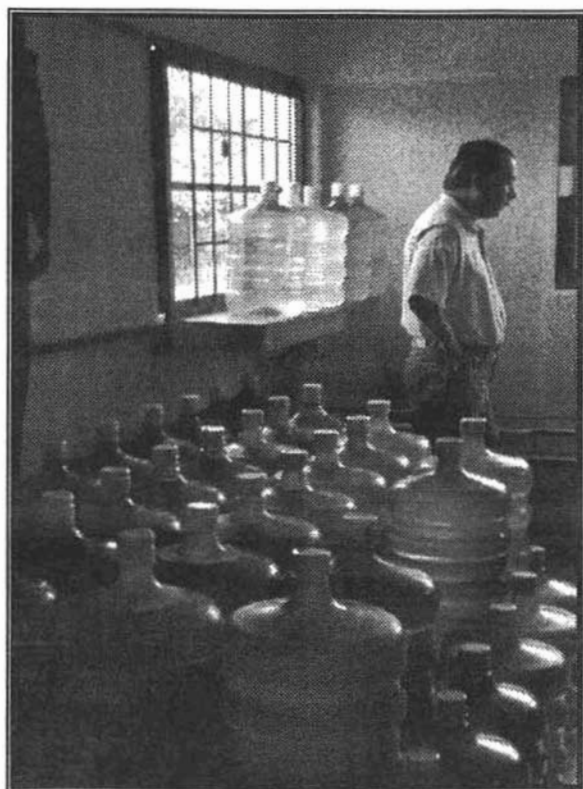


Figura 2.11

El área de almacenamiento tiene capacidad para 250 garrafones. Los garrafones son trasladados del área de llenado a esta área por medio de la banda transportadora. Por la ventanilla sacan los garrafones del área de almacenamiento para llenar las camionetas repartidoras.

## Conductómetro

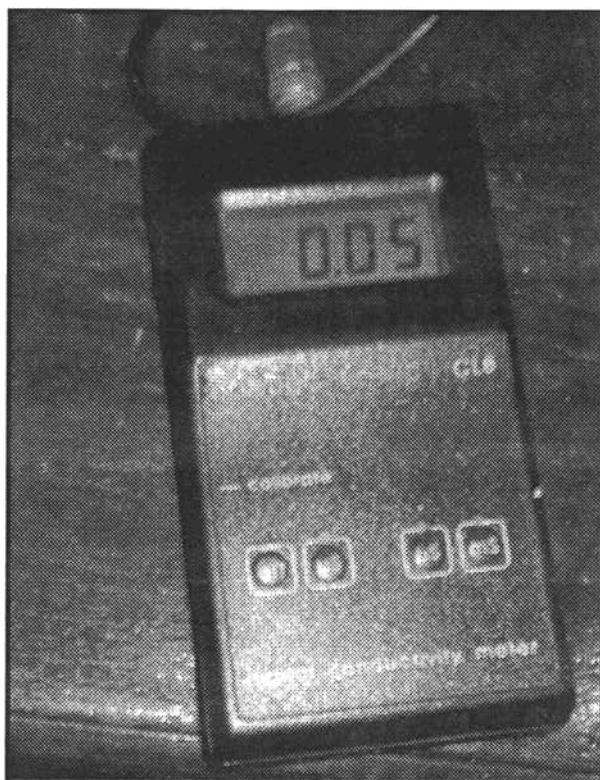


Figura 2.13

Es un instrumento de medición Marca CONDUCTRONIC modelo CL8 digital. Este aparato mide los niveles de dureza que tiene el agua, que es la variable de mayor importancia a controlar para asegurar la calidad del agua; sus unidades son en partes por millón (PPM).

## Hipoclorito De Sodio

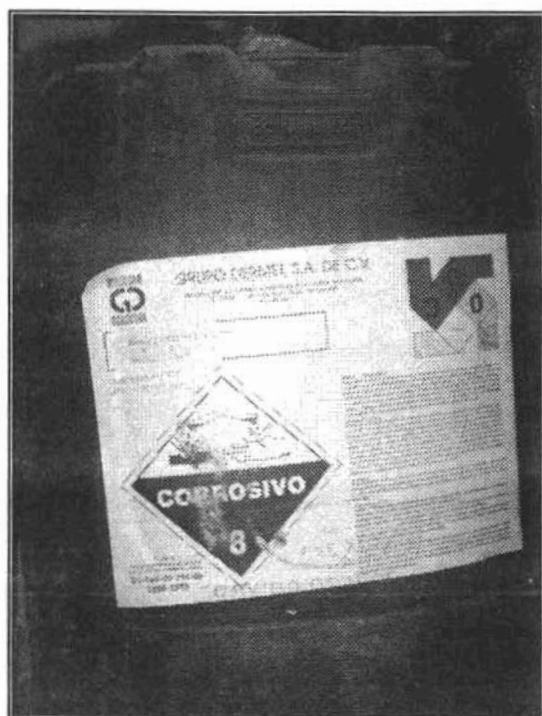


Figura 2.14

El hipoclorito de Sodio es utilizado para desinfectar el agua desde su fase inicial en la cisterna, tuberías e instalaciones.

## Sulfato de Aluminio

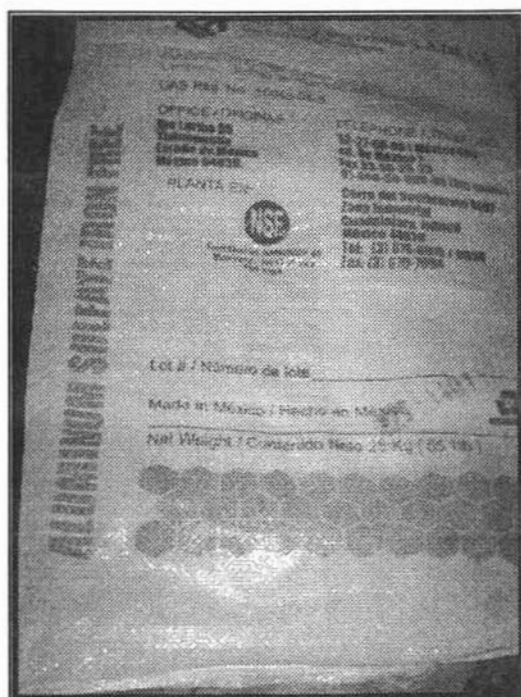


Figura 2.15

El sulfato de aluminio es un coagulante para el agua, se utiliza en cisterna para asentar todos los sólidos en suspensión



## Arenas Silicas

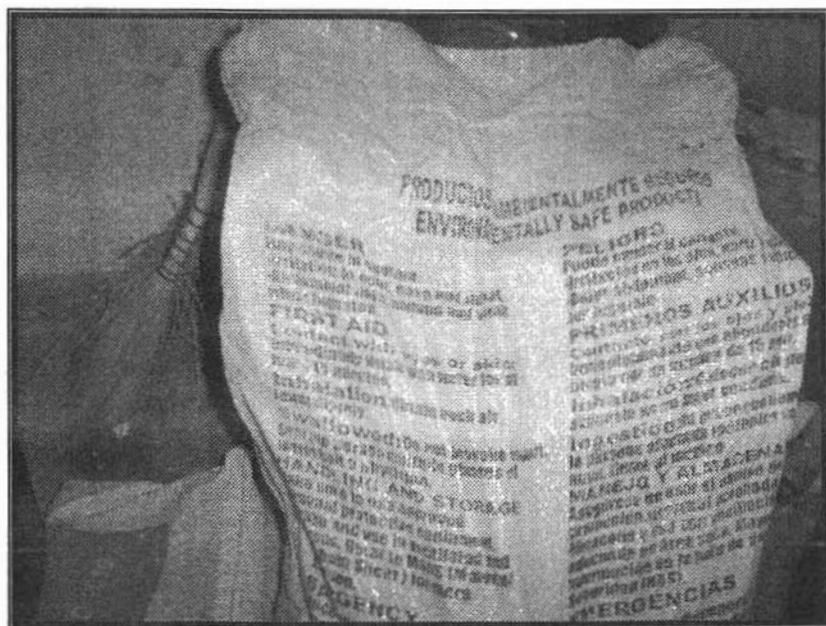


Figura 2.16

Las Arenas y gravas son un material filtrante el cual retiene partícula en suspensión y sus medidas son de  $1\frac{1}{4}$ " a  $\frac{1}{2}$ ".

## Carbón Activado

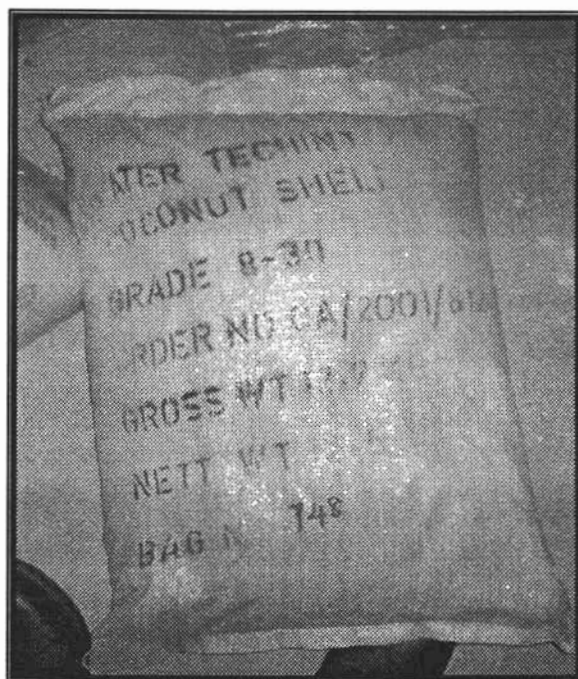


Figura 2.17

Son partículas de carbón que se obtiene generalmente por carbonización de material celulósico en ausencia del aire posee una gran capacidad de absorción.

## Resinas Cationicas



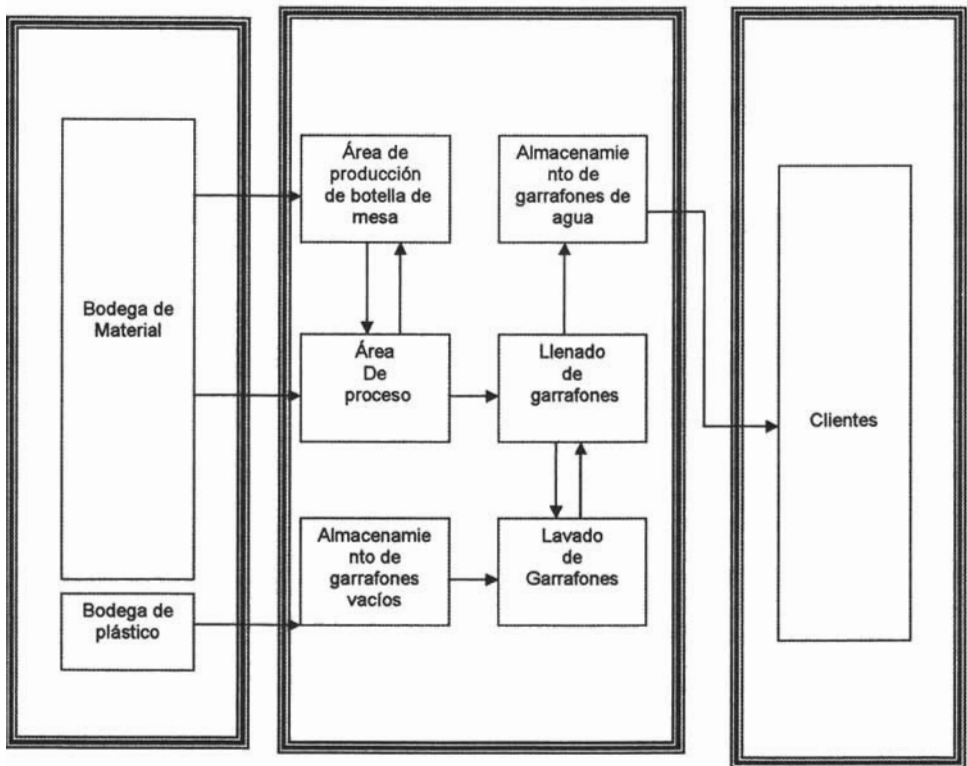
Figura 2.18

Son un material filtrante que tiene la capacidad de quitarle al agua minerales como calcio, carbonatos y sílice.

## HERRAMIENTAS BASICAS

### DIAGRAMA DE RELACIÓN

Para visualizar y mejorar el trabajo, la comunicación, y el conocimiento y proporcionar un marco de referencia para las personas involucradas en el proceso, tomando la información necesaria de la empresa, (Distribución de Planta y Diagrama de flujo de el proceso), se construye el siguiente diagrama de relación.



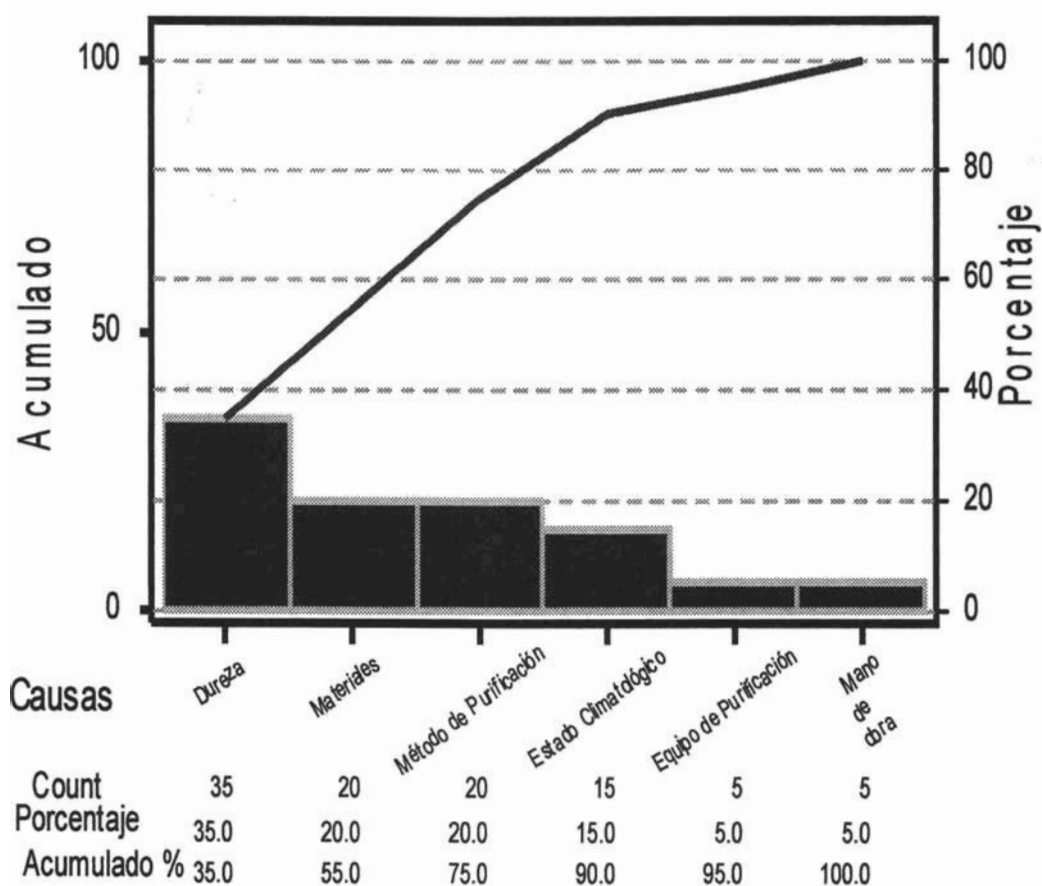
## FUENTES DE VARIACIÓN

	<b>FACTORES</b>	<b>MEDICIÓN</b>
<b>Mano de Obra</b>	Empleado	Capacitación
<b>Equipo</b>	Conductometro	Mantenimiento
<b>Método</b>	Tradicional	Buenas Condiciones
<b>Material</b>	Carbón, arenas, resinas, cloro, sulfato	Cantidad
<b>Dureza del agua</b>	Partículas en suspensión	PPM
<b>Medio Ambiente</b>	Lluvia	No es controlable

En reunión con gente experimentada conocedora del proceso se determinaron los factores que intervienen en el proceso para su mejora.

Analizando las fuentes de variación para la mejora del proceso se realiza un Diagrama de Pareto donde el orden de las barras refleja la importancia de las causas.

### DIAGRAMA DE PARETO

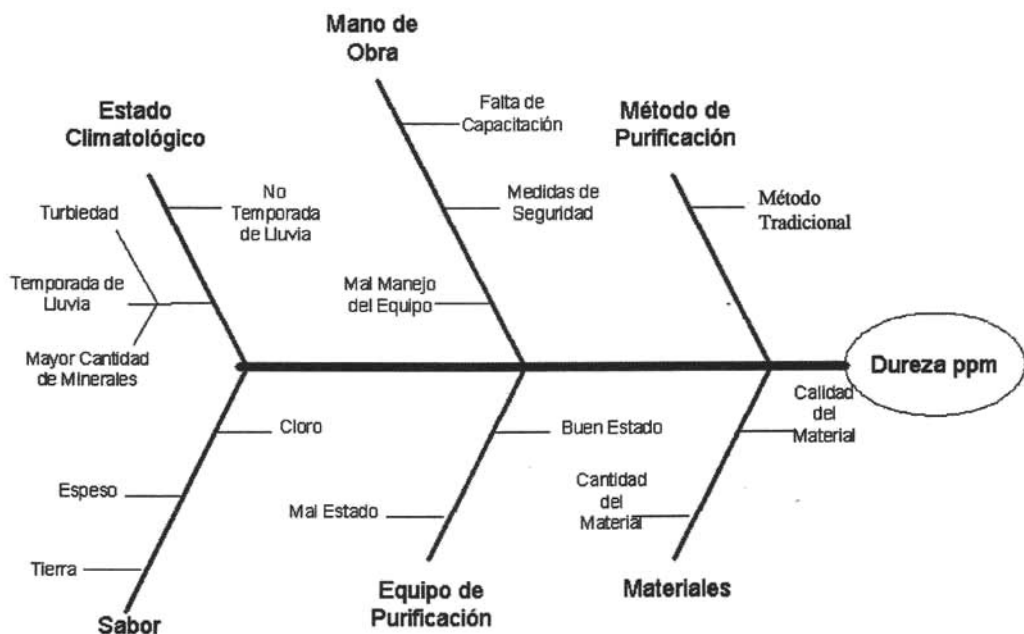


## DIAGRAMA CAUSA – EFECTO

Se utiliza una herramienta de calidad conocida como Diagrama de Pescado, o Diagrama de Ishikawa, que fue desarrollado en 1943 por Kaoru Ishikawa.

Esta es una herramienta para la resolución de problemas, permite, apreciar la relación existente entre una característica de calidad (efectos) y los factores (causas) que afectan.

Las causas son determinadas, pensando en el efecto que tienen sobre el resultado, indicado por medio de flechas la relación lógica entre causa y efecto.



Se ha determinado que la calidad del agua en el proceso de purificación, de acuerdo a las normas oficiales que rigen en el país se mide en partículas en suspensión (partes por millón), y los cultivos de microorganismos en el agua.

Las normas dictan que el agua para ser consumida por el ser humano debe de estar por debajo de 50 partes por millón de partículas en suspensión (lo que determina la dureza del agua) y el nivel de microorganismos ideal debe ser cero, pero permite que el agua contenga un máximo de 100 colonias de microorganismos, lo cual no daña la salud de el ser humano.

**En base a eso se ha determinado que la variable de respuesta a encontrar y mejorar, en la calidad del agua en el proceso de purificación, son las partes por millón de partículas en suspensión, las cuales deben de ser por debajo de las 40 ppm de partículas en suspensión, que es la calidad que esta manejando la empresa en su proceso.**

Haciendo el análisis del diagrama Causa – Efecto, se determina los posibles factores que influyen sobre la calidad del agua, en el proceso de purificación. Tomando en cuenta la experiencia de los técnicos encargados del proceso en la planta purificadora, se seleccionaron los factores influyentes en el proceso de purificación del agua, los cuales fueron: los materiales que intervienen en el desarrollo del proceso de purificación por medio del método tradicional, con sus



respectivas cantidades, para cada uno, el factor climatológico, dentro de el cual se encuentra la temporada de lluvia.

Los Factores que intervienen en la Calidad de el Agua en el Proceso de Purificación de Agua Potable son:

Hipoclorito de Sodio	El hipoclorito de Sodio es utilizado para suministrar a la cisterna, desinfección de, instalaciones, tuberías, contenedores y los tapones de los sellos
Sulfato de Aluminio	El sulfato de aluminio es un coagulante para el agua, se utiliza en cisterna para asentar todos los sólidos en suspensión
Gravas	Son un material filtrante el cual retiene partícula en suspensión y sus medidas son de 1 ¼", a ½".
Carbón Activado	Son partículas de carbón que se obtiene generalmente por carbonización de material celulósico en ausencia del aire posee una gran capacidad de absorción.
Resinas Catiónicas	Son un material filtrante que tiene la capacidad de quitarle al agua minerales como calcio, carbonatos y sílice.
Luz Ultravioleta	El uso de rayos ultravioleta es una parte del proceso de purificación que no se debe de omitir por que es un proceso germicida que logra erradicar la contaminación microbiológica. Con una tecnología simple (sin adición de químicos ni cambios en la química general del agua), se hace pasar el influente por un cámara donde se encuentran las lámparas que emiten rayos de luz ultravioleta.

	Quando los microorganismos tienen contacto con la radiación UV son automáticamente destruidos, logrando una exterminación del 99.99%.
Microfiltrador	El producto obtenido del proceso de purificación pasa a través de este microfiltrador de poliéster y se envía el producto al tanque de almacenamiento. Este cartucho microfiltrador trabaja de 5, 10, 20 micras. Y un largo de 24.5 cm. de largo.
Factor Ambiental Lluvia	La lluvia, es un factor que afecta, por que cuando esta se hace presente, la red de agua potable de COMAPA, arrastra mayor cantidad de calcio y minerales, así como cuerpos sólidos, a través de la red municipal de agua potable

## TECNICAS PARA LA MEJORA

### METODOLOGÍA DE TAGUCHI

La metodología de Taguchi es una de las más espectaculares técnicas para la mejora rápida y a bajo coste de productos y procesos, en sus dos vertientes, el diseño y la solución de problemas. El doctor Taguchi desarrolló las bases de la metodología durante la II Guerra Mundial, en su puesto de comunicaciones, y la comenzó a aplicar en el Japón de la posguerra.

Solo fue conocida en occidente cuarenta años después, cuando la competitividad de los productores orientales y la crisis de los precios del petróleo

hicieron necesaria la aplicación de nuevas formas de entender la calidad y la producción. Su utilización permite de forma real la consecución del ideal: *alta calidad a bajo coste*.

*Conceptos y Principios.* Este método define que la calidad de un producto debe ser medida en términos de abatir al mínimo las pérdidas que ese producto le trae a la sociedad desde que se inicia su fabricación hasta concluir su ciclo de vida, estas pérdidas sociales equivalen a las pérdidas de la empresa en el mediano y largo plazo. Enfoque al cliente (sociedad) en vez de enfoque al fabricante. Taguchi retoma el contexto del Off line QC planteando que: 1. Inspección y control de proceso no son suficientes para alcanzar una calidad competitiva; y 2. Niveles elevados de calidad solo pueden lograrse económicamente en las fases de diseño (producto y proceso).

El objetivo del método de Taguchi es lograr productos y procesos "robustos" frente a las causas de la variabilidad (ruidos) que hacen que las características funcionales de los productos se desvíen de sus valores óptimos provocando costos de calidad.

La propuesta de Taguchi es una filosofía y un conjunto de métodos y procedimientos que se ha dado en llamar "Diseño Robusto de Parámetros" (Taguchi y Wu, 1980) cuyas principales propiedades de producto o proceso son: 1. Insensible a las condiciones del medio; 2. Insensible a los factores que dificultan el control; y 3. Proporciona variación mínima en su funcionamiento.

El término diseño en el nombre del método de Taguchi se refiere al diseño del proceso o sistema y el término parámetro se refiere a los parámetros del sistema, conocidos comúnmente como "factores o variables". El término robusto se explica, ya que un producto o proceso "cuyo funcionamiento es consistente cuando se expone a estas condiciones cambiantes del medio, se le denomina producto robusto o proceso robusto" (Myers y Montgomery, 1995).

El enfoque Taguchiano y de otros tecnólogos e ingenieros de la estadística práctica, es el uso de variables de control y de ruido en el mismo experimento como efectos fijos por lo que los diseños o arreglos ortogonales son comunes en este esfuerzo.

El instrumental metodológico de Taguchi establece tres metas: 1. Diseños robustos ante el medio ambiente para productos y procesos; 2. Diseño y desarrollo de productos de modo que sean robustos a la variación de componentes; y 3. Minimización de las variaciones respecto a un valor objetivo.

Las tres propiedades y tres metas de la filosofía de Taguchi, se expresan en tres etapas en el desarrollo de un producto: 1. Diseño del sistema: el ingeniero utiliza principios Científicos y de Ingeniería para determinar la configuración básica; 2. Diseño de parámetros: se determinan los valores específicos para los parámetros del sistema; minimizando la variabilidad aportada por las variables de ruido; y 3. Diseño de tolerancias: se determinan las mejores tolerancias para los parámetros.

*Diseño de Parámetros.* Taguchi establece que pueden emplearse métodos de diseño experimental para hallar un mejor diseño del producto y/o del proceso. Aunque la búsqueda de diseños robustos no es algo nuevo, Taguchi merece el crédito por observar que el diseño experimental puede utilizarse como una parte formal del proceso de diseño técnico, siendo la estrategia clave de Taguchi la reducción de la variabilidad.

*Función de Pérdida.* La función de pérdida o de costo social establece una medida financiera del descontento del usuario con la actuación de un producto cuando se desvía de un valor designado como meta ( $t$ =target). Esta se expresa algebraicamente así  $L(y) = k(y-t)^2$  donde "y" es variable aleatoria de la característica de funcionamiento (característica de calidad) en estudio de un proceso o producto. El pensamiento tradicional occidental penaliza solo si y está fuera de los límites inferior o superior de especificaciones, en cambio el pensamiento Taguchi mediante la función de pérdida, penaliza todo "y" diferente de la meta t. Lo anterior es consistente con el mejoramiento continuo de Deming y Juran, buscando minimizar costos.

Para empezar a implantar el diseño de Taguchi, hay que desarrollar un Diseño de Experimentos (DOE), el cual se realiza en base a arreglos Ortogonales.

El arreglo ortogonal es una herramienta de ingeniería que simplifica y en algunos casos elimina gran parte de los esfuerzos de diseño estadístico. Es una forma de examinar simultáneamente muchos factores a bajo costo. El Dr. Taguchi recomienda el uso de arreglos ortogonales para hacer matrices que contengan los controles y los factores de ruido en el diseño de experimentos. Ha simplificado

el uso de este tipo de diseño al incorporar los arreglos ortogonales y las gráficas lineales, finalmente, en contraste con los enfoques tradicionales como equivalentes de ruido: mientras las interacciones sean relativamente suaves, el analista de los efectos principales nos proporcionará las condiciones óptimas y una buena reproductibilidad en un experimento.

Los arreglos ortogonales son herramientas que permiten al ingeniero evaluar qué tan robustos son los diseños del proceso y del producto con respecto a los factores de ruido. El método del Dr. Taguchi para el diseño de experimentos utiliza técnicas que implican bajos costos y que son aplicables a los problemas y requerimientos de la industria moderna. El propósito que se tiene en el diseño del producto es encontrar aquella combinación de factores que nos proporcione el desempeño más estable y confiable al precio de manufactura más bajo.

El sistema de ingeniería de calidad del Dr. Genichi Taguchi, es uno de los más grandes logros en ingeniería del siglo XX. El trabajo de la filosofía del Dr. Taguchi comenzó a formarse en los inicios de la década de los 50's cuando fue reclutado para ayudar a mejorar el sistema telefónico japonés que había sido diseñado para la Segunda Guerra Mundial. Taguchi empleó experimentos de diseño usando especialmente una tabla conocida como "arreglos ortogonales" para tratar los procesos de diseño. Los arreglos ortogonales son un conjunto especial de cuadros en latín, construidos por Taguchi para planear los experimentos del diseño del producto.

El análisis del arreglo ortogonal de Taguchi es usado para producir los mejores parámetros para el diseño óptimo del proceso, con el mínimo número de experimentos (pruebas). Los resultados obtenidos para los arreglos ortogonales son analizados para obtener los siguientes objetivos:

A) Estimar la contribución de los factores individuales que influyen en la calidad en la etapa del diseño del producto.

B) Ganar la mejor condición para un proceso o un producto, así que las características en una buena calidad puedan ser sostenidas.

La ventaja del los arreglos ortogonales es que pueden ser aplicados al diseño experimental involucrando un gran número de factores.

**ARREGLO ORTOGONAL QUE REPRESENTA  $L_a(b)^c$  DONDE:**

L = Indica que es un arreglo ortogonal

a = Número de corridas experimentales

b = Número de niveles para cada factor

c = Número de columnas o factores de un arreglo ortogonal.

### ARREGLO ORTOGONAL L8 (2)7

	1	2	3	4	5	6	7	
Na	A	B	C	D	E	F	G	RESULTADOS
1	1	1	1	1	1	1	1	Y1 NIVEL 1
2	1	1	1	2	2	2	2	Y2 NIVEL 1
3	1	2	2	1	1	2	2	Y3 NIVEL 1
4	1	2	2	2	2	1	1	Y4 NIVEL 1
6	2	1	2	1	2	1	2	Y6 NIVEL 2
6	2	1	2	2	1	2	1	Y6 NIVEL 2
7	2	2	1	1	2	2	1	Y7 NIVEL 2
8	2	2	1	2	1	1	2	Y8 NIVEL 2

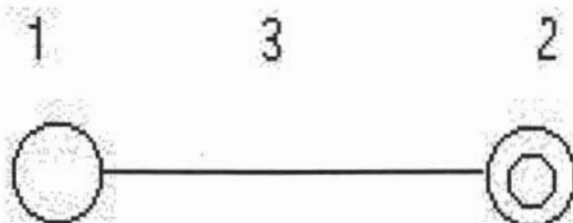
### ARREGLOS ORTOGONALES 2n

No/Col	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 2



GRAFICA LINEAL PARA L<sub>4</sub>

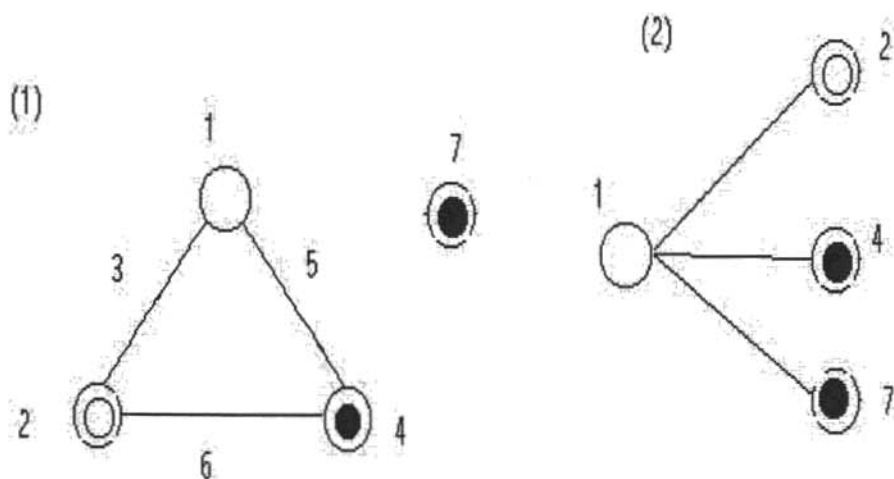
GRAFICA LINEAL PARA L<sub>4</sub>



G LOS ORTOGONALES 2n

No/Col	1	2	3	4	5	6	7		No/Col	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1		(1)	3	2	5	4	7	5	
2	1	1	1	2	2	2	2		(2)	1	6	7	4	5		
3	1	2	2	1	1	2	2		(3)	7	6	5	4			
4	1	2	2	2	2	1	1		(4)	1	2	3				
6	2	1	2	1	2	1	2		(5)	3	2					
6	2	1	2	2	2	2	1		(6)	1						
7	2	2	1	1	2	2	1		(7)							
8	2	2	1	2	1	1	2									

## GRÁFICA LINEAL PARA $L_8$



Cada renglón da un resultado bajo un conjunto de condiciones diferentes. Esto permite hacer comparaciones de los diferentes niveles de los factores. Un diseño ortogonal nos permite comparar los niveles de los factores bajo condiciones diferentes de la manera más eficiente.

En base a la información recaudada sabemos que son siete los factores que intervienen en el proceso de purificación de agua potable (hipoclorito de Sodio, Sulfato de Aluminio, Gravas, Arenas Sílicas, Carbón Activado, Resinas Catiónicas, Rayos ultravioleta, Microfiltrador), así como un factor de ruido (lluvia) el cual no es cuantificable y no es posible su control dentro del proceso.

Estos factores estarán manejándose a dos niveles, para poder deducir la relación entre los factores mientras se encuentran bajo diferentes condiciones en el proceso. El número de corridas experimentales será de tres para poder inferir mejor en los resultados y tener un mayor rango del universo.

L = CORRIDAS = 8

2 = NIVELES.

7 = FACTORES.

## **METODOLOGÍA SEIS SIGMA**

Pero ¿Qué entendemos por calidad? Se puede definir como un conjunto de características que posee un producto o servicio obtenidos en un sistema productivo, así como su capacidad de satisfacción de los requerimientos del usuario.

Existe un parámetro estadístico de dispersión que expresa la variabilidad de un conjunto de valores respecto a su valor medio, el cual es  $\sigma$  (sigma), de modo que cuanto menor sea  $\sigma$ ; menor será el número de defectos. Este parámetro cuantifica la dispersión de esos valores respecto al valor medio, por tanto, fijados unos límites de especificación por el cliente, (superior e inferior), respecto al valor central objetivo, cuanto menor sea  $\sigma$  menor será el número de valores fuera de especificaciones, por tanto, menor será el número de defectos.

Dentro del proceso de alcanzar y mantener la calidad entra una filosofía imperativa en este ámbito; Seis Sigma.

¿Que es Seis Sigma? Es un método organizado y sistemático para la mejora de procesos estratégicos y el desarrollo de nuevos productos basado en métodos estadísticos para reducir drásticamente el porcentaje de defectos hasta llegar al definido por el cliente. Es un proceso empresarial que permite a las compañías mejorar drásticamente sus resultados finales, diseñando y supervisando sus actividades empresariales cotidianas, minimizando despilfarros y recursos e incrementando la satisfacción del cliente.

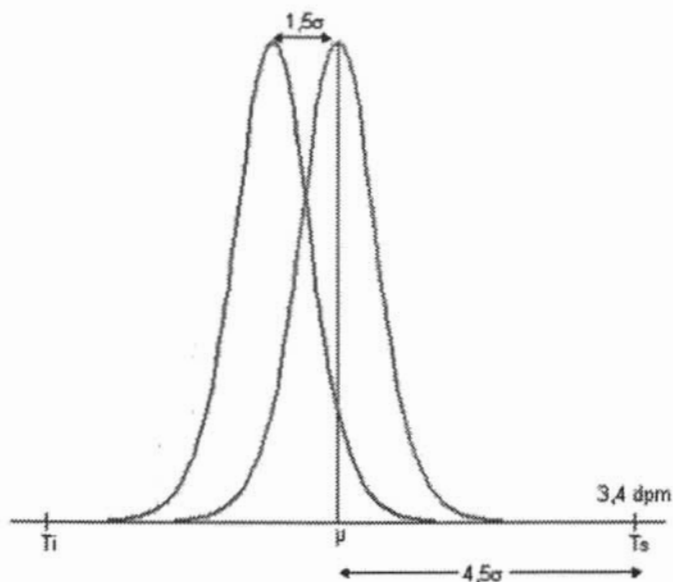


Figura 3.1

Un nivel de defectos de 3,4 dpm (defectos por millón) se considera un nivel de calidad excelente y, por tanto, un objetivo estratégico a alcanzar si una empresa pretende la satisfacción de sus clientes como se muestra en la figura 3.1. La novedad de iniciativa de Seis Sigma radica, en primer lugar, en la formación interna de los empleados en todos los niveles de la organización en métodos estadísticos y, en segundo lugar, en desarrollar una organización interna que sepa enfocar esos recursos humanos en proyectos que tengan una clara oportunidad de mejora y, además, un impacto en la cuenta de resultados de la empresa, es decir que logre los resultados tangibles a través de una metodología rigurosa.

Nivel $\sigma$	Defectos por millón	Nivel de calidad (%)
1	697.672	30,23280
2	308.537	69,12300
3	66.807	93,33190
4	6.210	99,37900
5	233	99,97670
6	3,4	99,99966

Tabla 3.1

La sigma de un proceso designa su capacidad de operar correctamente, o en terminología Seis Sigma, sin defectos como se detalla en la tabla 1, un proceso 3 sigma funciona sin errores en el 93.33% de los casos, y en un proceso 6 sigma lo

hace en el 99.9997% de los casos, o con solo 3.4 defectos por millón de oportunidades. La mayoría de las empresas operan actualmente a niveles entre 3 y 4 sigma. El rendimiento y los niveles de calidad son menores en las áreas de servicios.

Detrás de estas cifras se esconden grandes ineficiencias (las llamadas 'factorías ocultas'), clientes insatisfechos y una enorme oportunidad de mejorar la productividad y la satisfacción de los clientes. Se estima que los costes asociados a "problemas de calidad" en empresas que operan entre 3 y 4 sigma, suponen entre el 10 y el 15% de los ingresos.

# **CAPITULO III**

## **PROPUESTA DE SOLUCIÓN**

## MEJORA DEL PROCESO

A continuación se mostrará como realizar paso a paso el diseño de experimento factorial, el diseño de Taguchi, así como el análisis del mismo con las tablas y graficas que validan la creación del diseño.

## UTILIZACIÓN DE SOFTWARE MINITAB PARA PROCESAMIENTO DE DATOS.

Para realizar el diseño de experimentos, se utiliza un software estadístico, que efectúa los cálculos con mayor rapidez y exactitud en una PC. Primer paso, ingresar al programa de Minitab por medio del icono de acceso directo del paquete.

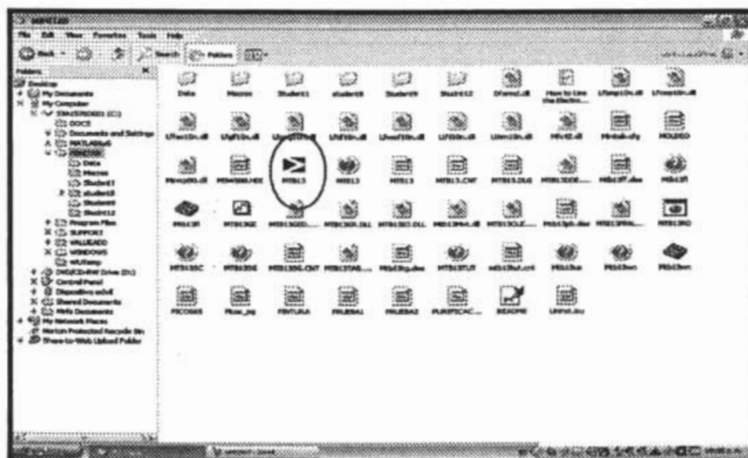


Figura 3.1



En seguida aparecerá la pantalla con la hoja de trabajo, y la hoja de sesión donde se registra, todas las actividades que se realizan a lo largo de la sesión en el paquete.

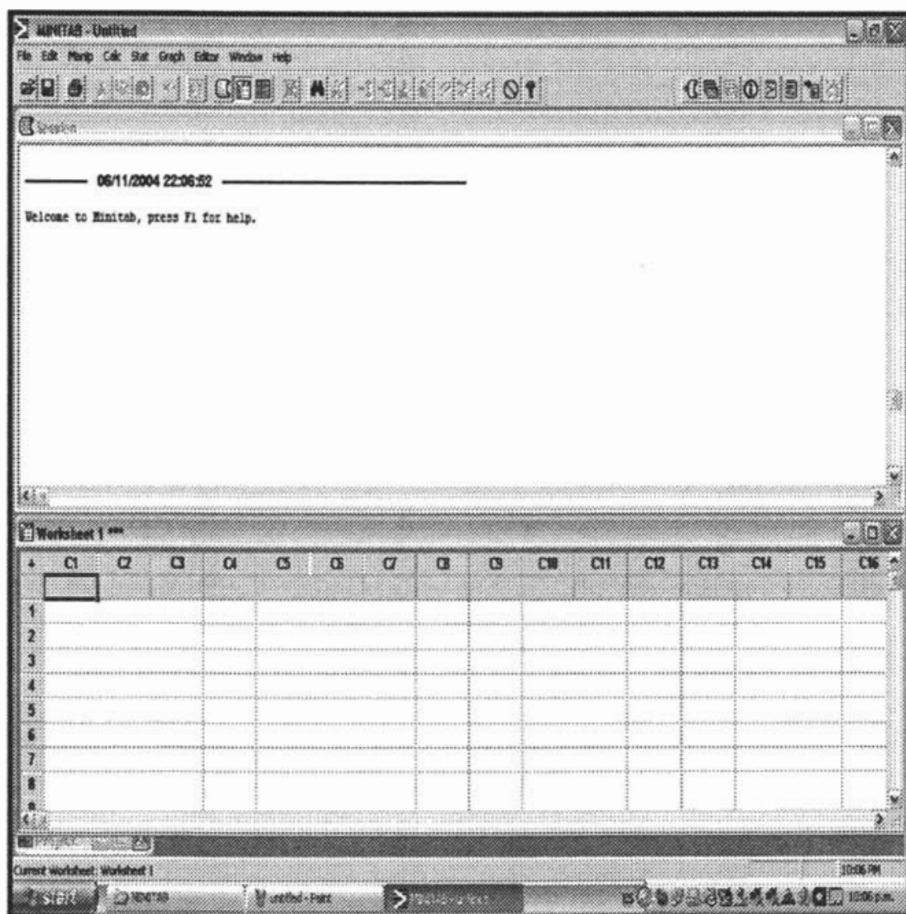


Figura 3.2

El siguiente paso es acceder, al menú estadístico (STAT), donde aparecerá el submenú diseño de experimentos (DOE), dentro de este submenú se accede al comando Taguchi, donde se creará el diseño de experimentos por medio de un arreglo ortogonal.

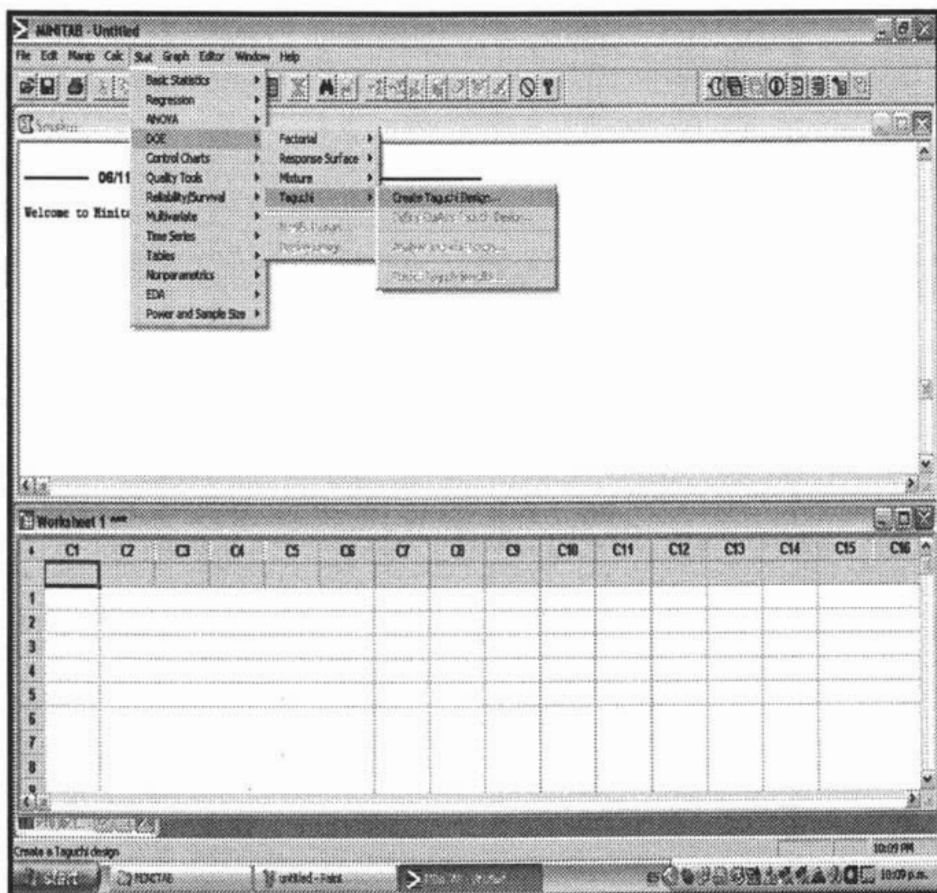


Figura 3.3

Enseguida aparece el recuadro de las especificaciones para la creación del DOE, donde se especificará el número de factores y niveles.

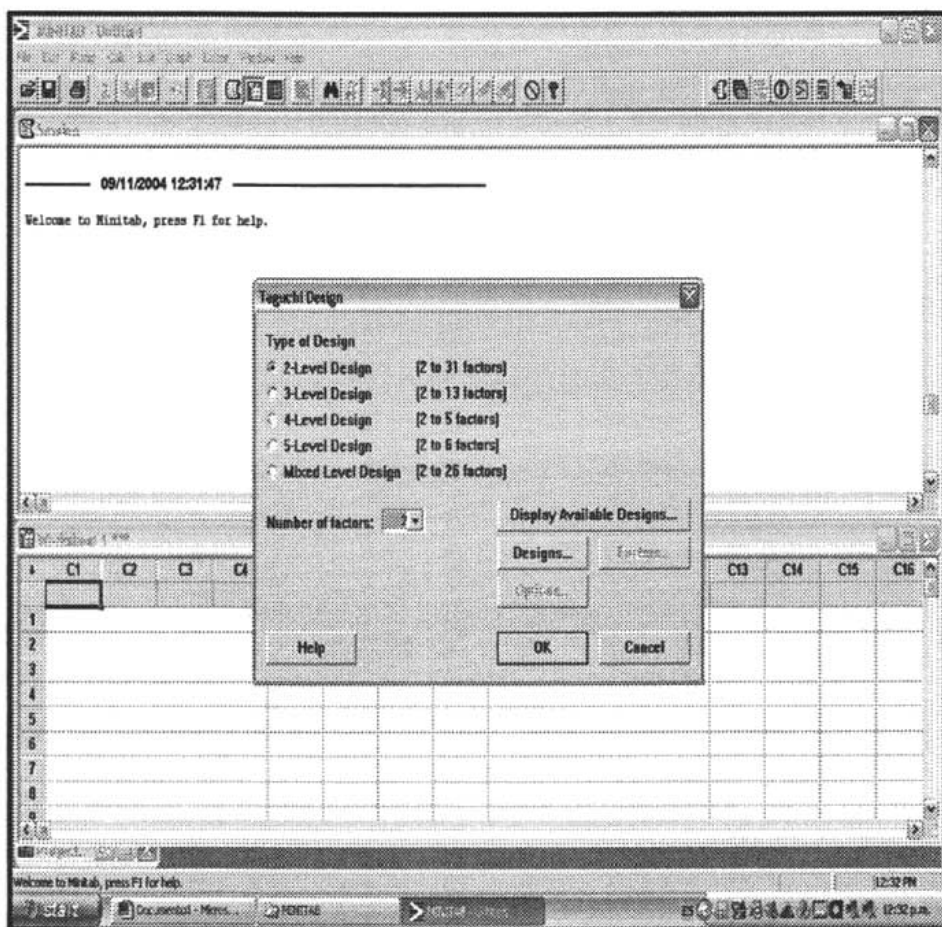


Figura 3.4

A continuación se accede al comando para visualizar en la pantalla los diseños disponibles de acuerdo al número de factores seleccionados.

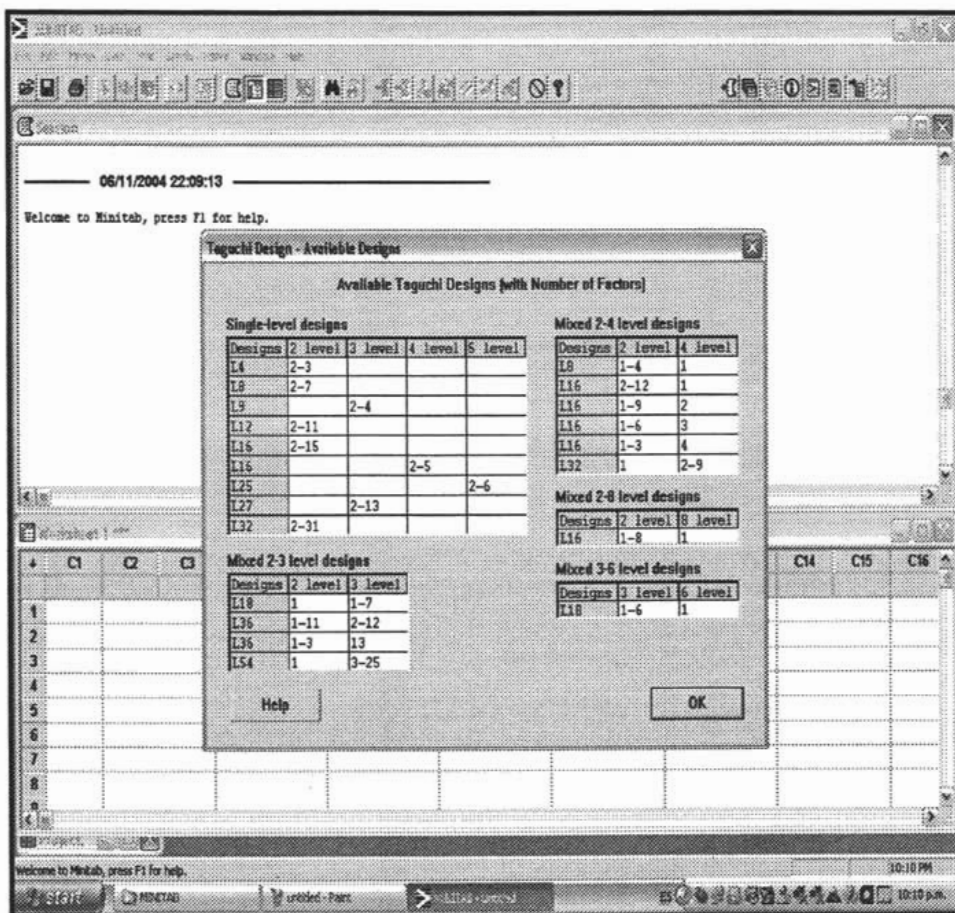


Figura 3.5

Después de revisar los diseños disponibles y dar clic en OK, vuelve la pantalla de la figura 3.4, y ahí elegimos el comando Diseños (Designs) donde se elige el número de corridas del arreglo de acuerdo al número de los factores.

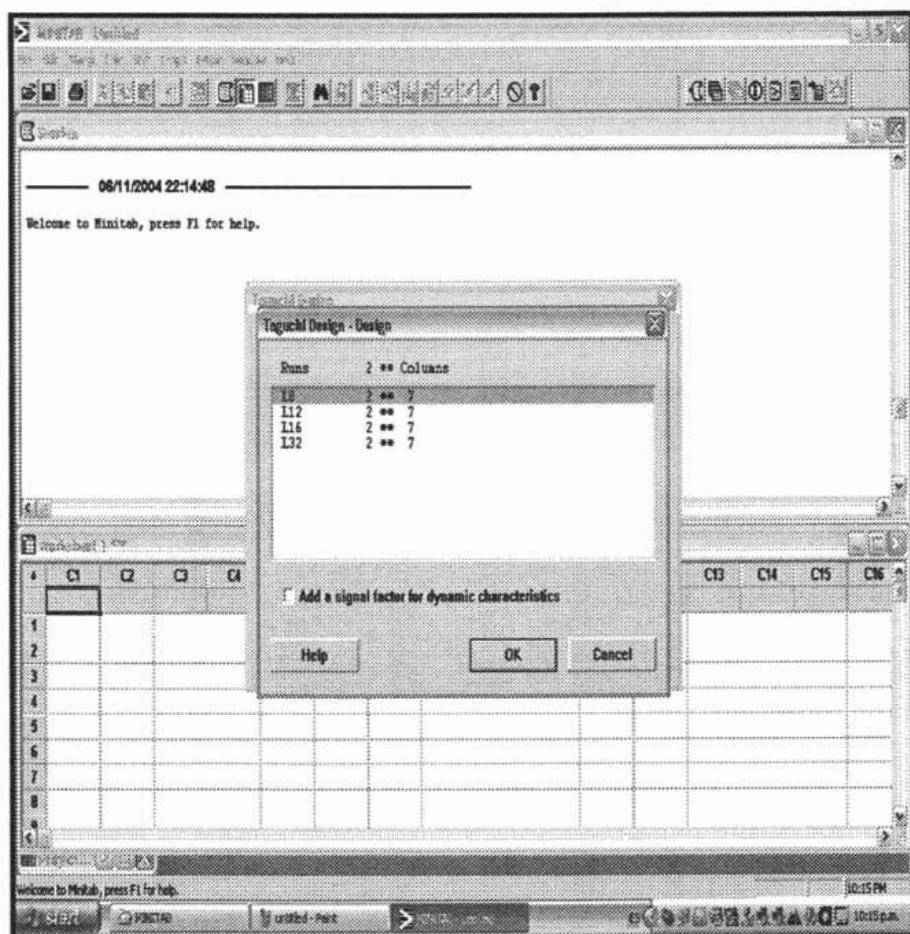


Figura 3.5

Después de seleccionar el tipo de arreglo, el paquete vuelve automáticamente a la figura 3.4, donde ahora se seleccionará el comando de Factores (Factors). En el cual se seleccionara la posición y nombre de los factores, así como los valores de los niveles.

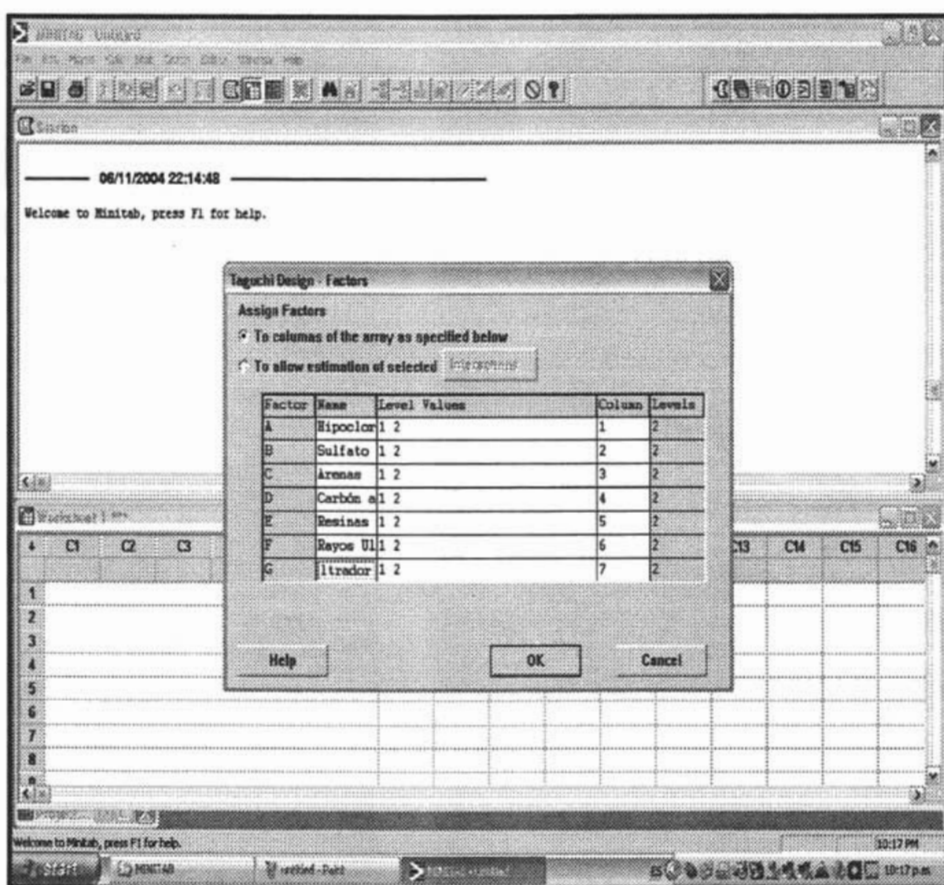


Figura 3.6

Al presionar OK en la pantalla anterior, Minitab regresa de nuevo al menú de la figura 3.4 y en dicho menú escogemos el comando opciones (Options) el cual activa la función para almacenar el diseño en la hoja de trabajo (worksheet).

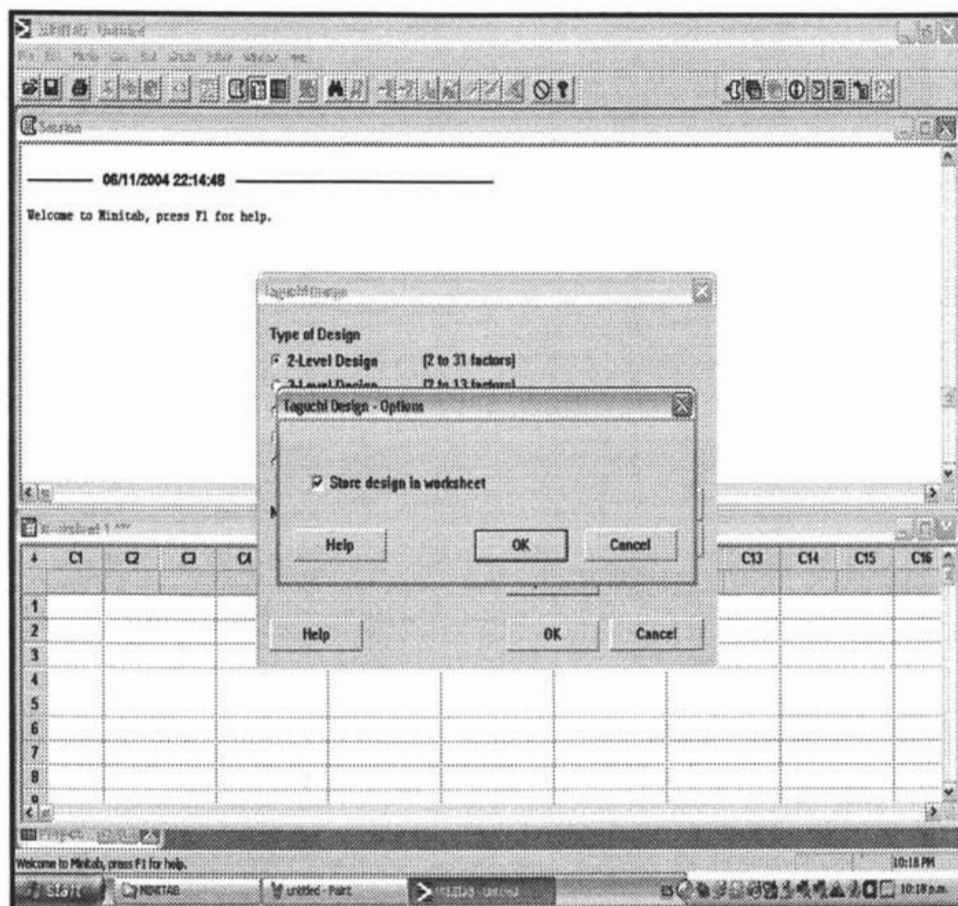


Figura3.7

Terminado el llenado de los comandos de la figura 3.4 , se selecciona OK y Minitab desplegará en la hoja de trabajo, el Diseño de experimentos, con los factores

y las corridas con las cuales se tomaran las muestras para analizar las interacciones de los factores bajo diferentes circunstancias.

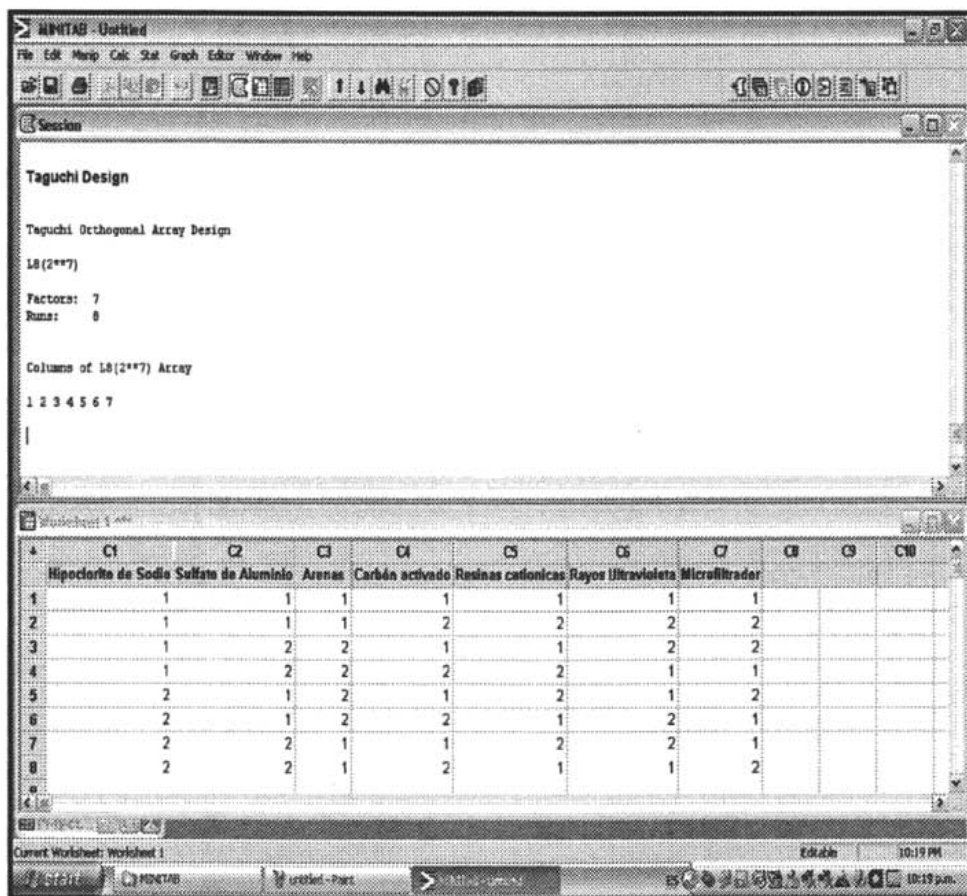


Figura 3.8



Teniendo ahora las combinaciones de los factores y los niveles que se van a manejar para cada corrida, se procede a ejecutar las corridas de acuerdo con el DOE de la figura anterior.

Factores	Nivel Alto 1	Nivel Bajo 2
Hipoclorito de sodio	4.78 lts.	3.78 lts.
Sulfato de Aluminio	8 Kg.	3 Kg.
Arenas Silicas	113 Kg.	75Kg.
Carbón Activado	35 Kg.	13 Kg.
Resinas Catiónicas	250 Kg.	225 Kg.
Luz Ultravioleta	120 w	90 w
Microfiltrador	20 micras	5 micras
Factor de Ruido	Nivel Alto 1	Nivel Bajo 2
Lluvia	Sin Lluvia	Con Lluvia

Teniendo los valores de los niveles de cada uno de los factores, se realizan las corridas experimentales, de acuerdo al DOE realizado con Minitab. Teniendo controlado todos los factores del proceso, incluyendo el factor de ruido para el cual hay que realizarlo de acuerdo a la situación climatológica que prevalezca.

## CORRIDAS EXPERIMENTALES

De acuerdo al Diseño de Experimentos (DOE) realizado en Minitab

Corrida 1:

Hipoclorito de Sodio	Sulfato de Aluminio	Arenas Silicas	Carbón Activado	Resinas Catiónicas	Luz Ultravioleta	Microfiltrador	Factor Lluvia	Partes por Millón
1	1	1	1	1	1	1	1	39
4.78 lts.	8 kg.	113 kg	35 kg.	250 kg	120 w	20 micras	Sin Lluvia	

Corrida 2:

Hipoclorito de Sodio	Sulfato de Aluminio	Arenas Silicas	Carbón Activado	Resinas Catiónicas	Luz Ultravioleta	Microfiltrador	Factor Lluvia	Partes por Millón
1	1	1	1	1	1	1	2	41
4.78 lts.	8 kg.	113 kg	35 kg.	250 kg	120 w	20 micras	Con Lluvia	

Corrida 3:

Hipoclorito de Sodio	Sulfato de Aluminio	Arenas Silicas	Carbón Activado	Resinas Catiónicas	Luz Ultravioleta	Microfiltrador	Factor Lluvia	Partes por Millón
1	2	2	1	1	2	2	1	43
4.78 lts.	3 kg.	75 kg.	35 kg.	250 kg	90 w	5 micras	Sin Lluvia	

Corrida 4:

Hipoclorito de Sodio	Sulfato de Aluminio	Arenas Silicas	Carbón Activado	Resinas Catiónicas	Luz Ultravioleta	Microfiltrador	Factor Lluvia	Partes por Millón
1	2	2	1	1	2	2	2	40
4.78 lts.	3 kg.	75 kg.	35 kg.	250 kg	90w	5 micras	Con Lluvia	

Corrida 5:

Hipoclorito de Sodio	Sulfato de Aluminio	Arenas Silicas	Carbón Activado	Resinas Catiónicas	Luz Ultravioleta	Microfiltrador	Factor Lluvia	Partes por Millón
1	2	2	2	2	1	1	1	42
4.78 lts.	3 kg.	75 kg.	13 kg.	225 kg	120 w	5 micras	Sin Lluvia	

Corrida 6:

Hipoclorito de Sodio	Sulfato de Aluminio	Arenas Silicas	Carbón Activado	Resinas Catiónicas	Luz Ultravioleta	Microfiltrador	Factor Lluvia	Partes por Millón
1	2	2	2	2	1	1	2	45
4.78 lts.	3 kg.	75 kg.	13 kg.	225 kg	120 w	5 micras	Con Lluvia	

Corrida 7:

Hipoclorito de Sodio	Sulfato de Aluminio	Arenas Silicas	Carbón Activado	Resinas Catiónicas	Luz Ultravioleta	Microfiltrador	Factor Lluvia	Partes por Millón
1	2	2	2	2	1	1	1	45
4.78 lts.	3 kg.	75kg.	13 kg.	225 kg	120 w	20 micras	Sin Lluvia	

Corrida 8:

Hipoclorito de Sodio	Sulfato de Aluminio	Arenas Silicas	Carbón Activado	Resinas Catiónicas	Luz Ultravioleta	Microfiltrador	Factor Lluvia	Partes por Millón
1	2	2	2	2	1	1	2	48
4.78 lts.	3 kg.	75 kg.	13 kg.	225 kg	120 w	20 micras	Con Lluvia	

Corrida 9:

Hipoclorito de Sodio	Sulfato de Aluminio	Arenas Silicas	Carbón Activado	Resinas Catiónicas	Luz Ultravioleta	Microfiltrador	Factor Lluvia	Partes por Millón
2	1	2	1	2	1	2	1	43
3.78 lts.	8 kg.	75 kg.	35 kg.	225 kg	120 w	5 micras	Sin Lluvia	

Corrida10:

Hipoclorito de Sodio	Sulfato de Aluminio	Arenas Silicas	Carbón Activado	Resinas Catiónicas	Luz Ultravioleta	Microfiltrador	Factor Lluvia	Partes por Millón
2	1	2	1	2	1	2	2	45
3.78 lts.	8 kg.	75 kg.	35 kg.	225 kg	120w	5 micras	Con Lluvia	

Corrida 11:

Hipoclorito de Sodio	Sulfato de Aluminio	Arenas Silicas	Carbón Activado	Resinas Catiónicas	Luz Ultravioleta	Microfiltrador	Factor Lluvia	Partes por Millón
2	1	2	2	1	2	1	1	42
3.78 lts.	8 kg.	75 kg.	13 kg.	250 kg	90 w	20 micras	Sin Lluvia	

Corrida 12:

Hipoclorito de Sodio	Sulfato de Aluminio	Arenas Silicas	Carbón Activado	Resinas Catiónicas	Luz Ultravioleta	Microfiltrador	Factor Lluvia	Partes por Millón
2	1	2	2	1	2	1	2	43
3.78 lts.	8 kg.	75 kg.	13 kg.	250 kg	90 w	20 micras	Con Lluvia	

Corrida 13:

Hipoclorito de Sodio	Sulfato de Aluminio	Arenas Silicas	Carbón Activado	Resinas Catiónicas	Luz Ultravioleta	Microfiltrador	Factor Lluvia	Partes por Millón
2	2	1	1	2	2	1	1	40
3.78 lts.	3 kg.	113 kg	13kg.	225 kg	90 w	20 micras	Sin Lluvia	

Corrida 14:

Hipoclorito de Sodio	Sulfato de Aluminio	Arenas Silicas	Carbón Activado	Resinas Catiónicas	Luz Ultravioleta	Microfiltrador	Factor Lluvia	Partes por Millón
2	2	1	1	2	2	1	2	42
3.78 lts.	3 kg.	113 kg	35 kg.	225 kg	90 w	20 micras	Con Lluvia	

Corrida 15:

Hipoclorito de Sodio	Sulfato de Aluminio	Arenas Silicas	Carbón Activado	Resinas Catiónicas	Luz Ultravioleta	Microfiltrador	Factor Lluvia	Partes por Millón
2	2	1	2	1	1	2	1	43
3.78 lts.	3 kg.	113 kg	13 kg.	250 kg	120 w	5 micras	Sin Lluvia	

Corrida 16:

Hipoclorito de Sodio	Sulfato de Aluminio	Arenas Silicas	Carbón Activado	Resinas Catiónicas	Luz Ultravioleta	Microfiltrador	Factor Lluvia	Partes por Millón
2	2	1	2	1	1	2	2	44
3.78 lts.	3 kg.	113 kg	13 kg.	250 kg	120 w	5 micras	Con Lluvia	

Al terminar de realizar las corridas manipulando los factores de acuerdo al Diseño de Experimento (DOE), realizado, se prosigue a introducir los resultados de las partes por millón que se registraron al evaluar la calidad del agua, al término del proceso de purificación.

Este paso se realiza dentro de la hoja de trabajo que quedo abierta.

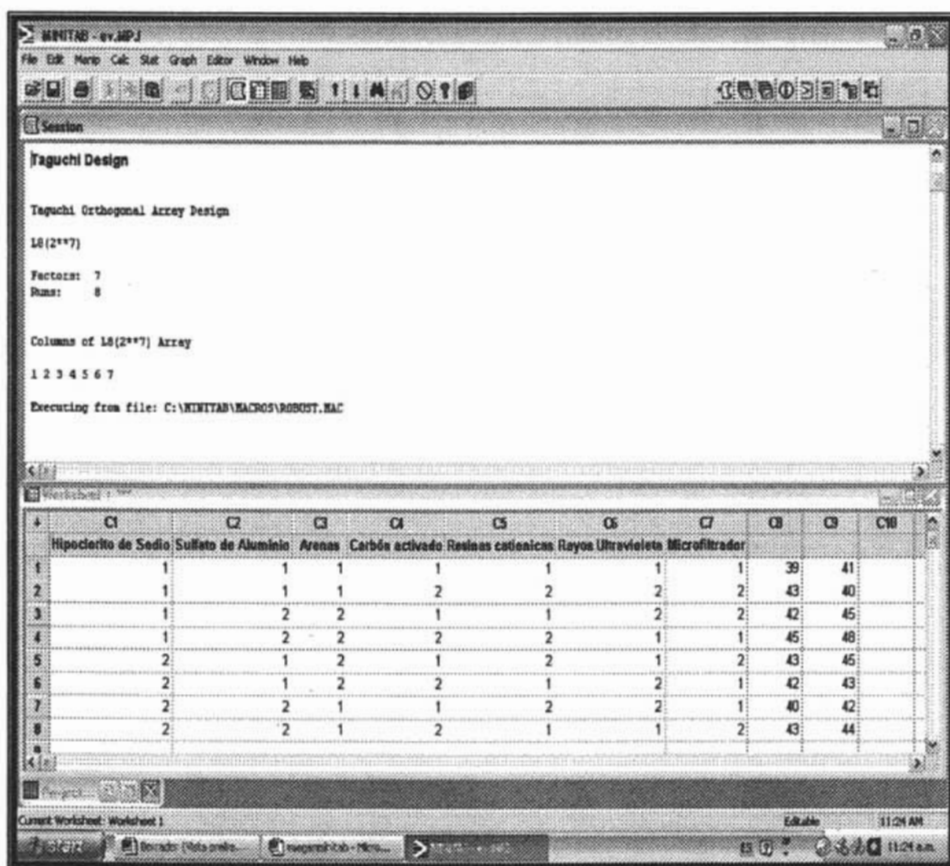


Figura 3.9



Una vez introducidos los datos de los resultados de las corridas experimentales, se procede a realizar el análisis de la información por medio del método de Taguchi. Se accede al menú diseño de experimentos (DOE), el submenú Taguchi, y seleccionar el comando del análisis de diseño de Taguchi (Analyze Taguchi Designs).

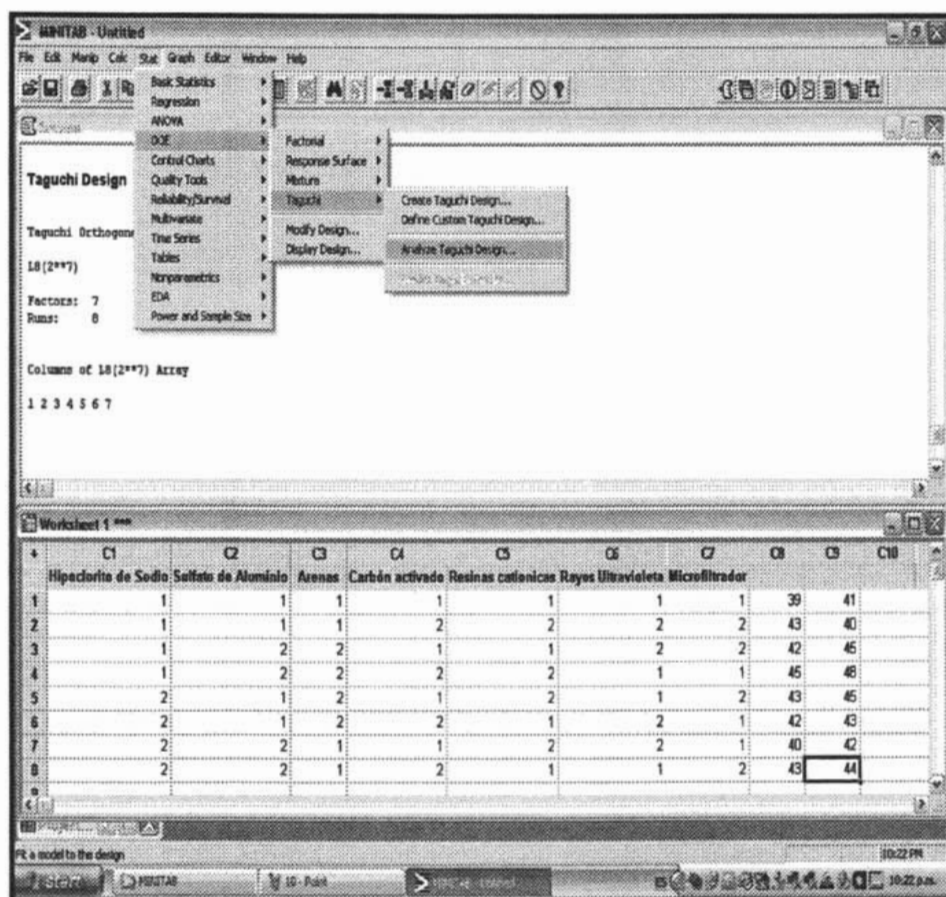


Figura 3.10

En seguida se abrirá un recuadro en donde se escogerá las columnas de los datos de respuesta.

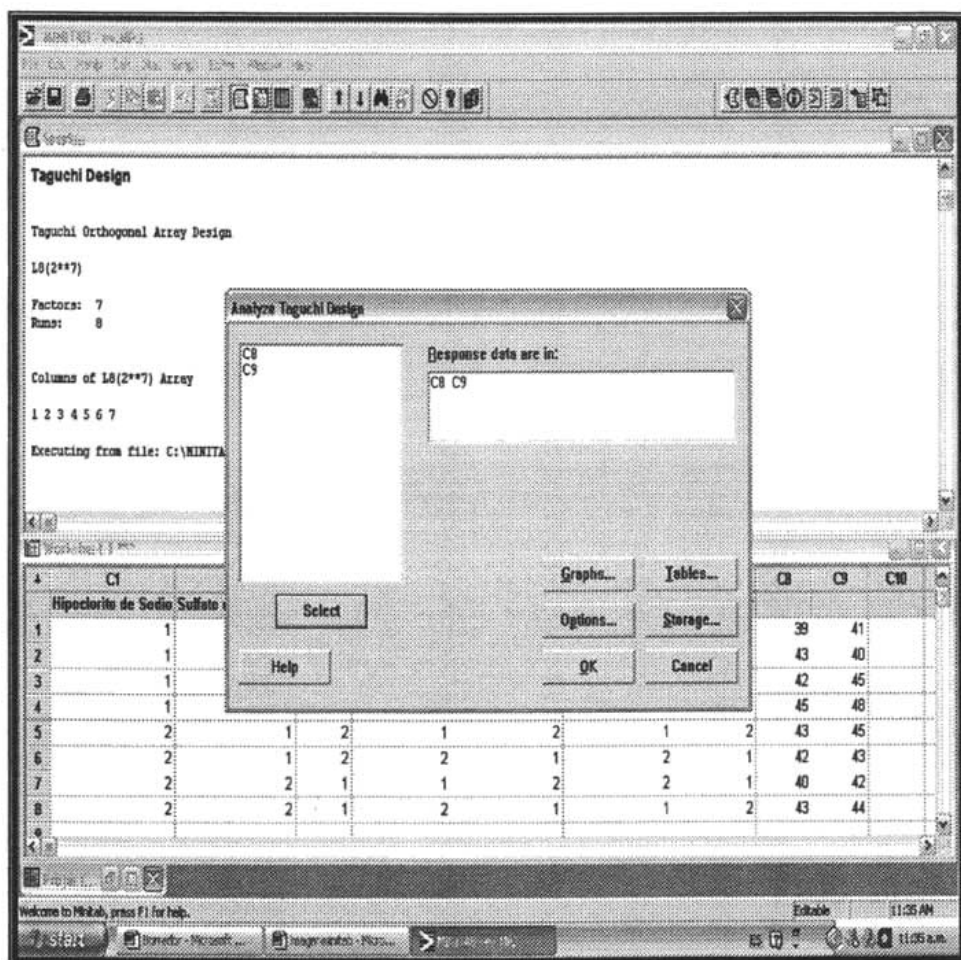


Figura 3.11

Dentro de este mismo recuadro después de haber seleccionado las columnas de los datos de respuesta, seleccionamos el botón de Gráficas (Graphs) donde, escogeremos las graficas pertinentes para realizar el análisis, graficas de la relación señal a ruido, de medias, y desviaciones estándar.

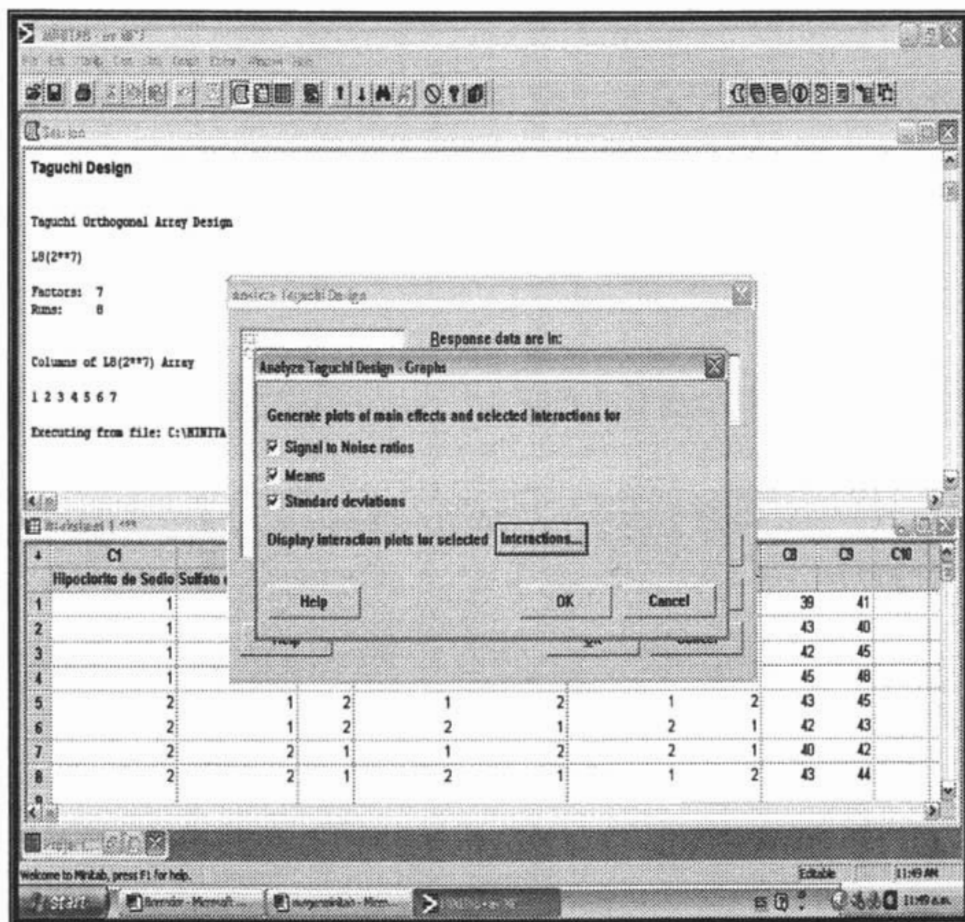


Figura 3.12

Al terminar con las graficas que se seleccionaron oprimimos OK, y se procede a escoger las tablas de la figura 3.11, donde esta el botón de tablas (Tables), con las cuales inferiremos sobre la información procesada.

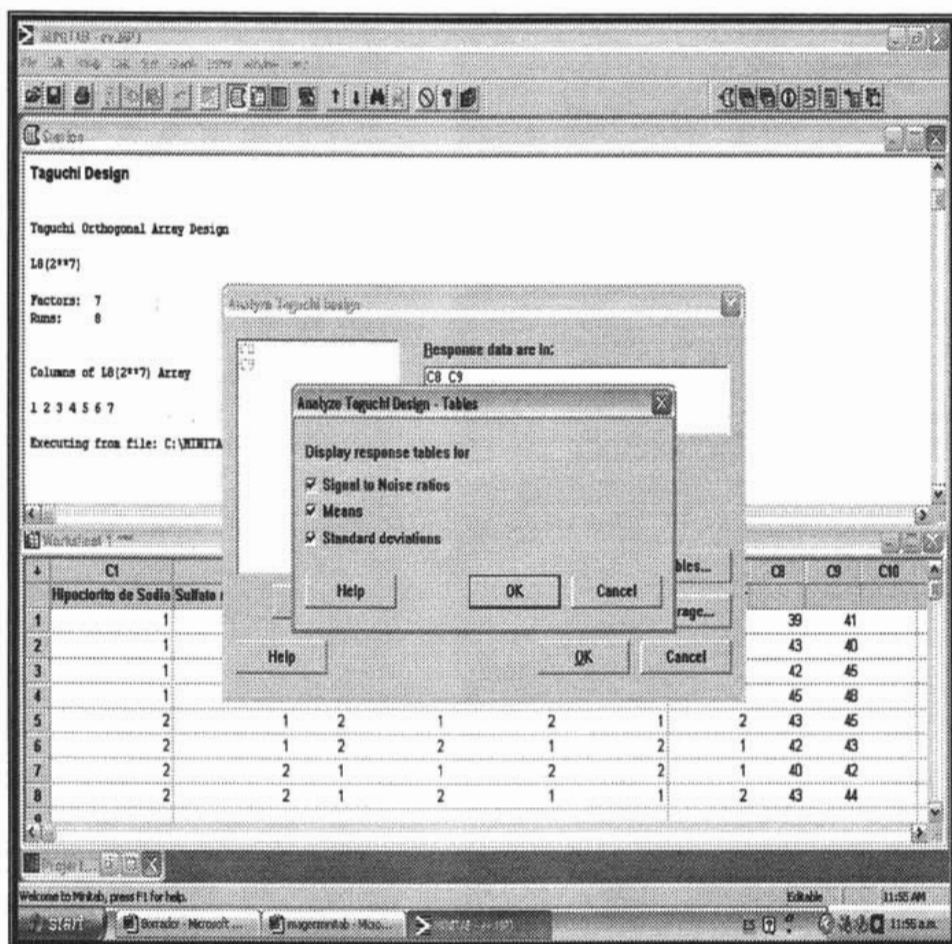


Figura 3.13

Una vez finalizada la selección de las tablas necesarias, nos introducimos almenú opciones (Options) de la figura 3.11, donde se seleccionara el criterio con el cual se va a inferir los datos. En este caso lo que se busca es reducir el número de partes por millón, de partículas sólidas, que se encuentran en suspensión, al terminar el proceso de purificación de agua potable. La cual debe de estar por debajo de las 40 ppm.

Por lo cual se escogerá Lo Menor es lo Mejor (Smaller is better).

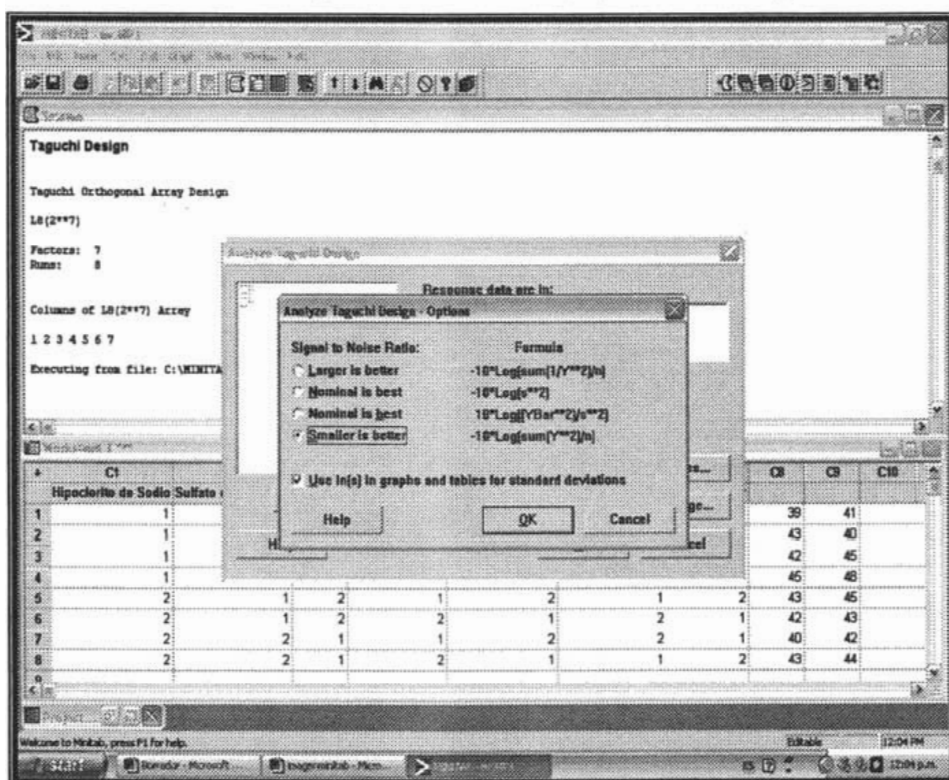


Figura 3.14

Por ultimo dentro de la figura 3.11 se selecciona la opción almacenamiento (Storage) dentro de la cual se eligen, los valores y resultados del proceso de análisis.

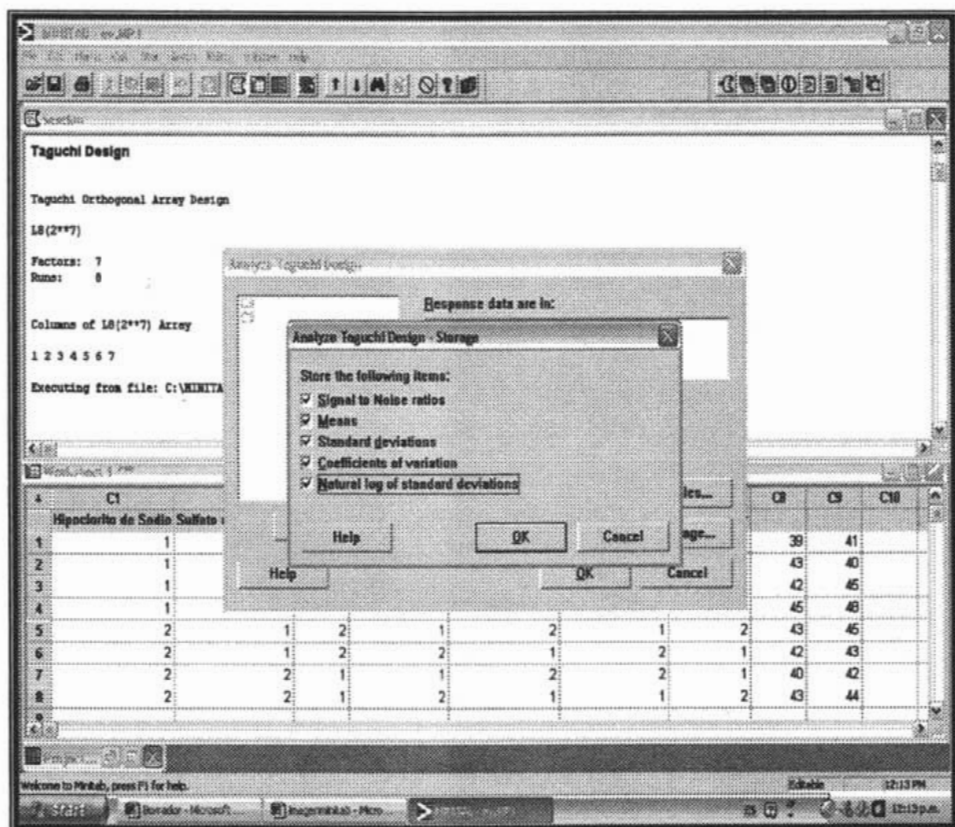


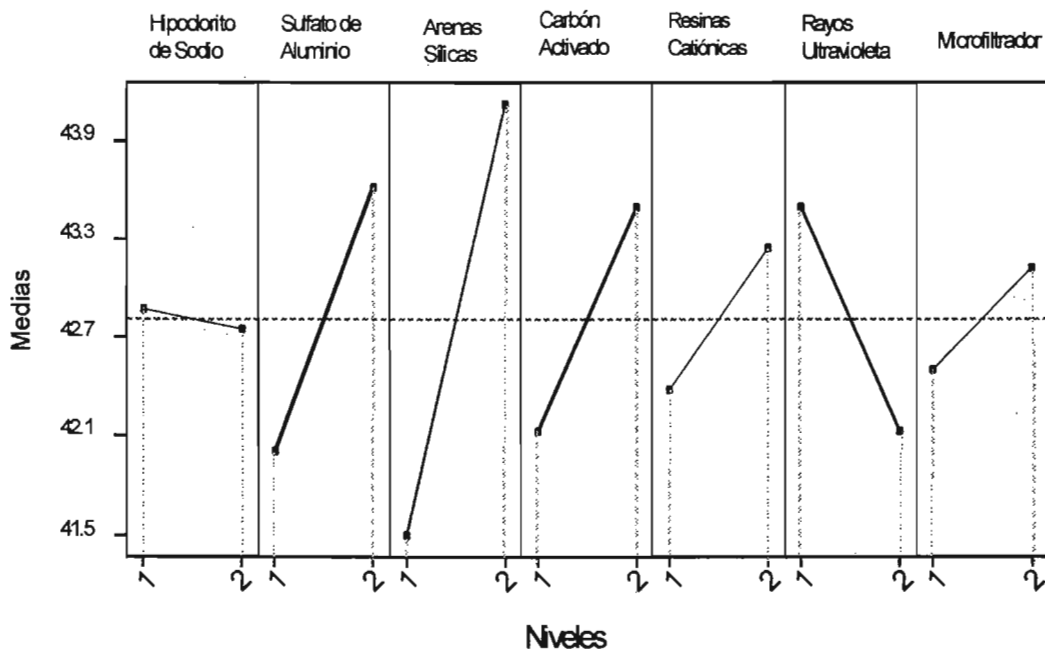
Figura 3.15

Al terminar con el comando de almacenamiento (Storage), en la imagen anterior se selecciona OK, e inmediatamente, Minitab comienza a realizar los cálculos, graficas y tablas que le fueron pedidas, para arrojar los resultados.

# **CAPITULO IV**

## **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## GRAFICA DE MEDIAS



En esta grafica se puede apreciar a los factores que interviene en el proceso de purificación y con lo cual se nota, que los factores más representativos que infieren en la posición son: Las Arenas, el Sulfato de Alumino, el Carbón Activado al igual que los Rayos Ultravioleta. En la gráfica se denota que, para favorecer la posición, los factores deben manejarse con los siguientes niveles :



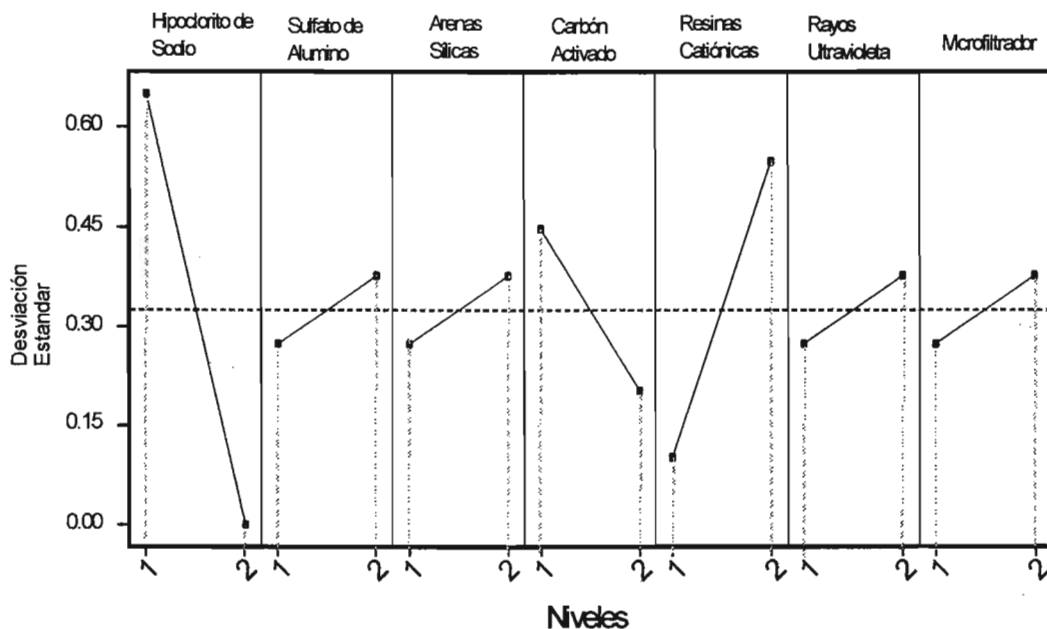
- Hipoclorito de sodio a un nivel Bajo (2) con 3.78 lts por carga.
- Sulfato de aluminio a un nivel Alto (1) con 8 kg por carga.
- Arenas Silicas a un nivel Alto (1) con 113 Kg por carga.
- Carbón Activado a un nivel Alto (1) con 35 Kg por carga.
- Resinas Cationicas a un nivel Alto (1) con 250 kg por carga
- Rayos ultravioleta a un nivel Bajo (2) con 90 w por carga.
- Microfiltrador a un nivel Alto (1) con 20 micras por carga.

Esta información es verificada con la tabla que arroja minitab de la relación de medias.

**TABLA DE RESPUESTA DE MEDIAS**

Nivel	Hipoclorito de Sodio	Sulfato de Aluminio	Arenas Silicas	Carbón Activado	Resinas Catiónicas	Luz Ultravioleta	Microfiltrador
1	42.875	42.000	41.500	42.125	42.375	43.500	42.500
2	42.750	43.625	44.125	43.500	43.250	1.375	43.125
Delta	0.125	1.625	2.625	1.375	0.875	1.375	0.625
Rank	7	2	1	3.5	5	3.5	6

## GRAFICA DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR



En esta gráfica, se aprecia la representación de las desviaciones estándar de cada factor, de acuerdo a la interrelación que llevan a lo largo de la ejecución del proceso de purificación de agua potable. En todo proceso, lo que se busca es reducir, e inclusive eliminar la variación, así pues, con esta gráfica se ayuda a vislumbrar, los factores más representativos para la variación dentro de el proceso y se tiene que los factores: el Hipoclorito de Sodio y las Resinas Catiónicas son los que más afectan en la variación del proceso, seguidas del resto de los factores:

- Hipoclorito de sodio a un nivel Bajo (2) con 3.78 lts por carga.
- Sulfato de aluminio a un nivel Alto (1) con 8 kg por carga.
- Arenas Silicas a un nivel Alto (1) con 113 Kg por carga.
- Carbón Activado a un nivel Bajo (2) con 13 Kg por carga.
- Resinas Cationicas a un nivel Alto (1) con 250 kg por carga
- Rayos ultravioleta a un nivel Alto (1) con 120 w por carga.
- Microfiltrador a un nivel Alto (1) con 20 micras por carga.

### TABLA DE RESPUESTA DE DESVIACIONES ESTÁNDAR

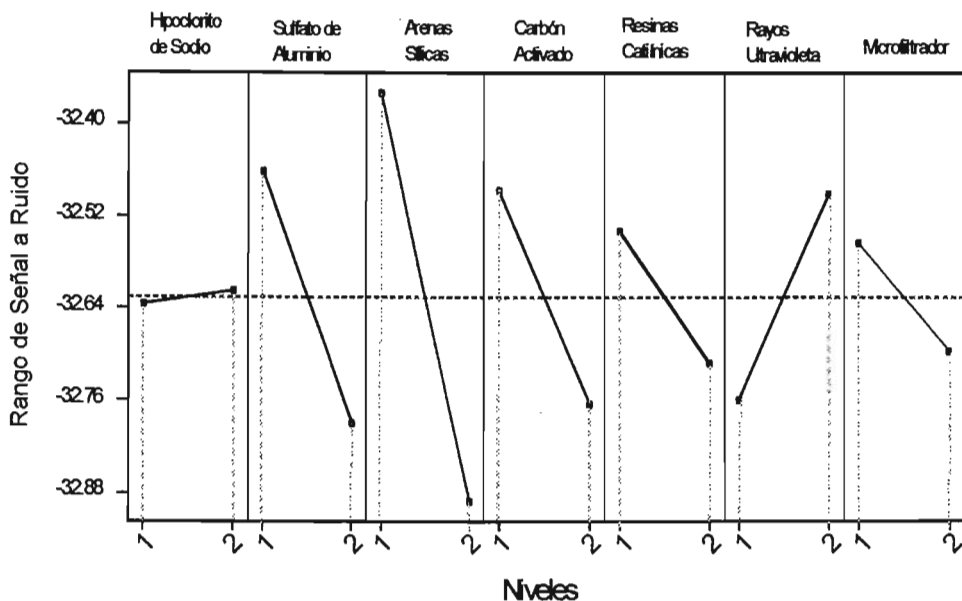
Al cotejar los datos de las gráficas y las tablas, procesados, de acuerdo a Minitab, las corridas quedan de la siguiente manera para la desviación estándar y la relación de medias.

Nivel	Hipoclorito de Sodio	Sulfato de Aluminio	Arenas Silicas	Carbón Activado	Resinas Catiónicas	Luz Ultravioleta	Microfiltrador
1	1.94454	1.41421	1.41421	1.59099	1.23744	1.41421	1.41421
2	1.06066	1.59099	1.59099	1.41421	1.76777	1.59099	1.59099
Delta	0.88388	0.17678	0.17678	0.17678	0.53033	0.17678	0.17678
Rank	1	5	5	5	2	5	5

<b>Medias</b>	<b>Nivel Bajo (2)</b>	<b>Nivel Alto (1)</b>	<b>Nivel Alto (1)</b>	<b>Nivel Alto (1)</b>	<b>Nivel Alto (1)</b>	<b>Nivel Bajo (2)</b>	<b>Nivel Alto (1)</b>
	Hipoclorito de Sodio	Sulfato de Aluminio	Arenas Silicas	Carbón Activado	Resinas Catiónicas	Luz Ultravioleta	Microfiltrador
<b>Desviación Estándar</b>	<b>Nivel Bajo (2)</b>	<b>Nivel Alto (1)</b>	<b>Nivel Alto (1)</b>	<b>Nivel Bajo (2)</b>	<b>Nivel Alto (1)</b>	<b>Nivel Alto (1)</b>	<b>Nivel Alto (1)</b>

Como se distingue solo hay dos factores en los cuales existe la controversia de que nivel usar, alto o bajo, los cuales son: el Carbón Activado y la Luz Ultravioleta; los demás factores coinciden en el nivel a usar durante el proceso de purificación de agua potable. Pero dicha controversia será disipada por La Relación Señal a Ruido, la cual determina, la combinación de niveles con los cuales la calidad del agua, medida en partes por millón de partículas en suspensión, sea menor a 40 ppm, que es el objetivo.

## GRAFICA DE LA RELACIÓN SEÑAL A RUIDO



En la grafica se observa la Relación Señal a Ruido de los factores, y es apreciable qué factores son los mas representativos es decir los que tiene mayor jerarquía para la relación. Se nota que el factor más significativo son Las Arenas Sílicas, seguido del Sulfato de Aluminio, a su vez se muestra, que el factor de menor jerarquía es el Hipoclorito de Sodio. La selección del nivel de los factores, con los que se va a trabajar para incrementar la calidad del agua en el proceso de purificación de agua potable, se determina por medio de la tabla de Señal a Ruido, proporcionada por Minitab, mediante el diseño de experimentos por el Método de Taguchi.

## TABLA DE LA RELACIÓN SEÑAL A RUIDO

Nivel	Hipoclorito de Sodio	Sulfato de Aluminio	Arenas Silicas	Carbón Activado	Resinas Catiónicas	Luz Ultravioleta	Microfiltrador
1	-32.6348	-32.4626	-32.3598	-32.4871	-32.5394	-32.7598	-32.5568
2	-32.6171	-32.7893	-32.8920	-32.7647	-32.7124	-32.4921	-32.9658
Delta	0.0177	0.3226	0.5323	0.2776	0.1730	0.2677	0.1398
Rank	7	2	1	3	5	4	6

En la tabla se muestra, la relación señal a ruido de los factores que intervienen en el proceso, que se esta mejorando, de acuerdo a los cálculos, realizados por Minitab, la combinación de factores y niveles apropiados para mejorar la calidad de agua potable, en el proceso de purificación es la siguiente:

Nivel Bajo (2)	Nivel Alto (1)	Nivel Alto (1)	Nivel Alto (1)	Nivel Alto (1)	Nivel Bajo (2)	Nivel Alto (1)
Hipoclorito de Sodio	Sulfato de Aluminio	Arenas Silicas	Carbón Activado	Resinas Catiónicas	Luz Ultravioleta	Microfiltrador
3.78 lts.	8 kg.	113 kg.	34 kg.	250 kg.	90 w.	20 micras

El nivel de los factores, Carbón Activado y Luz Ultravioleta, fueron determinados por la tabla y gráfica de Señal a Ruido, debido a que, en ambos factores, son mas representativos para la posición, y tienen una menor participación en cuanto a desviación estándar, estos factores, no tiene tanta variación, y afectan mas a las medias, es por ello, que se toman los niveles que mas se ajusten a las medias.

Realizando la corrida con la combinación extraída de el análisis del diseño de experimentos por medio del Método de Taguchi, el conductómetro registro 29 partes por millón de partículas en suspensión, lo cual señala un 72.5 % de reducción en las ppm que se encuentran en suspensión en el agua, y un 72.5 % de mayor calidad del agua, con respecto al porcentaje de ppm que esta manejando la empresa.

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

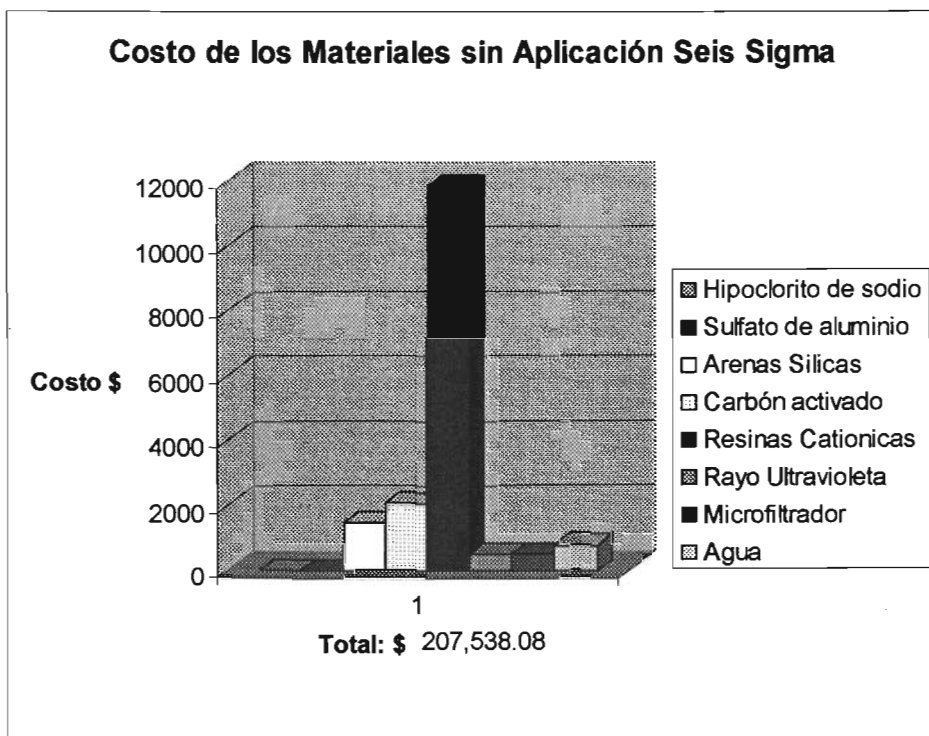
## **CAPITULO V**

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

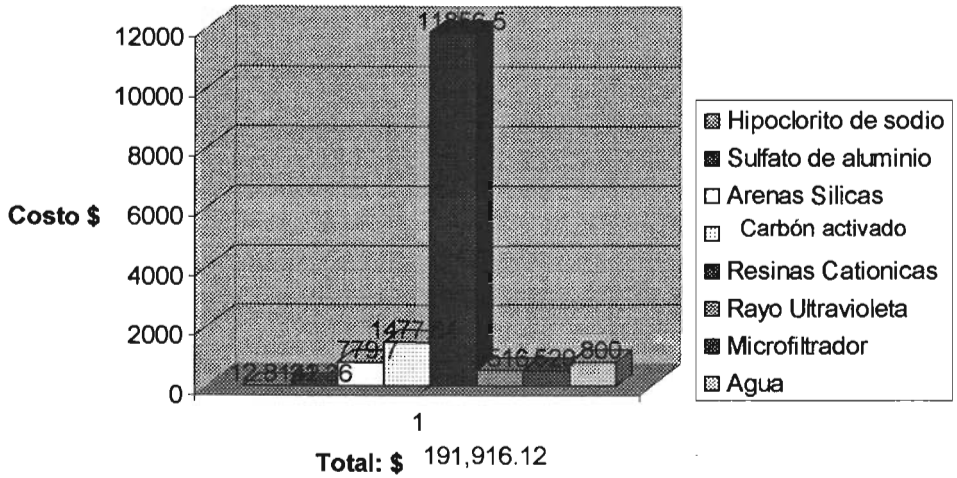


## CONCLUSIONES.

Analizando los resultados, y la manipulación de los datos, se concluye que por medio de el diseño de experimentos, por el método de Taguchi, la aplicación de seis sigma: mejora la calidad en el proceso de purificación de agua potable, en un 72.5%, mejorando el nivel de resultados de los procesos, además de que se redujo el costo de producción por garrafón, de \$1.90 a \$ 1.70.



### Costo de Materiales de Producción



	Partes por Millón	Costos Anuales
Sin Seis Sigma	40 ppm	\$ 207,538.08
Con Seis Sigma	29 ppm	\$ 191,916.12

ANTES	AHORA
Partes por millón 40	Partes por millón 29
DPU = .00981	DPU = .00327
DPMO = 9819	DPMO = 3273
YRC = 0.92004 = 92.004%	YRC = 0.9967 = 99.67%
NVEL SIGMA = 3.8331	NVEL SIGMA = 4.2191
Costo por garrafón = \$1.90	Costo por garrafón = \$1.70
Costo anual = \$ 207,538.08	Costo anual = \$ 191,916.12

### Mejora

- Parte por millón = - 11
- DPU = .00981 = -.00654
- DPMO = 9819. = - 6546
- YRC = 0.92004 = + 7.6%
- NVEL SIGMA = + 0.39
- Costo por garrafón = -\$ 0.20
- Costo anual = - \$ 15,621.96

Como se aprecia, el método utilizado es aplicable a micro empresas o empresas familiares, escuelas, Instituciones gubernamentales, hospitales que sirven para incrementar el nivel socio económico de una región teniendo como respuesta la seguridad de la calidad.

Con lo cual resulta un éxito la aplicación de Seis Sigma en el proceso de purificación de agua potable, ya que la metodología seis sigma es una mejora continua y la investigación se realizó para tener una mejora en el proceso; reduciendo las partes por millón de partículas en suspensión teniendo una reducción de los costos de producción dando como resultado mayor ganancia.

## RECOMENDACIONES

Se Recomienda la aplicación 5 W y 1 H como medida de control de la mejora.

<b>WHAT</b> ¿Qué? ¿QUE SE HACE AHORA? ¿QUE SE ESTA HACIENDO? ¿QUE DEBERIA HACERSE? ¿QUE OTRA COSA DEBERIA ¿HACERSE?	<b>WHY</b> ¿POR QUE ? ¿POR QUE SE HACE ASI? ¿POR QUE DEBE HACERSE? ¿POR QUE HACERLO EN ESTE LUGAR? ¿POR QUE DE ESTA MANERA? ¿POR QUE EN ESTE MOMENTO?
<b>WHO</b> ¿QUIEN? ¿QUIEN LO HARA? ¿QUIEN LO ESTA HACIENDO? ¿QUIEN DEBERIA HACERLO? ¿QUIEN MAS DEBERIA HACERLO?	<b>WHERE</b> ¿DONDE? ¿DONDE SE HARA? ¿DONDE SE ESTA HACIENDO? ¿DONDE DEBERIA HACERSE? ¿DONDE MAS SE PODRIA HACER?
<b>WHEN</b> ¿Cuándo? ¿CUANDO SE HARA? CUANDO TERMINARA? CUANDO DEBERIA HACERSE?	<b>HOW</b> ¿COMO? ¿COMO SE HACE ACTUALMENTE? ¿COMO SE HARA? ¿COMO DEBERIA HACERSE? ¿COMO HACERLO DE OTRO MODO?

¿Qué?

- Estandarizar las medidas de los materiales de acuerdo a los resultados obtenidos de las mejoras.

¿Quién?

- El personal, que entra en contacto con el proceso de la purificación del agua, en este caso, es el técnico.

¿Cuándo?

- La implantación de esta medida deberá realizarse a partir de la autorización de la implantación de las nuevas modificaciones, la cual debe ser notificada por el gerente de la empresa.

¿Por qué?

- Estas acciones se realizarán debido a los beneficios que acarrearán para la empresa, cumpliendo con la política, visión y misión de la misma

¿Dónde?

- Las implantaciones de las nuevas medidas, se llevarán a cabo dentro del área de proceso, de purificación, en la línea de proceso.

¿Cómo?

- Las especificaciones de los materiales a usarse en la producción de agua purificada, se asentarán en un rótulo visible dentro del área de proceso, en un lugar estratégico. Además se utilizarán artículos de medición para poder controlar, el uso de los materiales, aunado a la capacitación que se le proveerá al personal.

## **BIBLIOGRAFÍA**

¿Qué es Seis Sigma?

Pande, Meter

Hopp, Lary

McGraw Hill

El Poder de Seis Sigma

Subir chowdhurid

Princel Hall

Seis Sigma para Gerentes y Directores

Fernando González Aleu González

Seis Sigma para Directivos

Brue, Greg –

McGraw Hill – 2002

Manual de la Producción

Alford L. P. y John R. Bangs

La Habana: Edición Revolucionaria

Administración y Control de la Calidad

Evans, J. R. y W. Lindsay

Internacional Thompson Editores

México 2000

Análisis y Planeación de la Calidad

Juran, J. M. y F. M. Gryna

Mc Graw Hill

México 1995

Ingeniería Industrial: Métodos, Tiempos y Movimientos

Benjamín W. Niebel

Editorial: Alfaomega

Hablemos de calidad

Crosby, Philip B.

McGraw Hill – 1989

[http://www.sht.com.ar/archivo/Management/seis\\_sigma.htm](http://www.sht.com.ar/archivo/Management/seis_sigma.htm)

<http://www.seis-sigma.com/faq.html>

<http://redquimica.pquim.unam.mx/ft/sergio/agua.htm>

[http://www.pg.com.mx/comunidad/guar\\_agua\\_lecc1\\_3.php](http://www.pg.com.mx/comunidad/guar_agua_lecc1_3.php)

<http://www.aquapurificacion.com/purificadoras.htm>

<http://www.acsmedioambiente.com/LoNuevo/noviembre2.htm>

<http://www.aquadecalidad.com/id4.htm>

<http://www.itch.edu.mx/academic/industrial/ingcalidad/>

[http://www.geocities.com/tecnologia\\_colibri/](http://www.geocities.com/tecnologia_colibri/)

<http://mx.geocities.com/ionopura/3-4-02diaz.pdf>

<http://www.minitab.com>

<http://www.aquacelta.com.mx>

**MODIFICACION a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994**

Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

**NORMA Oficial Mexicana NOM-181-SSA1-1998,**

Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Requisitos sanitarios que deben cumplir las sustancias germicidas para tratamiento de agua, de tipo doméstico.



## GLOSARIO

### Arreglos Ortogonales

Son herramientas que permiten al ingeniero evaluar qué tan robustos son los diseños del proceso y del producto con respecto a los factores de ruido.

### Carbón activado.

Partículas de carbón que se obtienen generalmente por carbonización de material celulósico, en ausencia de aire. Posee una gran capacidad de adsorción. Se usa mas para el control de sabor y olor del agua.

### Dureza

Presencia en el agua de sales en cantidades apreciables o incluso excesivas para los fines a que esté destinada. Las sales presentes son, generalmente, sulfatos o cloruros de calcio y magnesio.

### Factor Ambiental Lluvia

La lluvia, es un factor que afecta, por que cuando esta se hace presente, la red general de agua, arrastra mayor cantidad de calcio y minerales, así como cuerpos sólidos.

### Minitab

Software estadístico, para efecto de realizar el diseño de experimento, para realizar los cálculos con mayor rapidez y exactitud de una PC. Minitab ha diseñado programas informáticos y servicios para los ámbitos de la mejora de la calidad.

### Organismos Coliformes.

Los animales de sangre caliente albergan en su tracto intestinal bacterias parásitas, no son patógenos y funcionan en el proceso digestivo del organismo del huésped se descargan de los intestinos en números enormes.

### Rayos Ultravioleta

Es una parte del proceso de purificación que no se debe de omitir por que es un proceso germicida que logra erradicar la contaminación microbiológica. Cuando los microorganismos tienen contacto con la radiación UV son automáticamente destruidos, logrando una exterminación del 99.99%.

### Turbidez

La turbidez es debida a partículas de arena, polvo y otras materias en suspensión. El nivel máximo de contaminación de turbidez no debe exceder un promedio mensual de 1.0 TU. Ha sido demostrado que la turbidez afecta la desinfección del agua y consecuentemente es considerada importante en la salud publica. La turbidez puede ser removida por coagulación, sedimentación y filtración.

## **ANEXOS**

### **Normas Mexicanas Para El Uso y Consumo Humano de Agua**

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Salud.- Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario

PROYECTO DE NORMA OFICIAL MEXICANA PROY-NOM-181-SSA1-1998, SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO. REQUISITOS SANITARIOS QUE DEBEN CUMPLIR LAS SUSTANCIAS GERMICIDAS PARA TRATAMIENTO DE AGUA, DE TIPO DOMESTICO DE USO Y CONSUMO.

En la elaboración de esta Norma Oficial Mexicana participaron las unidades administrativas e instituciones siguientes:

**SECRETARIA DE SALUD.**

Dirección General de Salud Ambiental.

Laboratorio Nacional de Salud Pública.

**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL.**

Centro de Investigación y Estudios Avanzados.

**PROCURADURIA FEDERAL DEL CONSUMIDOR.**

Dirección de Investigaciones Físico Tecnológicas.

**SECRETARIA DEL TRABAJO Y PREVISION SOCIAL.**

El objetivo de los programas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano, es asegurar que toda la población alcance una dotación adecuada de agua de buena calidad. En México, en la práctica no se han alcanzado estas metas, por lo que un elevado número de usuarios recurre a métodos intradomiciliarios para subsanar deficiencias de la calidad del agua suministrada a nivel municipal.

Los métodos intradomiciliarios o domésticos para purificar el agua de consumo humano, consisten en la aplicación de equipos potabilizadores y sustancias germicidas, orientados fundamentalmente al aspecto bacteriológico, considerado como de riesgo inmediato a la salud y en casos específicos a la depuración de características físicas y/o químicas.

### 1. Objetivo y campo de aplicación

1.1. Esta Norma Oficial Mexicana establece las características que deben cumplir las sustancias germicidas para tratamiento de agua, de tipo doméstico.

1.2. Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en el territorio nacional para las personas físicas o morales que se dediquen al proceso e importación de las sustancias germicidas tipo doméstico para el tratamiento de agua.

### 3. Referencias

Para la correcta aplicación de esta Norma, es necesario consultar las siguientes normas oficiales mexicanas:

<b>3.1</b> NOM-014-SSA1-1993	Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano distribuida por sistemas de abastecimiento públicos y privados.
<b>3.2</b> NOM-041-SSA1-1993	Agua purificada envasada. Especificaciones sanitarias.
<b>3.3</b> NOM-092-SSA1-1994	Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.
<b>3.4</b> NOM-110-SSA1-1993	Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis bacteriológico.

<b>3.5 NOM-112-SSA1-1994</b>	Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable.
<b>3.6 NOM-127-SSA1-1994</b>	Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
<b>3.7 NOM-127-SSA1-1994</b>	Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
<b>3.8 NOM-008-SCFI-1993</b>	Sistema general de unidades de medida.

### CARACTERÍSTICAS NOM 041-SSA 1993

Agua purificada.

Organolépticas físicas

<b>PH</b>	<b>6.9 a 8.5</b>
<b>Sabor</b>	<b>Insípido</b>
<b>Olor</b>	<b>Inodoro</b>
<b>Color</b>	<b>Hasta 15 unidades de la escala de platino cobalto</b>
<b>Turbiedad</b>	<b>Hasta 5 unidades de UTN</b>

Microbiológicas

<b>Mesofilos aerobios</b>	<b>Menos de 100 col./ml</b>
<b>Coliformes totales</b>	<b>No detectable nmp/100ml.</b>

Coliformes fecales	Cero ufc/100ml.
Vibrio cólera	Negativo

### Químicas

Limites máximos permitidos	Mg/l
Alcalinidad total expresada como $\text{CaCO}_3$	300.00
Aluminio	0.20
arsénico	0.05
Bario	0.70
cadmio	0.005
Cianuro expresado como ion $\text{CN}^-$	0.05
Cobre	1.00
Cloro libre en agua clorada	0.10
Cloruros como $\text{Cl}^-$	250.00
Cromo hexavalente	0.05
Dureza del calcio expresada como $\text{CaCO}_3$	200.00
Fenoles o compuestos fénolicos	0.001
Fierro	0.30
Fluoruros como $\text{F}^-$	0.70
Manganeso	0.05
Mercurio	0.001
Nitratos expresados como nitrógeno	10.00
Nitritos expresados como nitrógeno	0.05
Nitrógeno orgánico	0.10
Oxígeno consumido en medio ácido	2.00
Ozono al envasar	0.40

Plomo	0.02
Plata	0.05
Sólidos totales	500.00
Sulfatos expresados como ion	250.00