



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN**

**"APLICACION DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA LA  
INSTALACION DE PERNOS EN LA BARRA GUIA DEL SISTEMA  
DE TRANSPORTE COLECTIVO "METRO"**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**  
P R E S E N T A :  
**JAIME BADILLO VAZQUEZ**

**DIRECTOR DE TESIS: ING. JAVIER NAVA PEREZ**

**MEXICO, D. F.**

**2005**

m352610



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 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 su amor y cariño que siempre me han demostrado, por brindarme la oportunidad de triunfar en la vida gracias a sus innumerables sacrificios y su infinito e incondicional apoyo.

### A mis hijos: Emerson, Yair y Cesar:

Por su amor y todos los momentos en los que me han hecho feliz y por quienes son mi inspiración para seguir adelante.

### A mi esposa Claudia:

Por la paciencia, la comprensión y el amor que nos une.

### A mis hermanas y hermanos:

Por su apoyo, cariño y comprensión que me han entregado, por su ayuda, fortaleza y confianza en todo momento.

### A mis Tíos:

Por sus sabios consejos, su confianza y sus impulsos a seguir siempre adelante.

### A mis Primos:

Por la gran unidad que nos ha caracterizado y que siempre hemos demostrado, por su apoyo y motivación a la constante superación... gracias hermanos.

## **Agradecimientos:**

**A la  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Por brindarnos ser parte de su gente, su historia**

**A nuestros profesores  
Por sus enseñanzas, consejos y amistad  
que nos brindaron.**

**Al  
Sistema de Transporte Colectivo "Metro"  
Por permitirnos colaborar en sus investigaciones  
y presentar este trabajo de tesis.**

**Al  
Ing. Javier Nava Pérez  
Por su asesoría, su valioso tiempo  
que nos ha otorgado y sobre todo su amistad.**

## INDICE

INTRODUCCION	1
<b>CAPITULO 1 GENERALIDADES</b>	
1.- Aspectos generales	3
1.2 Teorías precursoras de la calidad	4
1.2.1 Aplicación de la estadística (DR. EDWARD DEMING)	5
1.2.2 Cuatro pasos para la mejora continua (DR. KAORU ISHIKAWA)	6
1.2.3 Trilogía de Juran	7
1.2.4 La calidad total en la empresa (ARMAND V. FEINGENBAUM)	9
1.2.5 Principios absolutos de la calidad (PHILLIP CROSBY)	10
1.2.5.1 La calidad no cuesta	10
1.2.5.2 Cero defectos	11
1.3 Productividad y calidad	11
1.3.1 Justo a tiempo	12
1.4 ISO 9000	13
1.5 La calidad en México	16
1.5.1 La dirección general de normas mexicanas (D.G.N.)	17
1.5.2 Normas mexicanas de calidad	17
1.6 Aseguramiento y gestión de la calidad	18
1.7 Gestión dinámica de calidad	18
<b>CAPITULO 2 ANALISIS DEL PROBLEMA</b>	
2.1 Soldadura de vástagos	20
2.2 Planteamiento del problema	21
2.2.1 Montaje de los aisladores. Resumen	21
2.2.2 Montaje de los aisladores	21
2.2.3 Las barras guía en línea recta	21
2.2.4 Las barras guía en curva	22
2.2.5 Retiro de las barras y soldado de los pernos Nelson	22
2.2.6 Montaje definitivo y ajuste de las barras guía	22
2.3 Soldadura de las barras guía con el método aluminotermico	28
2.3.1 Verificación del ajuste de las barras guía	28
2.3.2 Discontinuidades de las barra guía de corriente, cupones Neutros y crucetas	28
2.3.3 Esmerilados de las barras guía	29
2.4 Soldadura de los pernos mediante el método NELSON	30
2.4.1 Aplicación del método	30
2.4.2 Soldaduras de prueba	32
2.4.3 Ejecución y recepción de las soldaduras	32
2.4.4 Suministro de pernos y casquillos	33
2.4.5 Examen de las soldaduras	34
2.5 Disposiciones diversas	34
2.6 Características de los pernos NELSON	35
2.7 Maquinas para soldar pernos por el procedimiento NELSON	37
<b>CAPITULO 3 TIPOS DE DISEÑO DE EXPERIMENTOS</b>	
3.1 Control de cálida en línea y fuera de línea.	39
3.2 Descripción de control de calidad fuera de línea y en línea	41
3.2.1 Control de calidad fuera de línea	41
3.2.2 Control de calidad en línea	42
3.3 Tipos de variables	43
3.4 Función de pérdida	44
3.4.1 Nominal es mejor	44
3.4.2 Mas grande es mejor	46
3.4.3 Menor es mejor	46

3.5	Análisis de varianza	47
3.5.1	Anova de un camino	47
3.5.2	Método de bloques	48
3.5.3	Cuadro latino	50
3.6	Tipos de experimentos	51
3.6.1	Experimentos factoriales	51
3.6.2	Experimentación científica tradicional	51
3.6.3	Replicando experimentos	55
3.6.4	Interacciones de factores	55
3.6.5	Gráficas normales de efectos estimados	56
3.7	Diseños factoriales fraccionados	58
3.8	Análisis de varianza en el diseño	59
3.9	Método Taguchi	60
3.9.1	Selección de factores y/o interacciones	61
3.9.2	Selección del número de niveles	61
3.9.3	Selección del AO	61
3.9.4	Asignación de factores e interacciones	62
3.9.5	Conduciendo el experimento	65
3.9.6	Analizando resultados	65
3.9.7	Confirmación del experimento	65
3.10	Un enfoque final	71
<b>CAPITULO 4 DESARROLLO Y RESULTADOS</b>		
4	Primer diseño paramétrico	72
4.1	Objetivo	72
4.2	Campeón del papel	74
4.2.1	Conclusiones y resultados	75
4.3	Segundo diseño paramétrico	81
4.3.1	Campeón del papel	84
4.3.2	Resultados obtenidos	84
<b>CONCLUSIONES</b>		94
<b>BIBLIOGRAFIA</b>		

## INTRODUCCION

Como consecuencia del tratado de libre comercio y de la actual situación económica del país ,las empresas privadas y estatales para poder prevalecer dentro del ámbito de su competencia a nivel nacional así como tratar de exportar productos o servicios, deben de producir mejor y a menor precio, por lo cual el valor de la eficiencia es mas buscado en todos los procesos de la industria , debido a que la adquisición de maquinaria nueva es difícil por los altos costos, en muchos casos de importación , aunado esto a que se debe de buscar que el equipo con que se cuenta se aproveche a su entera capacidad tratando que el nivel de rechazos se reduzca de una manera considerable.

Siendo de vital importancia la aplicación de los sistemas de calidad, esto apoyado con, el diseño de experimentos, el cual busca eficientar los procesos sin la necesidad de invertir capital adicional, es decir producir mas y mejor con el mismo equipo o maquinaria y mismo personal, es en estos casos cuando el diseño de experimentos adquiere vital importancia dentro de estos se encuentra el método Taguchi.

EL Sistema de Transporte Colectivo, no es ajeno a las situaciones antes descritas por lo cual solicita a los diferentes proveedores de los productos, eficientar sus procesos sin disminuir la calidad de los mismos logrando con esto un ahorro durante la realización de los trabajos o adquisición de partes.

El siguiente trabajo pretende dar a conocer el método taguchi no muy utilizado dentro de la industria dando solución a un problema real como es la optimización del soldado de pernos a la barra guía, mediante el método Nelson

Para lo cual el siguiente trabajo se estructuro de la siguiente manera:

En el capítulo 1.- se dan de manera general las teoría de calidad así como sus máximos exponentes que han promovido un proceso de mejoramiento continuo y que en su momento se han aplicado en la industria, una integración de las mismas ha servido para desarrollar nuevos conceptos. entre otros autores tenemos a:

Phillip B. Crosby, Edwards Demming, Joseph Jurand, Armand V. Feingenbaum, Kaouru Ishikawa. Así como una descripción breve de las normas de calidad aplicables actualmente a nivel mundial siendo estas las.

ISO 9000 adoptadas por México a través de la dirección general de normas (D.G.N.- Secretaria de Economía) en su serie NMX-CC.

En el capítulo 2.- Se da a conocer el Sistema de Vías del Sistema de Transporte Colectivo, así como el problema específico del soldado de pernos de acero como una variante del mismo mediante el método Nelson utilizado para equipar las vías del Sistema de Transporte Colectivo METRO.

En este capítulo 3- Se da a conocer el diseño de experimentos por el Método Taguchi

En este capítulo 4.- Se muestra el resultado del diseño de experimentos realizado para optimizar el proceso de soldadura de los pernos Nelson.



**CAPITULO 1**

---

**GENERALIDADES**

## 1 ASPECTOS GENERALES

La historia del control de calidad es tan antigua como la industria misma. Durante la Edad Media el mantenimiento de la calidad se lograba, en buena medida, gracias a los prolongados periodos de capacitación que exigían los gremios a los aprendices. Tal capacitación imbuía en los trabajadores un sentido de orgullo por la obtención de productos de calidad.

La revolución industrial vio aparecer el concepto de especialización laboral. El trabajador ya no tuvo a su cargo exclusivo la fabricación total del producto, sino sólo una parte de éste. El cambio trajo consigo un deterioro de la calidad de la mano de obra. La mayor parte de los productos que se fabricaban en aquella época no eran complicados, por lo que la calidad no se vio mayormente afectada. Conforme los productos se fueron complicando y las respectivas labores se fueron haciendo más especializadas, fue necesario revisar los productos en cuanto se concluía su fabricación.

En 1924, W. A. Shewhart de Bell Telephone Laboratories diseñó una gráfica de estadísticas para controlar las variables de un producto. Y así inició la era del control estadístico de la calidad. Más adelante, en esa misma década, H. F. Dodge y H. G. Roming, ambos de Bell Telephone Laboratories, crearon el área de muestreos de aceptación como sustituto de la inspección al 100% del producto obtenido. En 1942, se hizo evidente el reconocimiento al valor del control de calidad. Desafortunadamente, en esa época el personal gerencial de las empresas estadounidenses no supo aprovechar tal contribución.

En 1946 se fundó la Sociedad Estadounidense de Control de Calidad (A.S.Q.C. American Society of Quality Control), la que a través de publicaciones, conferencias y cursos de capacitación, ha promovido el empleo del control de la calidad en todo tipo de productos y servicios.

En 1950, W. Edwards Deming ofreció una serie de conferencias a ingenieros japoneses sobre métodos estadísticos y sobre la responsabilidad de calidad a personal gerencial de alto nivel. Joseph M. Juran visitó por primera vez Japón en 1954 y contribuyó a destacar el importante compromiso del área gerencial por el logro de la calidad. Valiéndose de estos conceptos, los japoneses fijaron normas de calidad que después se adoptaron en todo el mundo.

En 1960 se formaron los primeros círculos del control de calidad a fin de lograr el mejoramiento de la calidad. Los empleados japoneses aprendieron y aplicaron técnicas estadísticas sencillas.

Para fines de las décadas de los setenta y principios de los ochenta, los gerentes estadounidenses visitaban con frecuencia Japón para obtener experiencias del milagro japonés. En realidad tales viajes fueron innecesarios, pues podrían haberse referido a las obras de Deming y Juran. De cualquier forma, en los productos y servicios de Estados Unidos se comenzó a experimentar un renacimiento.

Hacia finales de los ochenta en la industria automotriz se empezó a destacar la importancia del control estadístico de procesos. Se exigió a proveedores y a los proveedores de éstos la aplicación de tales técnicas. El Departamento de Defensa así como diversas industrias también implantaron su uso. Por otra parte, surgió el innovador concepto de la mejora continua de la calidad (C.Q.I., Continuous Quality Improvement), para el cual se necesitaba también de la administración de la calidad total (T.Q.M., Total Quality Management). Genechi Taguchi presentó sus conceptos sobre los parámetros y tolerancias de diseño e hizo resurgir el empleo del diseño de experimentos (D.O.E., Design Of Experiments) como herramienta valiosa para mejorar la calidad.

Durante la década de los noventa la industria automotriz continuó asignando mucha importancia a la calidad, lo que permitió que el automóvil Saturn quedará en tercer lugar de clientes satisfechos, aventajándole sólo dos de los mas costosos autos japoneses de la época. La brecha entre la calidad de autos estadounidenses y japoneses se ha reducido en grado considerable, llegando a ser prácticamente insignificante. Además, los automóviles estadounidenses superan a sus competidores japoneses en lo que a ahorro de combustible, seguridad, precio y nueva tecnología corresponde. Además, ISO 9000 (Q90 en Estados Unidos de América) se convirtió en el modelo, a nivel mundial, de lo que debe ser un sistema de calidad.

Todo el mundo sabe lo importante que es la calidad dentro de un trabajo, ella se logra mejorando el proceso, incrementando la uniformidad del producto, reduciendo los trabajos y errores, minimizando el desperdicio de mano de obra, maquina, tiempo y materiales, para incrementar la productividad. El problema radica en mejorar tanto la productividad como la calidad, para ello es esencial hacer los mejores esfuerzos en la orientación correcta.

A lo largo de la historia han sido muchos los pioneros que con sus aportaciones han contribuido al desarrollo y mejoramiento del control de calidad en la industria. El enfoque de cada uno se basa en principios y en puntos de vista particulares, con el fin de buscar la mejora continua de la calidad.

## 1.2. TEORIAS PRECURSORAS DE LA CALIDAD.

Los diferentes exponentes de la calidad han expresado sus ideas a través de teorías. El enfoque de cada uno se basa en principios, y en puntos de vista particulares, con el fin de buscar la mejora continua de la calidad, apoyándose en la estadística. Las siguientes teorías han sobresalido en su aplicación.

### 1.2.1 APLICACION DE LA ESTADISTICA (Dr EDWARD DEMING).

El doctor Deming hace énfasis en que lo importante consiste en crear un nuevo modelo conceptual de la gerencia para una nueva administración. Enumera los posibles obstáculos que impiden un buen desarrollo como "Las siete enfermedades mortales":

- 1.- La falta de constancia de los propósitos.
- 2.- Énfasis en las utilidades a corto plazo.
- 3.- Evaluación del desempeño.
- 4.- Movilidad de la gerencia.
- 5.- Manejo de la empresa en base a cifras visibles.  
En las empresas de Estados Unidos se anexan dos factores.
- 6.- Costos médicos excesivos.
- 7.- Costos de garantía excesivos.

El doctor Deming menciona "Es necesaria una filosofía básica de administración que sea compatible con los métodos estadísticos". Presenta su teoría en catorce puntos.

- 1.- Ser constante en el propósito de mejorar los productos y los servicios. Lo importante es permanecer en el negocio y proporcionar empleo por medio de la innovación, la investigación y el constante mejoramiento.
- 2.- Adopta una nueva filosofía. Se necesita una nueva filosofía en la que los errores y el negativismo sean inadmisibles.
- 3.- Dejar de depender de la inspección. La calidad no puede ser inspeccionada cuando sale de la línea de producción desechando o retrabajando productos defectuosos. La inspección del producto después de realizada la fabricación no funciona.
- 4.- Acabar con la practica de adjudicar contratos de compra basándose únicamente en el precio. La compra de los componentes o subensambles debe estar basada en la calidad.
- 5.- Mejorar constantemente en el sistema de producción y servicio. Buscar la manera de reducir el desperdicio y mejorar la calidad, la variación del proceso debe medirse y controlarse continuamente.
- 6.- Instituir la capacitación y la educación en el trabajo La capacitación es la adquisición de una habilidad repetitiva en un proceso de trabajo. Una educación en los métodos estadísticos permite a la dirección recabar información del proceso y del producto y usarla para controlar los resultados.
- 7.- Instituir la supervisión. El objeto de la supervisión es orientar para hacer un mejor trabajo.

8.- Desterrar el temor. Para mejorar la calidad y la productividad es necesario que la gente se sienta segura. El conocimiento disipa el temor.

9.- Derribar las barreras entre departamentos. Con frecuencia las áreas de una empresa están compitiendo entre si o tienen metas que chocan y no se trabaja en equipo para resolver los problemas.

10.- Eliminar los lemas. Las exhortaciones y los lemas para la fuerza laboral solo crean relaciones adversas; deje que la gente establezca sus propios lemas de trabajo.

11.- Eliminar las cuotas numéricas. Una cuota solo toma en cuenta los números, no la calidad o los métodos; sustituya las cuotas numéricas por ayuda y supervisión.

12.- Derribar las barreras que impiden el sentimiento de orgullo de un trabajo bien hecho. La gente esta ansiosa de hacer un buen trabajo y se siente angustiada cuando no puede hacerlo; en un proceso los trabajos anteriores deficientes y los materiales defectuosos constituyen un obstáculo para hacer un trabajo bien.

13.- Establecer un programa de educación y de reentrenamiento. Tanto la gerencia como a la fuerza laboral tendrán que ser entrenados en el empleo de nuevos métodos incluyendo el trabajo en equipo y las técnicas estadísticas.

14.- Tomar medidas para lograr la transformación. Se requerirá un equipo con un plan de acción para llevar acabo mejoras en la calidad.

#### 1.2.2 CUATRO PASOS PARA LA MEJORA CONTINUA (Dr.KAORU ISHIKAWA).

El doctor Ishikawa con sus teorías y su asesoría a ayudado a muchas compañías del Japón y de otros países a alcanzar niveles prominentes mediante la aplicación del control estadístico de la calidad, el cual lo define como desarrollar, diseñar, manufacturar y mantener un producto de calidad que sea el mas económico, el mas útil y siempre satisfactorio para el consumidor.

Para alcanzar esta meta es preciso que en la empresa todos promuevan y participen en el control de calidad. El enfoque básico de la empresa Japonés es llevar el control de calidad a todas las áreas siguiendo generalmente los siguientes pasos (ver figura I.1):

- Planear.
- Hacer.
- Verificar.
- Actuar.

Planear.

a) Determinar metas y objetivos. Si no se fijan politicas a seguir no se pueden establecer metas.

b) Determinar métodos para alcanzar las metas. Se deben de fijar métodos científicos y racionales para alcanzar las metas.

Hacer.

a) Dar educación y capacitación Los superiores tienen la función de educar y desarrollar a subalternos para poderle delegar autoridad y otorgarle libertad para hacer su trabajo.

b) Realizar el trabajo. Si todo se hace de acuerdo a lo anterior la realización no debe de ofrecer ningún problema.

Verificar.

a) Verificar los efectos de la realización. Dar una orden o impartir instrucciones no basta como cumplimiento de la responsabilidad, es importante que se verifique la realización de toda actividad enfocada a la calidad.

Actuar.

a) Tomar la acción correctiva apropiada. La revisión de los efectos puede encontrar situaciones anormales, es necesario encontrar las causas de variación y tomar la acción que las corrija.



Figura I.1 Ciclo de la mejora continua.

### 1.2.3 LA TRILOGIA DE JURAN.

La trilogía de Juran empieza con la planificación de la calidad, el objeto de planificar es administrar las fuerzas productivas, los medios para que entreguen artículos que pueden satisfacer las necesidades de los clientes.

Una vez realizada la planeación de las actividades de producción se presentaron variaciones en el proceso y se encontraron deficiencias en la calidad. Las fuerzas

operativas no pueden eliminar la variación del proceso lo que se hace es controlar dicha variación para evitar que las cosas empeoren.

Aquí es donde tiene lugar la tercera parte de la trilogía, a su debido tiempo la mejora de la calidad se hace latente al observarse una baja significativa en las desviaciones.

Se aprecia que la perdida era una oportunidad para mejorar de tal forma que se tomaron medidas para incrementar la calidad del producto basandose en el comportamiento que se obtuvo. Así las lecciones aprendidas nos sirven para hacer una nueva planificación de la calidad, comenzar de nuevo las operaciones del proceso.

### LA ESPIRAL DE JURAN

Esta espiral muestra la secuencia a seguir en las actividades para llevar un producto al mercado. En las empresas estas actividades son desarrolladas por cada departamento y cada uno a su vez le suministra su producto a otros departamentos que serán clientes de estos, quedando o no satisfechos con el trabajo desarrollado por el departamento anterior.

Los clientes internos son aquellas personas o áreas de la empresa, que son parte de la organización y hacia quien va dirigido nuestro trabajo.

Los clientes externos, menciona Juran, son aquellas personas que no forman parte de la organización pero a quienes llegan nuestros productos. Los clientes externos o consumidores tienen alta capacidad para sacar conclusiones sobre el compartimento del producto y deciden sobre la elección de nuestro artículo.



Fig. 1.2. Espiral de Juran.

### 1.2.4 CALIDAD TOTAL EN LA EMPRESA (ARMAND V. FEINGENBAUM).

Feingenbaum define el control de calidad como un conjunto de esfuerzos efectivos de los diferentes grupos de una organización, para la integración del desarrollo, del mantenimiento y la superación de la calidad; con el fin de hacer posible la fabricación y servicio de un producto a satisfacción del cliente a un nivel económico.

#### FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD.

- Mercados.
- Capital.
- Administración.
- Recursos humanos.
- Motivación.
- Maquinaria y mecanización.
- Método modernos de información.
- Materia.

El sistema de calidad esta formado por una red de actividades técnicas y procedimientos para poner en el mercado un producto que satisfaga determinados estándares de calidad.

La responsabilidad básica de la calidad recae en la alta gerencia de la empresa, basándose en cuatro tareas del control de calidad.

#### - Control del nuevo diseño.

Comprende características mercantiles del producto seleccionado, cuyas especificaciones de diseño y contabilidad se han establecido, así como del proceso mediante el cual se producirá; incluyendo la localización de posibles causas de deficiencias en la calidad antes de que la producción formal se inicie.

#### - Control de materiales adquiridos.

Se refiere a la recepción y almacenamiento de partes o subensambles de proveedores o incluso de la misma empresa, cuya calidad corresponda a las especificaciones.

#### -Control del producto.

La divergencia de las especificaciones de la calidad en el proceso de fabricación debe ser controlada y corregida, así mismo evitar la manufactura de productos defectuosos.

#### - Procesos especiales.

Se aplican para estudios, investigaciones y pruebas a fin de localizar causas que ocasionen defectos en el producto, bajo una acción correctiva permanente.



Los resultados de los procesos especiales giran en torno a mejoras del producto y el proceso, en las características de calidad así como los costos.

### 1.2.5 PRINCIPIOS ABSOLUTOS DE LA CALIDAD (PHILIP CROSBY).

La teoría que desarrolla Crosby propone cuatro principios absolutos relacionados con la calidad.

a) Calidad como cumplimiento con los requisitos. Eliminando problemas y de manera simultánea proponer que todo trabajo se haga bien desde la primera vez.

Tres objetivos para la dirección de la empresa:

- 1.- Establecer los requisitos a cumplir en la calidad.
- 2.- Suministrar los medios para cumplir con los requisitos.
- 3.- Dedicar tiempo a estimular y ayudar al cumplimiento de los requisitos.

b) El sistema de calidad es la prevención. Observar el proceso y determinar las posibles causas de error para controlarlas; la prevención de defectos se logra si comprendemos nuestro proceso.

c) El estándar de realización es "Cero Defectos". No se establecen niveles de calificación, solo la realización del trabajo bien desde la primera vez. El estándar de cero defectos es difícil de alcanzar pero debe tomarse como una actitud constante de mejoramiento.

d) La medida de la calidad es el precio del incumplimiento. Este precio de incumpliendo de los requisitos lo constituyen todos los gastos realizados en hacer las cosas mal. El precio del cumplimiento con los requisitos lo forman los gastos para que las cosas resulten bien.

#### 1.2.5.1 LA CALIDAD NO CUESTA.

Una teoría que desarrollo Crosby es acerca del costo de la calidad; durante muchos años se ha pensado que la calidad es costosa, y a través de esta idea errónea toleramos defectos en la producción por creer que así reducimos costos al aceptar productos que no cumplen con el requisito.

No cuesta mas ensamblar una pieza bien, que hacerlo mal, lo que cuesta es inspeccionar los productos hechos para descubrir errores y corregirlos.

Lo que en verdad cuesta son los errores y los defectos no la calidad, por lo tanto nunca será mas económico tolerar errores que hacerlo bien desde la primera vez.

### 1.2.5.2 CERO DEFECTOS.

La frecuencia con que ocurren los errores tienen tres causas de origen.

- 1.- Falta de conocimientos. Es fácil de detectar y puede corregirse con capacitación y adiestramiento.
- 2.- Falta de elementos de trabajo adecuados. Se puede evitar mediante la inspección constante de las herramientas.
- 3.- Falta de atención. Es un problema de actitud propia y es difícil de identificar. Se puede corregir poniendo a la persona en condiciones de tomar un interés propio en todo lo que realiza convenciéndole que su trabajo es importante.

El plan cero defectos promueve un constante afán de hacer el trabajo bien a la primera vez, el concepto se basa en una reacción en cadena de un ciclo de instrucción y motivación, promoviendo la unificación de fuerzas, Desde este punto de vista afecta directamente a la alta dirección y en un segundo plan a supervisores y empleados.

Es importante que la dirección de la empresa sienta interés por el plan, no solo por implantarlo, si no también hacer que esta plan constituya parte de cada una de las actividades.

### 1.3. PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD.

La productividad no es una medida de la producción ni de la cantidad que se ha fabricado, es una medida de lo bien que se han combinado y utilizado los recursos para cumplir los resultados esperados.

La calidad y la productividad no se contraponen mas bien son complementarios y las mejoras en calidad resultan mejoras en productividad.

La productividad implica la interacción entre los factores que afectan el trabajo:

- Disposición y calidad de los materiales.
- Capacidad y operaciones de la maquinaria empleada
- Nivel de adiestramiento o grado de especialización del trabajador.
- Condiciones críticas del medio ambiente.
- Métodos de trabajo y equipo.

La manera como se relacionen entre si dichos factores se reflejara en la productividad y a su vez en la calidad.

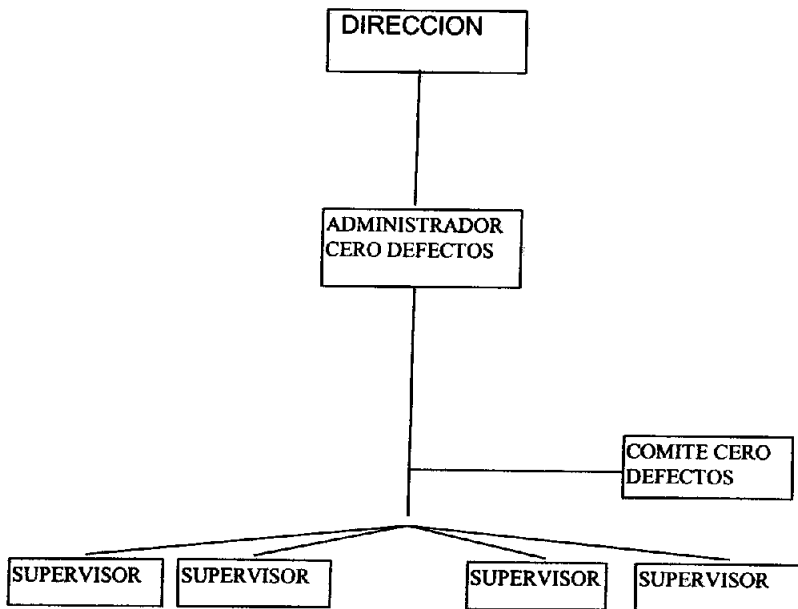


Figura 1.3 Plan cero defectos.

### 1.3.1 JUSTO A TIEMPO.

La idea del concepto justo a tiempo es sencilla; producir y entregar artículos a tiempo para venderlos, submontajes para convertirlos en artículos terminados, partes fabricadas para incorporarlas a los submontajes y materiales adquiridos para transformarlos en partes.

La acción justo a tiempo jamás se logra, es mas bien un ideal que debe seguirse con dinamismo.

La idea justo a tiempo es que todos los materiales estén activamente en uso como elementos de la producción, nunca en descanso acumulando costos de almacenaje; en un modo de operación al día con cantidades de producción y entrega que se aproximan a una sola unidad, y movimiento de materiales pieza por pieza.

La razón para que los lotes mínimos den lugar a menos desperdicio y mejor calidad esto se puede explicar en forma sencilla:

Si un trabajador hace cierto numero de partes y se las pasa inmediatamente al trabajador siguiente, el primero se enterara muy pronto, en caso de que la parte no ajuste en una de las estaciones de trabajo, así los defectos se descubren

rápidamente y sus causas pueden cortarse de raíz, se evitan la producción de grandes lotes que contienen un porcentaje de piezas defectuosas. Estos son los principales autores que han aportado sus ideas, contribuyendo a la mejora continua de la calidad.

#### 1.4. ISO 9000

ISO son las siglas de International Standard Organization (Organización Internacional de Normas) la cual es una institución con base en Ginebra Suiza, en la cual participan todos los organismos normalizadores de la Unión y de la Asociación Europea de Libre Comercio (AELC).

Se trata de una federación mundial fundada en 1946 para promover el desarrollo de las normas internacionales y actividades relacionadas que incluye la valoración de conformidad para facilitar el intercambio de bienes y servicio a nivel mundial. La ISO está constituida por cuerpos miembro de más de 110 países representados respectivamente por sus organismos nacionales de normalización. El cuerpo miembro de los Estados Unidos es la American National Standards Institute (ANSI); en México es la Dirección General de Normas (DGN).

Fue en 1979, cuando la ISO estableció el ISO Technical Committee 176 (Comité técnico 176, ISO TC/176) dirigido por el doctor D. Richard Freund, quien había sido presidente de la ASQC (American Society for Quality Control) y director corporativo de calidad de Eastman Kodak, Co. Tal comité tenía como tarea desarrollar la serie de normas ISO 9000, en esencia, adoptando la mayoría de los elementos de BS 5750. El ISO TC/176 realiza su labor a través de grupos de trabajo (WG1, WG2, es decir, los WG) y subcomités (los SC).

Siete años después de la fundación del TC/176, en junio de 1986, ISO TC/176 emitió la norma internacional ISO 8402:1986, Quality Vocabulary, donde se describen y definen 22 términos relacionados con la calidad y los sistemas de calidad. El doctor Freund recomendaba con vehemencia que se estudiara primeramente dicha norma antes de abordar las normas de la Serie de Normas Internacionales ISO 9000.

El 15 de marzo de 1987 el ISO TC/176 publica oficialmente la serie ISO 9000 y desde entonces hasta ahora, han sido varias las normas editadas y publicadas por el ISO TC/176. En la figura 3.2 Se muestra la familia de normas ISO.

Si se revisa la evolución de la serie ISO 9000 y se compara con el contenido de otras normas mas antiguas, es evidente que la serie ISO 9000 tiene una gran influencia de las normas militares de aseguramiento de la calidad que se desarrollaron en Estados Unidos desde 1948.

El ISO 9000 es una amplia serie de estándares internacionales para asegurar la calidad. Partamos de la base que tanto el comercio como la industria, en todo el mundo, tienden a adoptar normas de producción y comercialización uniformes para todos los países del mundo o gran parte de ellos, es decir, tienden a la llamada "normalización".

Esta "normalización" no solo se traduce en las leyes de los países que regulan la producción de bienes o servicios sino que va más allá, ya que tiende a asegurar la economía, ahorrar gastos, evitar el desempleo y garantizar el funcionamiento rentable de las empresas.

Desde una perspectiva global, las normas representan:

Un conjunto genérico de requerimientos para los sistemas de aseguramiento de la calidad que se diseñan como modelo básico que cualquier industria, que se dedique a proporcionar un bien o servicio, que pueda utilizar.

La referencia a los sistemas de calidad implica una estructura organizacional integrada por diversos componentes interconectados y correlacionados (por ejemplo, procesos y departamentos).

Por ultimo, las normas reconocen la importancia de los acuerdos contractuales entre dos partes: clientes y proveedor (a quien es posible exigir por contrato la obtención del registro ISO 9000).

Como es bien conocido, una de las funciones de ISO 9000 es proporcionar confianza con la demostración de la sostenida conformidad del producto a los requerimientos establecidos por los clientes y compradores, las regulaciones o la propia organización. Es una confirmación o un reforzamiento de la idea presentada en los objetivos de la empresa.

Las normas establecen los requisitos mínimos que debe cumplir el sistema de aseguramiento de la calidad de un proveedor que tiene la responsabilidad de proyectar y/o diseñar, fabricar, instalar un producto y proporcionar el servicio correspondiente al producto.

El propósito es evitar productos no conformes en todas sus etapas desde el proyecto o diseño, hasta el final de la vida útil del producto incluyendo los servicios al cliente.

Se aplican en función de los requerimientos especificados para el producto en función de la aplicación.

Se debe elaborar un contrato de común acuerdo entre cliente y proveedor en cuanto a las características del producto.

Las normas no son una especificación técnica del producto. Mas bien son un modelo para administrar un sistema de aseguramiento de la calidad. Es importante comprender esto, porque algunas personas a un creen que la serie ISO 9000 es un conjunto técnico de requerimientos de productos.

La serie 9000 no tiene nada que ver con las especificaciones del producto, excepto quizá en lo relativo a garantizar la instalación y mantenimiento (si ya existen) de estos procedimientos de inspección.

Las normas no establecen de manera explícita la forma de desarrollar la ingeniería de especificaciones y solo se hace referencia a la misma. Las normas son solo uno o mas de los muchos sistemas disponibles diseñados para asegurar que el proveedor entregue productos que cumplan con las especificaciones. En el anexo A se muestra un diagrama de flujo de los procedimientos para la implantación de un sistema de aseguramiento de la calidad ISO 9000.

Las normas no pretenden establecer una uniformidad en los sistemas de calidad; de hecho, se reconoce la variedad que se diseña para ajustarse a las cambiantes necesidades de cada industria. Por lo tanto, no se debe copiar simplemente el sistema de otra persona, sino que es mejor diseñar uno propio que se ajuste a las necesidades personales; hacerlo así es mucho más fácil y menos costoso, y el resultado es un sistema mas eficaz de calidad.

También se reconoce la necesidad de ajustar el sistema a requerimientos contractuales específicos. Es muy importante reconocer esto, porque en algunos casos es posible que los requerimientos contractuales estén en contradicción con el espíritu de las normas. En cuyo caso lo que se deberá de hacer es una anotación en el contrato con respecto a la exigencia del cliente de utilizar un subcontratista que no aparece en la lista de proveedores aprobados.

#### b) Guías de uso y aplicación

la versión mas reciente de esta serie e normas correspondiente al año 2000, solo contempla la ISO 9001 y la ISO 9004, esta enfocada a procesos

#### c) El modelo contractual es la 9001 Modelo de aseguramiento de calidad para diseño, fabricación instalación y servicio.

Cada uno de los modelos, en su aplicación no excluye a los demás.

La serie ISO 9004 en su secciones 1 a 8 nos da los elementos del sistema de calidad contiene requisitos mas amplios que la 1SO 9001.

e) Tecnologías de soporte.

- 10011 Auditorias-
- 10012-1 Aseguramiento de calidad en confirmación metroológica.
- 10012-2 Aseguramiento de calidad para equipo metroológico.
- 10013 Manual de calidad.
- 10014 Economía de la calidad.
- 10015 Educación y formación continúa.

Esta serie de normas ayudan a la evaluación, registro y retroalimentación de la información dentro del sistema de calidad, se puede constatar que una parte primordial es el manual de calidad de la empresa, pues

Brinda una descripción adecuada y sirve como referencia permanente en la implantación y mantenimiento del aseguramiento de la calidad.

## 1. 5 LA CALIDAD EN MEXICO.

La industria mexicana esta pasando por uno de los momentos mas críticos pero quizá mas significativos en su historia. Después de vivir cerca de 40 años con una serie de practicas de proteccionismo industrial, entre otros factores provocaron un atraso considerable en materia de tecnología productividad y protección ambiental; de pronto ante el reto de un libre comercio con países industrializados nos exige hacernos mas competitivos en estos y otros sectores. Y hablar de competitividad nos lleva hablar de calidad.

Durante los últimos años las normas de calidad en México, han surgido como una función primaria en una organización industrial moderna. La importancia de la calidad esta influenciada por tendencias como la repetitividad de las piezas en un proceso, también influye el factor económico y la supervivencia de una empresa en el mercado nacional.

Las organizaciones industriales mexicanas privadas o gubernamentales proveen productos o servicios que pretenden satisfacer las necesidades del usuario. Tales requisitos son presentados como especificaciones; sin embargo las especificaciones técnicas no garantizan que deficiencias o desviaciones del proceso sean corregidas o incluso el sistema de organización de la calidad sea eficiente. Consecuentemente esto a conducido al desarrollo de normas de calidad que complementen los requisitos del producto y las especificaciones técnicas.

### 1. 5. 1 LA DIRECCION GENERAL DE NORMAS MEXICANAS (D. G. N.)

La Dirección General de Normas dependiente de la Secretaría de Economía, es la encargada de regir la elaboración y difusión de las diversas normas incluyendo las normas sobre sistemas de calidad.

Los organismos de normalización en México, son instituciones reconocida que forman parte del sistema nacional de normalización las cuales cubrirán una o varias ramas industriales, teniendo como objeto elaborar normas mexicanas; de cumplimiento voluntario (NOM) y obligatorio (NMX).

### 1. 5. 2 NORMAS MEXICANAS DE CALIDAD.

En México existía un rezago de aproximadamente 30 años, respecto a normas de sistemas de calidad. A través de la SECRETARIA DE ECONOMIA- D. G. N., se ha desarrollado la normatividad requerida, al nivel de los países industrializados. En Agosto de 1988 D. G. N., distribuyo a las cámaras industriales y comités de normalización, 3 anteproyectos de normas oficiales de calidad, basados en las normas ISO 9000.

En diciembre de 1990 se aprobaron las primeras 8 normas oficiales mexicanas de calidad a través de la D. G. N., y un comité de especialistas en evaluaciones de sistemas, debido a lo anterior y dado el interés mostrado por los diferentes sectores industriales de México en febrero de 1992 se constituye el comité Mexicano para la atención de la ISO organizado de manera que se de respuesta a los documentos de mayor importancia; el comité nacional esta integrado por 24 subcomités en las diferentes áreas de la industria y el sector oficial.

México adopto un sistema de normalización de la Organización Internacional de Normalización; con lo que se pretende un desarrollo en la calidad de los productos nacionales que lleven a nuestro país a abrirse mercados internacionales, así como un fomento en la calidad del mercado nacional.

La serie de normas Mexicanas de calidad NMX-CC-1 a 16 incluyen los requisitos para los sistemas de calidad los cuales son usados para lograr el desarrollo, la implantación y la aplicación en la administración de la calidad.

Cada empresa o institución que adopte los lineamientos de las normas mexicanas de calidad debe determinar los criterios del sistema de calidad que son aplicables y en base a los requisitos de la norma, la empresa debe definir como intenta aplicarlos, cumplirlos y controlarlos.



## 1.6 ASEGURAMIENTO Y GESTION DE LA CALIDAD.

El aseguramiento y la gestión de la calidad son dos actividades relacionadas entre si pero con una función diferente, cada una de ellas.

El aseguramiento de la calidad es el conjunto de actividades planeadas y sistemáticas implantadas para dar confianza de que un elemento cumplirá los requisitos establecidos de calidad. Y tienen dos propósitos:

Propósitos internos. Proporciona confianza a la directiva de la organización.

Propósitos externos. En situaciones contractuales y de otro tipo debe proporcionar confianza al cliente.

Es importante conocer las etapas en que se involucra el aseguramiento de la calidad.

Análisis de contabilidad del producto. Desarrolla un sistema que permita predecir el rendimiento del producto y medir cuan satisface las expectativas del usuario.

Aseguramiento del producto. El uso de un sistema de calidad eficaz en la producción de artículos y servicios.

Aseguramiento de los sistemas. Confirma en todas las áreas de la organización un eficiente control administrativo; realizando auditorias y evaluaciones en los sistemas, departamentos o programas, llevando un registro del control y detectando posibles fallas.

La gestión de la calidad es el conjunto de acciones encaminadas a planificar, organizar y controlar la función de la calidad en una empresa. Son tres las acciones:

- Definición de políticas de calidad de la empresa.
- Definición de objetivos.
- Planificación; estableciendo las estrategias y los recursos necesarios para alcanzar los objetivos.

## 1.7 GESTIÓN DINÁMICA DE CALIDAD

La Gestión Dinámica de la Calidad busca la calidad de la organización como un todo y el desarrollo real del personal para que pueda ser posible, como consecuencia, el logro de la calidad de productos y servicios. Esta es el conjunto de acciones encaminadas a planificar, organizar y controlar la función de calidad en una empresa. Son tres las acciones:

- Definición de políticas de calidad de la empresa.
- Definición de objetivos.
- Planificación, estableciendo las estrategias y los recursos necesarios para alcanzar los objetivos.

La Gestión Dinámica de la Calidad considera que la calidad de productos y servicios es el resultado de una serie de causas, no solamente técnicas que

afectan a la calidad; dichas causas pueden tener su origen en todas las actividades que se efectúan en la empresa, algunas en forma directa provocan problemas con los productos o servicios, y otras, lo hacen de manera totalmente indirecta, pero al final de cuentas son las responsables reales de la no obtención de la calidad.

Con base en lo anterior, se puede decir que lo indispensable es buscar la calidad de la organización como un todo para que se pueda obtener la calidad en lo producido; es decir, el que productos, equipos o servicios cumplan con lo que se espera de ellos, depende a su vez de que en la organización se obtenga lo que se espera de ella, y para lograrlo se necesita tomar en cuenta todas las causas técnicas, sociales, organizacionales, del entorno y humanas (en lo individual y en grupo) que sean motivo de degradación de la calidad; por lo que entran en juego procesos sociológicos, culturales, psicológicos, sociotécnicos, etc.

Se requiere, además de que el sistema sea objetivamente capaz de poder distinguir entre las causas y los efectos y sus repercusiones reales, muchas veces enmascaradas, hacia la calidad. Además, otra de las condiciones importantes para la aplicación es no caer en el error común en el que incurren muchos sistemas cuando utilizan alguna solución, criterios, norma, etc., ya que efectúan la aplicación de los elementos mencionados pensando más bien en "cómo aplicar el sistema", en lugar de preguntarse "el ¿por qué? de aplicarlo"; esto conlleva a creer que la utilización de los criterios o las normas va a lograr automáticamente la calidad; en otras palabras, se aplican sistemas para ver qué resuelven, en lugar de diagnosticar con precisión lo que se quiere resolver.

Además, dentro de la Gestión Dinámica adquiere especial preponderancia el personal, como elemento más importante dentro de la organización, ya que es el único capaz de decidir. Y dentro de las personas que laboran en la organización son básicos para este Sistema de calidad los niveles operativos; ya que son quienes realmente conocen los problemas y soluciones, puesto que son los que producen.

**CAPITULO 2**

---

**ANALISIS DEL PROBLEMA**

## 2.1.-SOLDADURA DE VASTAGOS.

Los vástagos se sueldan a las piezas macizas y a las chapas delgadas, habitualmente, con ayuda de la soldadura eléctrica de contacto. Este procedimiento se emplea frecuentemente para sujetar espárragos a las piezas de acero y a piezas de hierro colados de alta resistencia. Para grandes escalas de producción la soldadura es considerablemente más ventajosa que el procedimiento habitual de sujetar los espárragos a rosca.

Para disminuir el gasto de energía eléctrica la soldadura se realiza por un perímetro limitado o por puntos. Los extremos de los vástagos se hacen en forma de esfera, se dotan de llantas anulares o de salientes.

Los vástagos de gran diámetro (mayor de 8 mm) se sueldan empleando fundentes. En la producción en gran escala, en el vástago se encastran de antemano piezas añadidas de fundente duro.

La soldadura por fusión se emplea para soldar vástagos de hasta 25 mm de diámetro. La soldadura se realiza empleando fúndente. En el vástago se encaja un casquillo de cerámica que mantiene el fúndente en fusión y el metal y que restringe el contorno de la costura

El vástago se lleva bajo tensión al lugar de soldadura, encendiendo el arco, después de lo cual se separa a la distancia de 0,5-1 mm y se mantiene en esta posición en el curso de un tiempo suficiente para la fusión del metal del vástago y de la pieza. A continuación, el vástago se recalca, sumergiéndolo en un baño de metal en fusión, como resultado de lo cual el vástago se suelda por toda la sección

El proceso dura 0,1-1s.

La afluencia anular formada en la periferia del vástago se recubre al unir las piezas, aplicando agujeros de diámetro aumentado, chafflanando los borde del agujero o colocando en el empalme guarniciones de gran espesor.

Al soldar vástagos a chapas sin sujeción el espesor mínimo admisible de la chapa  $s_{\min} \approx 0,5 d$  (donde  $d$  es el diámetro del vástago), al soldar con sujeción  $s_{\min} \approx 0,3 d$ .

Para evitar el shuntado de la corriente, la distancia entre los vástagos contiguos debe ser no menor de  $(3 \div 3,5) d$ . El procedimiento de soldadura por descarga de condensador con descarga impulsiva, no necesita el empleo de fúndente y permite la unión de piezas de materiales heterogéneos.

El vástago se comprime a la chapa con un muelle, y se suministra el impulso eléctrico que funde el metal en el empalme. Bajo el esfuerzo del muelle el vástago se sumerge en el metal en fusión formando una unión sin afluencias

Una diversidad de este proceso es la soldadura por la espiga en fusión.

Con la soldadura por descarga de condensador puede soldarse vástagos de hasta 10 mm de diámetro. El espesor de la chapa y la distancia entre los vástagos, prácticamente no están limitados. La duración del proceso se calcula en milisegundos. Las soldadoras automáticas tienen un rendimiento de hasta 100 soldaduras por minuto.

**Análisis Metalográfico:** del vástago: La microestructura es característica de un acero de bajo contenido de carbono y consiste de perlita en una matriz ferrítica de un tamaño de grano según ASM E112

**Análisis metalográfico de la barra guía.**

La microestructura observada corresponde un acero de bajo contenido de carbono y consiste de perlita en matriz ferrítica

## **2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Durante los trabajos para equipar las vías del metro de la ciudad de México, se realiza la colocación de los aisladores y de las barras guía, estos trabajos incluyen una serie de operaciones que se indican a continuación.

### **2.2.1 Montaje de los aisladores Resumen**

Colocación provisional de las barras guía para trazado de la posición de los pernos Nelson.

Quitado de las barras de los aisladores, soldadura de los pernos Nelson.

Armado definitivo y ajuste de las barras guía.

Soldadura de las barras guía

Verificación del ajuste de las barras guía.

Esmerilado de las barras guía.

Grafitado de las caras verticales

**2.2.2 Montaje de los aisladores:** Los aisladores son montados sobre el durmiente y encima de estos descansa la barra guía la cual se fija a esta por medio de tuercas autofrenadas atornilladas a los pernos Nelson los cuales se fijaron a la barra guía previamente, mediante un proceso de soldadura, la cual se describirá posteriormente, que en principio consiste en una soldadura con arco eléctrico por acercamiento. Para que esta soldadura se realice en las mejores condiciones, la especificación impone que los pernos Nelson sean soldados verticalmente y que la soldadura se encuentre en la parte inferior del perno, el proceso es el siguiente,

**2.2.3 Las barras guía en línea recta,** son colocadas de manera provisional sobre las cabezas de los aisladores y se sujetan mediante prensas manuales o por cualquier otra medio, entonces la posición de cada cabeza de aislador será marcada y trazada de manera precisa en las barras, por medio una plantilla que podrá servir también, para la soldadura de los pernos Nelson que en tal caso la plantilla deberá incluir unas guías que indican la posición de los pernos ,para

facilitar la introducción de la pistola para soldar . La barra guía se coloca de manera que sus extremos queden entre dos aisladores y a 0.20 m o más de la parte más cercana del aislador.

Dado que las barras guía se instala en tramos que tienen 18 metros de longitud, es decir una longitud múltiple de la distancia entre aisladores, la soldadura siguiente será ubicada en principio en la misma posición relativa entre dos aisladores

2.2.4 Las barras guía en curva, colocadas en curvas de un radio inferior o igual a 250 m, son curvadas con la maquina de taller, antes de ser enviadas a la obra, esta operación de curvatura deberá hacerse con un cuidado particular. Especialmente los extremos que no pueden ajustarse rigurosamente al radio requerido, será cortados sistemáticamente, arriba de este radio serán ajustadas a la curvatura prescrita por deformación elástica, las barras se colocan sobre sus soportes en las mismas condiciones que en la línea recta, las ubicaciones de las soldaduras de las barras serán desplazadas muy rápidamente debido a la diferencia de longitudes de las filas. Las barras colocadas en la fila de radio menor requerirán un radio mayor de cortes.

#### 2.2.5 Retiro de las barras y soldado de los pernos Nelson.

Después del trazado las barras serán desmontadas y descansaran en la vía de la manera que los pernos o remaches puedan ser soldados verticalmente, con la soldadura en la parte inferior.

La ubicación de los pernos se obtienen automáticamente mediante el asiento de la plantilla mencionada anteriormente.

Esta plantilla permite la colocación exacta de los pernos Nelson , no solamente en el sentido longitudinal, sino también en el sentido vertical con respecto a la ala horizontal de la barra guía.

#### 2.2.6 Montaje definitivo y ajuste de las barras guía.

Antes de colocar las barras, se deberá medir la cota tomada entre el borde de rodamiento del riel y del aislador, por medio de una regla especial. En función de las indicaciones del plano de colocación y del espesor teórico de las barras deducirá el espesor ( x mm ) de calzado a efectuar y lo inscribirá en los aisladores para obtener la distancia antes descrita especificada.

El espesor X del calzado se obtendrá mediante la añadidura de calzas las cuales son calzas permanentes de tres barrenos de 3, 5, y 10 mm de espesor.

Calzas de ajuste fino, separadas en dos partes para facilitar su colocación, de 1, 2, 3, y 4 mm de espesor.

La tabla siguiente da un ejemplo de las combinaciones posibles de estas calzas, para obtener el espesor deseado:

CALZADO TOTAL DE X mm	AJUSTE CON UNA CALZA PERMANENTE DE TRES BARRENOS	AJUSTE CON UNA O MAS CALZAS EN DOS PIEZAS
21	10	11
20	10	10
19	10	9
18	10	8
17	10	7
16	5	11
15	5	10
14	5	9
13	5	8
12	5	7
11	3	8
10	3	7
9	3	6
8	3	8
7		7
6		6
5		5
4		4
3		3

En línea recta, la corta entre el borde interior del riel y la barra es uniforme; varía en curva según diversos elementos (fila, velocidad, peralte); el contratista deberá utilizar la tabla de las cotas a respetarse para cada curva.

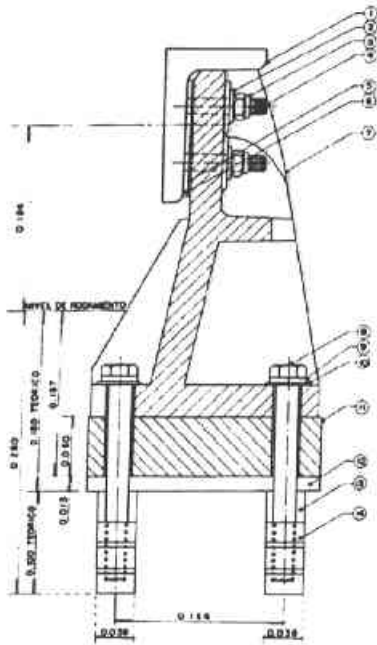
Después de la soldadura de los pernos Nelson, las barras serán montadas sobre los aisladores. Las calzas deberán colocarse en el orden siguiente, partiendo de la cara interior de la barra guía.

- 1.- Calza permanente de tres barrenos
- 2.- Calzas de ajuste en dos partes.

Las tuercas autofrenadas, después de la colocación de las roldanas, se apretarán con una llave hasta alcanzar un par de 3 dN-m para limitar el esfuerzo de tracción inducido en los pernos.

El contratista deberá asegurarse:

- Que el ala vertical de las barras se perpendicular al plano de rodamiento.
- Que las barras hayan sido colocadas respetando las tolerancias definidas.



## DESCRIPCION

1	BARRA GUIA Y DE TOMA DE CORRIENTE
2	RONDANA L 16 N
3	TUERCA AUTOFRENADA M-16
4	PERNO NELSON
5	CALZA DE AJUSTE FINO (3 y 4 mm)
6	CALZA PERMANENTE DE 3 PERFORACIONES (5mm)
7	AISLADOR
8	TORNILLO $\varnothing$ M22(CABEZA HEXAGONAL DE LONG. 0.200m)
9	RONDANA GROWER WL-22
10	RONDANA PLANA ALARGADA $\varnothing$ 22
11	CALZA DE AISLADOR
12	MATERIAL PARA RELLENO
13	MATERIAL PARA SELLAMIENTO
14	ANCLAJE CON CONO DE PLOMO

Fijación para aislador donde se ilustran el montaje de los pernos Nelson



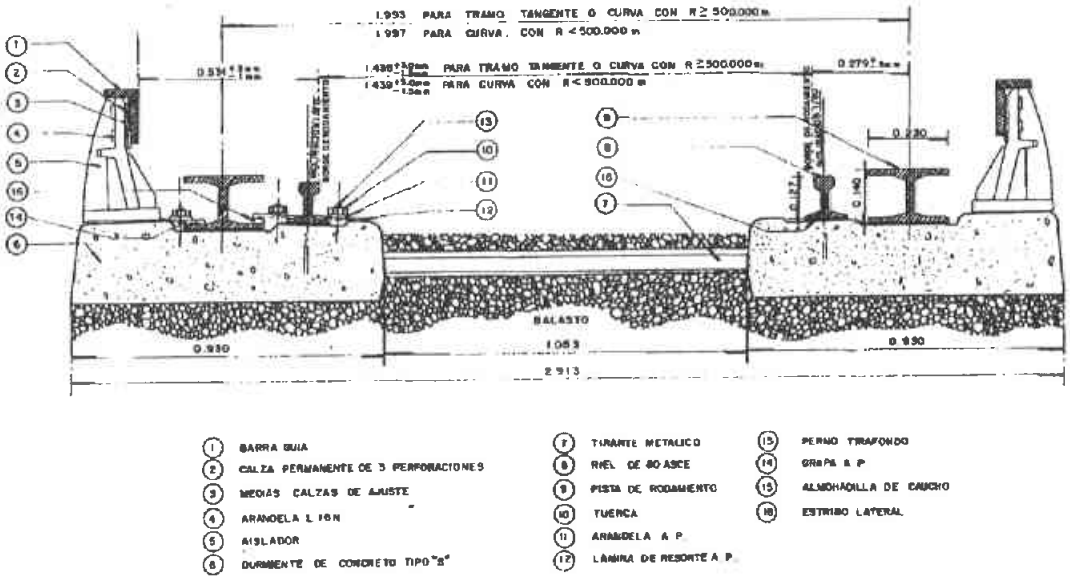


Ilustración de un montaje completo del sistema de vías durmiente biblock

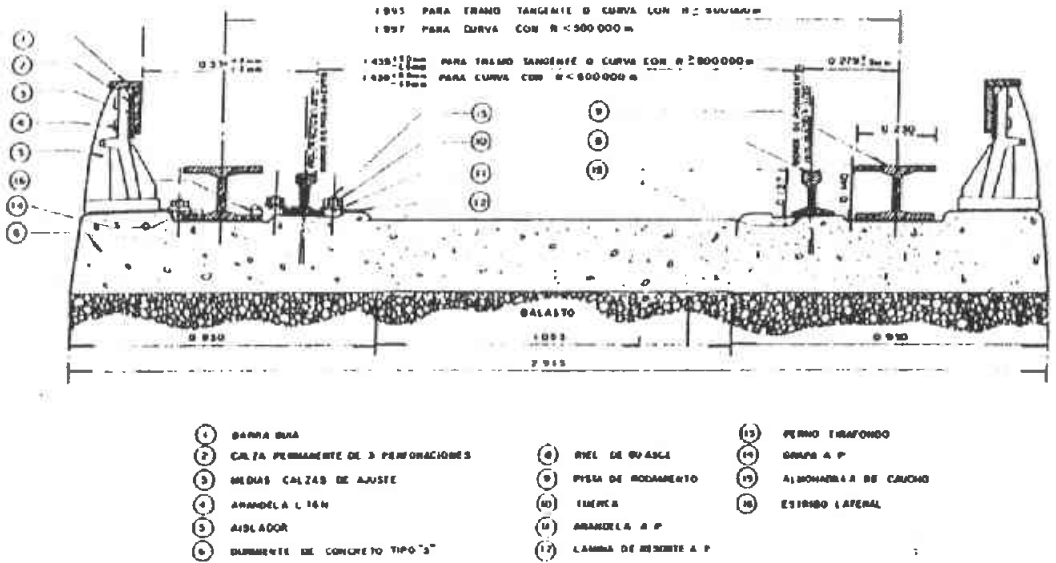


Ilustración de un montaje completo del sistema de vías durmiente monoblock

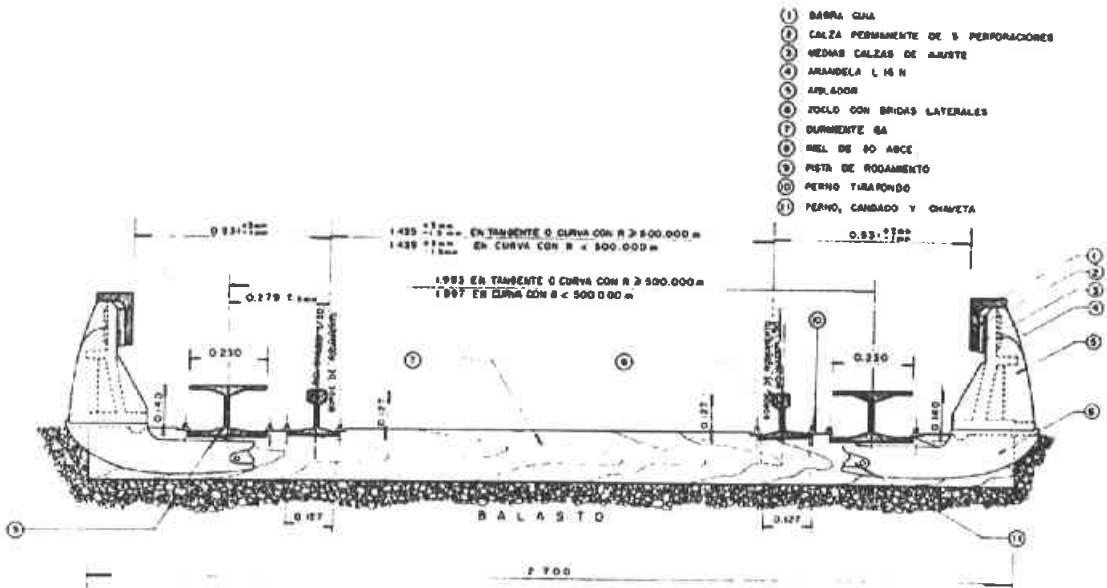


Ilustración de un montaje completo del sistema de vías durmiente de madera

### **2.3 SOLDADURA DE LAS BARRAS GUIA CON EL METODO ALUMINO TERMICO.**

Las barras guía se sueldan en el sitio con el método aluminio térmico, (E. T. Núm. 16-A). Deberá tenerse un cuidado muy particular en las curvas, para asegurar la regularidad de la curvatura. Habrá que utilizar todo dispositivo adecuado (tirantes o prensas especiales), para lograr este propósito.

#### **23.3.1 VERIFICACIÓN DEL AJUSTE DE LAS BARRAS GUÍA.**

Después del montaje definitivo de la barra guía y de apretar las tuercas autofrenadas, se procederá a la verificación de la separación entre las barras guía y de la separación entre una barra guía y el borde interior del riel más cercano para cada fila.

Si después de la verificación se observan todavía diferencias con respecto a las cotas establecidas, la diferencia será compensada mediante calzas de ajuste en dos partes. La colocación de estas calzas requiere aflojar y posteriormente volver a apretar las tuercas autofrenadas, para lo cual será necesario separar la barra del aislador.

#### **2.3.2 DISCONTINUIDADES DE LAS BARRAS DE CORRIENTE: CUPONES NEUTROS Y CRUCETAS.**

Las discontinuidades en las barras guía o de corriente,. Se realizan en dos formas:

- a) Manteniendo la continuidad del guiado.
- b) Interrumpiendo el guiado, como ocurre al franqueo de los aparatos de vía.

En el primer caso, la discontinuidad en la barra de corriente se logra por medio de un cupón neutro (llamado también barra de seccionamiento), comprendido entre dos bloques aislantes, (plano 80-VI. 17-000- III-67-2603p).

En el segundo caso, la barra de corriente finaliza con una cruceta, permitiendo a la escobilla un alejamiento o un acercamiento progresivo a la barra de corriente (plano No. 80-VI. 17-000-III-66-2602p).

Los plano de colocación de vía y de los aparatos de vía proporcionan las posiciones de los cupones neutros y de las crucetas.

Los bloque aislantes se colocan en línea recta y excepcionalmente en curva de radio superior o igual a 300m. Los cortes se harán con sierra y en una misma barra.

### 2.3.3 ESMERILADO DE LAS BARRAS GUIA.

Las barras guía se entregan en estado bruto de laminado. La cara vertical de la barra en la que ruedan los neumáticos guía y se deslizan las escobillas positivas, tiene irregularidades o puntos de óxido que pueden ser molestos en el momento de la puesta en servicio (arcos eléctricos, desgaste prematuro de los neumáticos).

Por lo tanto esta cara deberá esmerilarse. Los puntos de ataque de las escobillas, es decir, las crucetas, deberán esmerilarse hasta obtener el pulido. El resto de la barra guía deberá esmerilarse en forma más moderada, hasta retirar las irregularidades.

Después del esmerilado, a la cara vertical de las barras guía se les aplicara una capa de grasa grafitada.



## 2.4 SOLDADURA DE LOS PERNOS MEDIANTE EL METODO DE "NELSON"

La presente procedimiento tiene por objeto definir las condiciones de ejecución, en las obras, de las soldaduras, mediante el método "Nelson", de pernos de acero dulce, sobre barras guía.

Principio del método "Nelson".

El método "Nelson" utiliza el calor del arco eléctrico para soldar de un solo extremo pernos sobre superficies metálicas en tiempos muy cortos.

El equipo incluye:

- Un equipo de soldadura con corriente continua cuya tensión en vacío está comprendida entre 60 y 90 volts, capaz de proporcionar una intensidad suficiente para el diámetro del perno previsto
- Una caja de mando, que permite la regulación y la automaticidad del ciclo de soldadura, descrito a continuación, y que evita el arranque de un nuevo ciclo, antes de que se termine el ciclo en curso.
- Una pistola para soldar y unos juegos de cables (es preferible que la pistola sea del tipo con desplazamiento controlado).

Al principio de la operación, la pistola cargada con un perno y un anillo de cerámica (una especie de crisol que se adapta a la forma del contorno por soldar), se aplica sobre la parte metálica que se va a soldar.

Oprimiendo el gatillo, el operador pone en funcionamiento el ciclo de soldadura que es totalmente automático y depende de la regulación de la caja de mando.

Primero el perno es levantado, lo que da comienzo al arco y se mantiene en esta posición durante el tiempo necesario para la fusión de una cierta longitud del perno (3mm., aproximadamente), y de una parte de la pieza. Luego se regresa rápidamente hacia la pieza, en el metal en fusión, mientras que se corta la corriente de soldadura. Cada perno es soldado en un tiempo total no superior a los dos segundos.

Le corresponde al operador determinar la intensidad necesaria y regular el tiempo de soldadura en función del diámetro de los pernos y de la posición de soldadura.

### 2.4..1 APLICACIÓN DEL MÉTODO.

El problema consiste en fijar una barra guía en forma de ángulo de 6" x 4" x 1" ó 150 x 100 x 25 mm., sobre unas cabezas de aisladores mediante pernos de 16 mm., de diámetro soldados en el interior del ángulo.

Hay 3 pernos por aislador y en montaje definitivo, estos pernos son horizontales.

Sin embargo, la soldadura no es ejecutada después de colocar la barra. Esta será simplemente montada en vía provisionalmente para diferenciar los pernos, luego será desarmada y descansada en la vía, se efectuará la soldadura verticalmente, con el ángulo abajo. Debido a la precisión que debe emplearse en esta operación, se usarán gálibos tanto para la marcación de los pernos como para la colocación de la pistola al momento de la soldadura.

Además, aunque de una manera general, la operación se desarrolle en la forma indicada arriba, el contratista deberá hacer adoptar un cierto número de pistolas para la soldadura con barras guía o "instalada en las peores condiciones de espacio, o sea en la entrevía

Este modo de soldadura deberá utilizarse, en efecto, para la reparación de pernos rotos durante el montaje y también posteriormente, para el mantenimiento de las instalaciones cuando las líneas estarán en servicio.

Aprobaciones a obtener por el contratista.

Antes de cualquier inicio de ejecución, el contratista deberá solicitar a la Dirección general de Construcción (DGCOS) su aprobación para todo el equipo que el piensa utilizar:

- a) Equipo de soldadura
- b) Cajas de mando

Pistola, accesorios y en particular, los montajes de pies tubulares para las soldaduras a ejecutar en los tramos delicados u obstruidos .  
Gálibos para referencia y para soldadura.

El contratista deberá proporcionar durante todo el tiempo que duren las obras tantos especialistas o técnicos aprobados cuantos sean necesarios para que la utilización de los aparatos y la realización de las soldaduras sean siempre satisfactorias.

Las aprobaciones dadas por DGCOS no disminuyen en lo más mínimo la responsabilidad del contratista tanto en lo que se refiere a la calidad de las soldaduras, la seguridad de los operarios, los riesgos de incendio, como los daños eventuales a las instalaciones del Metro.

### 2.4.2 SOLDADURAS DE PRUEBA

Antes de empezar la ejecución, el contratista deberá mostrar que está en condiciones de ejecutar soldaduras de excelente calidad, cualquiera que se la posición de la pistola (pistola vertical, soldadura abajo, pistola horizontal) y con el equipo de soldadura que él se propone utilizar.

Por eso deberá ejecutar, en estos diferentes casos, una serie de soldaduras con pernos de 16mm., sobre muestras de ángulo suministrados por DGCOS.

El cordón formado en la base del perno deberá ser regular y de buen aspecto. Las soldaduras realizadas no deberán comprender burbujas ni tener una estructura brillante o fibrosa, ni tampoco ser frágiles.

Se ensayarán con el martillo. La prueba consiste en golpear el perno con un martillo hasta que se doble a lo largo de la pieza sobre la cual está soldado. Una buena soldadura debe permitir el doblado sin ruptura ni principio de ruptura.

### 2.4.3 EJECUCION Y RECEPCION DE LAS SOLDADURAS .

Lugar de realización de las soldaduras.

Las soldaduras deberán realizarse en las líneas y en los talleres en construcción del Metro de la ciudad de México. Los puntos de ejecución variarán cada día y seguirán el avance de las obras. El contratista no dispondrá de ninguna fuente de energía eléctrica. El deberá prever los equipos de soldadura adecuados (baterías de acumuladores o grupos electrógenos capaces de suministrar la potencia necesaria para la soldadura de pernos de 16mm.).

El contratista deberá proporcionar todo el material necesario para asegurar un buen rendimiento, sin interrupción de la operación de colocación de las barras guía, cualquiera que sea la duración del trabajo (por ejemplo: 1 turno de trabajo de 8 horas o más, 2 turnos sucesivos de 8 horas, 3 turnos sucesivos )

En particular, habrá que atenuar el calentamiento de las pistolas y la descarga de los acumuladores, si se emplea este tipo de soldadura. La vía férrea estando instalada en el momento de la colocación de las barras guía, el contratista podrá utilizar eventualmente para transportar su material las plataformas puestas a disposición del contratista encargado del tendido de las vías, siempre que las plataformas estén disponibles.

El contratista encargado de la soldadura podrá adaptar estas plataformas según sus necesidades con la condición de que someta previamente su proyecto de adaptación a la aprobación de DGCOS y que vuelva a poner las plataformas en condiciones anteriores después de ser utilizadas.



Sin embargo, DGCOS se reserva el derecho de comprar, si lo juzga útil, estas adaptaciones para las necesidades del mantenimiento. El precio que deberá discutirse tomará en cuenta el estado de los acondicionamientos y del equipo en el momento de la compra.

#### 2.4.4 SUMINISTRO DE PERNOS Y CASQUILLOS

Los pernos a suministrar tendrán un diámetro de 16mm. La longitud de la parte roscada, así como la longitud total (en principio: 80mm), serán precisadas en el pedido. Serán de acero dulce. Su extremo llevará una celdilla cerrada por una cápsula engastada, un flujo especial granular cuya función es estabilizar el arco y desoxidar el metal líquido.

El casquillo fabricado en cerámica será de forma apropiada para moldear el cordón de metal fundido que rodea el perno en su base y asegurar correctamente las otras funciones que le son atribuidas (proteger el acero contra el aire, evitar las pérdidas de calor en el arco por difusión y conductibilidad del aire ambiente, permitir la salida de los gases durante la última fase del ciclo).

##### Ajuste antes de la soldadura en serie

Antes de empezar los trabajos en serie, y después de cada cambio de material (equipo de soldadura, caja de mando, pistola), se efectuará una serie de soldaduras para prueba sobre una barra guía muestra, colocada en la obra donde se va a realizar la soldadura y proporcionada por DGCOS.

Estas pruebas tienen por objeto el ajuste de los distintos parámetros que influyen en la buena calidad de la soldadura (intensidad de la corriente, tiempo de paso del arco, centrado del anillo, longitud de compresión del perno). Se harán tantas pruebas como sean necesarias para obtener 3 pernos que resistan perfectamente a la prueba de doblado con el martillo, descrita en el artículo 1.5

Una vez establecida la intensidad óptima, se determinarán los grados máximos y mínimos de intensidad fuera de los cuales la soldadura corre peligro de ser defectuosa. Durante la ejecución de las soldaduras en serie, la constancia de la intensidad suministrada será cuidadosamente controlada.

#### 2.4.5 EXAMEN DE LAS SOLDADURAS.

Después de ejecutarse los trabajos en serie y antes de colocar las barras guía en la vía, las soldaduras terminadas serán examinadas por el representante de DGCOS, quién verificará el aspecto del cordón y podrá "sondear " los pernos con el martillo después de colocar una tuerca para evitar el desgaste de la rosca.

Las soldaduras no deberán presentar ninguno de los defectos mencionados anteriormente. Además deberán ser muy regulares y los pernos deberán ser perfectamente perpendiculares a la superficie sobre la cual están soldados. Las soldaduras defectuosas se volverán a hacer por cuenta del contratista.

#### 2.5 DISPOSICIONES DIVERSAS

**Gasto de pruebas.**

Todos los gastos de pruebas están a cargo del contratista, incluyendo los suministros de pernos. Sin embargo DGCOS proporciona los ángulos para prueba.

**Período de garantía.**

Las soldaduras están garantizadas durante un año contado a partir de su puesta en servicio efectivo en la vía, o sea a partir del día de la operación en servicio regular del tramo de la línea sobre el cual aquellas son realizadas.

Durante el período de garantía, el contratista deberá reembolsar el importe de los gastos ocasionados por la reparación de un perno roto en la parte de la soldadura.

Para el cálculo de este reembolso se tomarán como base los precios que figuran en el contrato.

**Derechos de patente.**

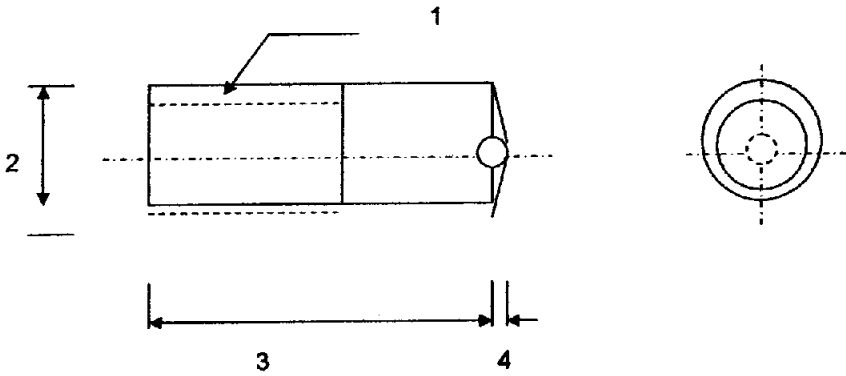
Los derechos eventuales de patente están a cargo del contratista quien garantiza a DGCOS contra cualquier reclamación por este concepto.

**2.6 CARACTERISTICAS DE LOS PERNOS NELSON**

No	CARACTERISTICAS	CLASE DE DEFECTO	EL ELEMENTO DE INSPECCIÓN	DE
1	ROSCA M 16 x 2mm.	C	CALIBRADOR ROSCAS	DE
2	DISTANCIA 50 ± 1.0mm	M	CALIBRADOR CARATULA	DE
3	DISTANCIA 85 ± 2.0mm	M	CALIBRADOR CARATULA	DE
4	DISTANCIA 5mm (FUSION)	M	CALIBRADOR CARATULA	DE
5	EL PERNO DEBE CONTENER UNA CAPSULA DE FÚNDENTE A BASE DE ALUMINIO DE 95%DE PUREZA MINIMO EN EL CENTRO DE LA CARA DE FIJACION CON LAS DIMENSIONES SEÑALADAS EN EL PLANO	C	ANALISIS QUIMICO	
6	MATERIAL: ACERO NORMALIZADO SAE 1010 ó 1008.	C	ANALISIS QUIMICO	
7	DUREZA DEL PERNO A 80 – 90 ROCKWELL "B" (1/16", 100 kg.).	C	DUROMETRO UNIVERSAL	
8	PRUEBA DE MARTILLO DESPUES DEL SOLDADO.	C		
9	MONTAJE	C		

CLASE DE DEFECTO: C = CRITICO  
M = MAYOR  
m = MENOR

## PLANO DE CARACTERISTICAS



## 2.7 MAQUINAS PARA SOLDAR PERNOS POR EL PROCEDIMIENTO NELSON

Esa procedimiento consiste en soldar pernos de 16 y 80 mm de longitud de acero suave a la parte posterior de la barra guía, mediante el calor de un arco eléctrico de aproximadamente 2 segundos de duración.

Una caja de control permite el ajuste y automaticidad del ciclo de soldadura y prohíbe el disparo de un nuevo ciclo antes de que termine el que se encuentra en curso.

Un juego de cables permite hacer las conexiones a la caja de control y las partes metálicas a soldar.

Se debe observar que entre los extremos de los cables (caimán y prensa) y la parte a soldar, no se encuentre bloque aislante.

Una pistola de inmersión controlada cuenta con un porta perno, un porta ferrul y un botón para iniciar el ciclo de soldadura. El perno cuenta en su parte inferior con una cápsula incrustada que estabiliza el arco eléctrico y desoxida el metal fundido. Ya iniciado el ciclo, el ferrul fabricado de cerámica y colocado en el extremo de la pistola moldea la pestaña del metal fundido, abriga el arco del contacto del aire evitando pérdidas de calor y permite la salida de los gases en la última fase del ciclo.

La sección de vías , cuenta para la ejecución de este trabajo, con dos tipos de maquinas:

- a) Máquina para corriente trifásica (Unidad de energía TR – 1800 A)
- b) Banco de acumuladores.

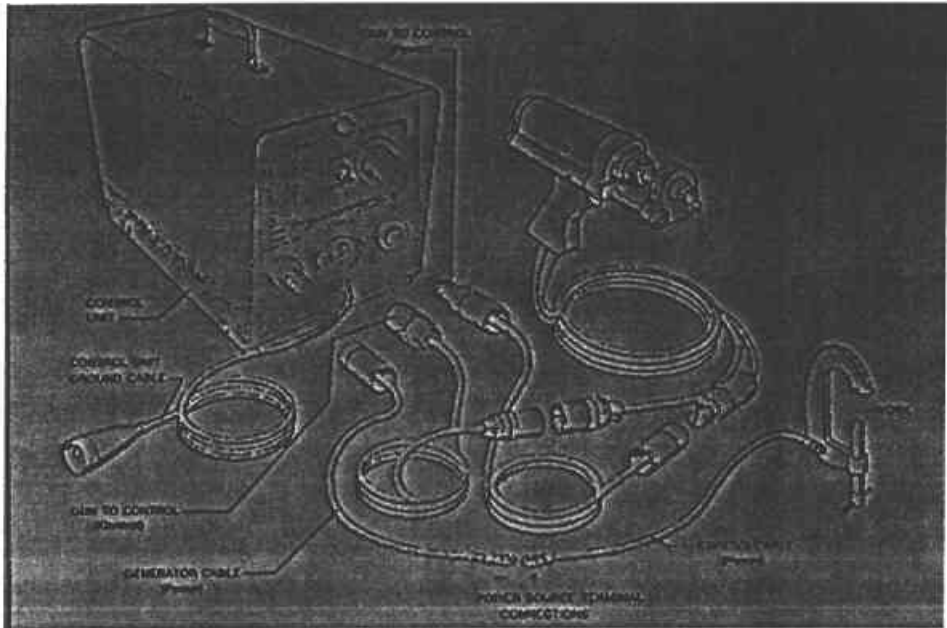
Para el caso a) . Nos conectados a los cables en el lugar respectivo,(exceptuando el caimán de la caja de control) se ajusta la corriente de la unidad de energía TR 1800 A con 50/60 amperes y la duración del ciclo de soldadura en la caja de control a 6.8 segundos.

El funcionamiento de la maquina se logra oprimiendo el botón start (encender) en el tablero de control de enfrente y rompecircuito de control a la posición ON

Hecho que permite la soldadura , previa colocación del caimán y la prensa del tornillo

La soldadura de pernos con el procedimiento nelson con el equipo dotado de acumuladores conectados en serie , se inicia al revisar que dichas conexiones se encuentren bien sujetas, conectando después el cable de transmisión de energía en el orificio marcado 5/8 " en la parte posterior de la maquina y por el otro extremo en el orificio correspondiente en la caja de control.

La caja de control ya alimentada con la energía de los acumuladores se ajusta al tiempo de duración del ciclo de soldadura, esto es 6.8 segundos y se conectan los cables de la pistola en la misma observando que la prensa del cable a tierra se encuentre instalado para colocarte el caimán con lo que podremos proceder a soldar



MAQUINA PARA SOLDAR PERNOS NELSON

**CAPITULO 3**

---

**TIPOS DE DISEÑO DE EXPERIMENTOS**

### 3. 1 CONTROL DE CALIDAD EN LINEA Y FUERA DE LINEA.

Cuando hablamos de sistemas de calidad, se dividen los sistemas de calidad en dos partes:

Calidad de diseño.

Calidad de Adecuación.

Taguchi se refiere a esto como:

Calidad fuera de línea (de producción).

Calidad en línea (de producción).

El control de Calidad fuera de línea tiene que ver con:

1. Identificar correctamente las necesidades y expectativas del cliente.
  2. Diseñar un producto/servicio que conforme las expectativas del cliente.
  3. Diseñar un producto el cual sea consistente y económicamente fabricado.
- Desarrollar especificaciones claras y adecuadas así como procedimientos, estándares y equipo de manufactura.

Hay dos etapas en el control de calidad fuera de línea: Etapa del diseño de producto y etapa del diseño del proceso.

Durante la etapa del diseño del producto un nuevo producto es desarrollado o un producto existente es modificado. La meta en este caso es desarrollar productos capaces de ser fabricados y que cumplan las expectativas del cliente. Durante la etapa del diseño de procesos los ingenieros (personal) de producción y manufactura (supervisores) desarrollan procesos de manufactura que cumplan con las especificaciones desarrolladas durante el proceso de diseño.

Taguchi, desarrolló un enfoque de tres pasos para asegurar la calidad en cada una de las dos etapas del control de calidad fuera de línea: diseño del sistema, diseño de parámetros y diseño de tolerancias.

Control de calidad en líneas tiene que ver con manufacturar productos dentro de las especificaciones establecidas durante el diseño del producto usando los procedimientos desarrollados durante el diseño del proceso.

También el diseño de productos y procesos puede ser revisado si el feedback de los consumidores revela oportunidades de mejora. Las dos etapas en el control fuera de línea son: métodos de control de calidad en producción (con tres partes: diagnóstico de proceso y ajuste; predicción y corrección; medición y relación); el estado dos es relaciones con el cliente.



**CONTROL DE CALIDAD FUERA DE LINEA**

Etapa 1 Diseño del producto	Trata de 1. Identificar necesidades del cliente y expectativas. 2. Diseña un producto que se adecue a las necesidades del cliente y expectativas 3. Diseña un producto el cual pueda ser consistente y económicamente óptimo.	Pasos de aseguramiento: 1. Diseño de sistemas. 2. Diseño de parámetros. 3. Diseño de tolerancias.
Etapa 2 Diseño del proceso	Trata de: 1. Desarrollar estándares y especificaciones claras y adecuadas, así como seleccionar procedimientos y equipos para la manufactura.	Pasos de aseguramiento: 1. Diseño de sistemas. 2. Diseño de parámetros. 3. Diseño de tolerancias.

**CONTROL DE CALIDAD EN LINEA**

Etapa 1 Producción.	Trata de: 1. Manufacturar productos dentro de especificaciones establecidas durante el diseño del producto usando procedimientos desarrollados durante el diseño de procesos.	Forma 1 Diagnostico y ajuste de proceso. forma 2 Predicción y corrección. forma 3 Medición y acción.
Etapa 2 Relaciones con clientes	Trata de: 1. Dar servicio a clientes y usa la información sobre problemas en campo para mejorar diseño del producto y el proceso de manufactura.	Acciones: 1. Reparar, reemplazar o rembolsar. 2. Retroalimentación sobre problemas de campo. 3. Cambiar las especificaciones o diseño del producto/proceso.

### **3. 2 DESCRIPCIÓN DE CONTROL DE CALIDAD FUERA DE LÍNEA Y EN LÍNEA.**

#### **3. 2. 1. CONTROL DE CALIDAD FUERA DE LÍNEA.**

##### **ETAPA 1 DISEÑO DEL PRODUCTO.**

1.- Diseño del sistema. Aplicando ingeniería y conocimiento científico para desarrollar un prototipo el cual conforme los requerimientos del cliente. Selección inicial sobre partes, materiales y equipo de manufactura se hacen en este lapso.

El énfasis aquí es usar la mejor tecnología disponible para cumplir los requisitos del cliente al menor costo. Debemos recalcar aquí que se desea cumplir con la tecnología disponible, partes de bajo costo y requisitos del cliente algo más que usar la última tecnología y partes costosas y/o exóticas.

2.- Diseño de parámetros. Consiste en determinar el ajuste óptimo de los parámetros del producto. La meta aquí es minimizar costos de manufactura y vida del producto disminuyendo la variación del comportamiento, esto incluye hacer robusto el diseño del producto, insensible a los factores de ruido. Un factor de ruido es una fuente no controlada de variación en la característica funcional del producto. Taguchi, identifica tres tipos de factores de ruido.

Ruido externo, sobre la variación en las condiciones ambientales.

Ruido interno o deterioro, tales como desgaste del producto .envejecimiento de materiales u otros cambios en los componentes por el uso.

Ruido de pieza a pieza, el cual es debido a diferencias en productos elaborados con la misma especificación, causada por variabilidad en materiales maquinaria y procesos de ensamble.

El paso de diseño de parámetros incluye el uso de diseños experimentales para determinar el impacto de factores (ruidos), controlables e incontrolables sobre las características del producto. La meta es ajustar factores controlables a niveles los cuales hagan el producto robusto con respecto a los ruidos.

3.- Diseño de tolerancias. Establecer tolerancias alrededor del valor objetivo (nominal). La meta es reducir tolerancias amplias (para reducir costos de manufactura), mientras todavía se mantienen las características funcionales del producto en las fronteras especificadas.

##### **ETAPA 2 DISEÑO DE PROCESO**

1.- Diseño de sistemas. Selecciona e proceso de manufactura sobre la base del conocimiento del producto y tecnología de manufactura estándar.

El enfoque aquí esta en la adecuación a la especificación usando maquinaria y proceso existentes hasta donde sea posible.

2.- Diseño de parámetros. Determinan niveles apropiados para los parámetros controlables del proceso de producción.

La meta aquí es hacer el proceso robusto para minimizar los efectos del ruido sobre los procesos de producción y producto determinado. Diseños experimentales que se usan en este paso.

3.- Diseño de tolerancias. Establece tolerancias para los parámetros identificados para críticos durante el diseño de parámetros del proceso. Si los pasos de diseño y proceso del producto son pobremente llevados a cabo podría ser necesario aquí ajustar tolerancias o especificaciones de los materiales más costosos o mejor equipo, elevando costos de manufactura.

### **3. 2. 2. CONTROL DE CALIDAD EN LINEA**

#### **ETAPA 1 PRODUCCIÓN.**

Taguchi define tres formas de control de calidad en línea:

1.- Diagnósticos de proceso y ajuste. El proceso es monitoreado a intervalos regulares y se hacen ajustes y correcciones, si es necesario.

2.- Predicción y corrección. Un parámetro de procesos es medido a intervalos regulares. Los datos son usados para proyectar tendencias en el proceso, donde se encuentre que el proceso esta muy alejado del objetivo, el proceso se ajusta para corregir la situación. Este modo que también se denomina feedback (retroalimentación) o (control hacia delante).

3.- Medición y acción. Calidad por inspección, cada unidad manufacturada es inspeccionada, unidades defectuosas son retrabajadas o tiradas a la basura. Esta es la más costosa y menos deseable forma de hacer control de calidad ya que no previene defectos en su ocurrencia o aún identificar todas las partes defectuosas.

#### **ETAPA 2 RELACIONES CON EL CLIENTE.**

Servicio a clientes puede incluir reparación o reemplazo de productos defectuosos o compensación por pérdidas y proceso de manejo de quejas debería de ser más que una operación de relaciones públicas con el cliente. Información sobre tipos de quejas y fallas y percepciones de los clientes sobre el producto, deben de ser rápidamente retroalimentado a áreas relevantes de la organización para acciones correctivas.

La siguiente figura resume en que parte del ciclo diseño manufactura – entrega, Es posible tratar con los tres tipos de ruido.

Aquí la etapa de diseño del producto se llama investigación y desarrollo (I y D), y la etapa del diseño se llama ingeniería de producción. La figura nos indica donde es más factible y económico actuar y así evitar o reducir económicamente y de una manera más efectiva de los ruidos.

Departamento			Tipo de ruido		
			Externo	Interno	Pza. a Pza.
Control de calidad fuera de línea	Investigación y desarrollo	1. Diseño de sistemas	p	p	p
		2. Diseño de parámetro.	p	p	p
		3. Diseño de tolerancia.	u	p	p
	Ingeniería de producción	1. Diseño de sistema.	i	i	p
2. Diseño de parámetro.		i	i	p	
3. Diseño de tolerancia.		i	i	p	
Control de calidad en línea	Producción	1. Diagnósis y ajuste de proceso	i	i	p
		2. Predicción y corrección.	i	i	p
		3. Medición y acción.	i	i	p
	Relaciones con clientes	Servicio post-venta	i	i	i

P = POSIBLE

U = POSIBLE, PERO DEBE SER EL ULTIMO RECURSO

I = IMPOSIBLE

### 3. 3 TIPOS DE VARIABLES.

Es popular como ya se indicó, el manejar el concepto de que calidad es cumplir con las tolerancias, sin embargo, este punto de vista, toma solamente a los diseñadores y fabricantes, y trae lo que se denomina el síndrome del "gol de campo". Esto se contrapone con los requerimientos del cliente; por lo que hay que recordar que en foot ball americano se otorgan tres puntos si el balón pasa por los postes sin importar donde entró. Hay una gran tolerancia. Al cliente no le importa que una TV cumpla con las especificaciones sino que cumpla con la mejor resolución.

Significa entonces que debemos sustituir las especificaciones por una mejor manera de definir las características de un producto/servicio:

HB (Higher is Better). Son características que entre más grande sean, son mejores.

NB (Nominal is Better). Son características que entre más se ajusten al valor nominal es mejor.

LB (Lower is Better). Son características que entre más pequeñas sean, es mejor.

El enfocar los requisitos del cliente en este enfoque permitirá mejorar continuamente al producto.

### 3. 4 FUNCION DE PÉRDIDA.

Es evidente entonces, que es deseo del consumidor el tener productos más consistentes, parte a parte, y el deseo del productor es tener un producto de bajo costo. La pérdida a la sociedad se compone de los costos que se incurren en la producción, tanto como los costos encontrados durante su uso. Es deseo entonces de uniformizar los productos.

La función de pérdida es una expresión matemática que relaciona el costo contra el cumplimiento de la característica, demostrando que entre más nos acerque a la expectativa del cliente (característica) la pérdida disminuirá.

#### 3. 4. 1 NOMINAL ES MEJOR.

La expresión de pérdida para una característica NB es:

$$L = K(y - m)^2$$

Donde :

L = Pérdida asociada (\$).

K = Constante que depende del costo y los límites de especificación.

m = Valor nominal.

y = Valor particular.

La gráfica que define a esta pérdida es:

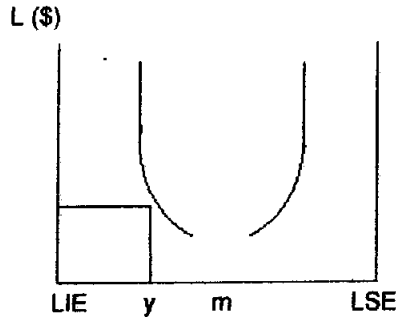


Figura 5 Gráfica que define, nominal es mejor.

Supóngase que un proceso de maquinado la tolerancia es  $\pm 0.010''$  ( $\pm 0.25\text{mm}$ ). Si la parte se tira o repara por exceder el LSE o el LIE, tiene un costo de \$4.00, son una parte de la pérdida a la sociedad. Este costo se toma como referencia. Debido a lo anterior.

$$L = k(y - m)^2$$

$$4.00 = k(y - m)^2$$

La pérdida de no cumplir se calcula cambiando a " y " por LSE (o LIE) y considerando un nominal de cero (que es independiente como se verá en el desarrollo).

$$k = 4.00 / (LSE - m)^2$$

$$k = 4.00 / (0.010 - 0)^2$$

$$k = 40000$$

Por lo tanto, ya tenemos la ecuación de la función de pérdida para este caso:

$$L = 40000 (y - 0.0)^2$$

Por ejemplo, si hay un desplazamiento de 0.003 de más o menos, la pérdida asociada por pieza es 0.36; nótese que esta es una pérdida unitaria.

**3. 4. 2 MAS GRANDE ES MEJOR.**

Las letras en este caso significan lo mismo y la función y su gráfica es:

$$L = k (1 / y)$$

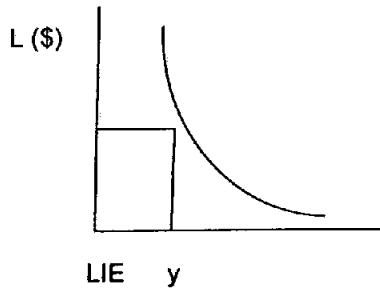
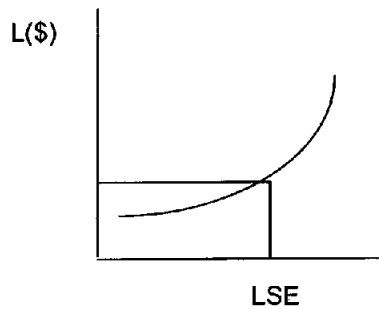


Figura 6 Gráfica que define más grande es mejor.

**3. 4. 3 MENOR ES MEJOR.**

La función de pérdida y su gráfica es:

$$L = k y^2$$



### 3.5 ANALISIS DE VARIANZA.

El objetivo de la experimentación es determinar el efecto de varios factores sobre la variable respuesta "y". Es evidente que una buena experimentación o planeación considerará a las variables más relevantes, las tratará adecuadamente y encontrará respuestas factibles y valiosas a la mejora del problema.

Los principios del diseño experimental se fundamentan en el análisis de varianza. Posteriormente, se dará una revisión a los métodos factoriales y se terminará con el método de Taguchi. En análisis de varianza veremos tres métodos.

#### 3.5. 1 ANOVA DE UN CAMINO.

La varianza total que tiene un experimento será como puede entenderse, la aportación a la variación de cada una de las variables, es decir:

$$SST = SSA + SSB + SSC + \dots + SS\Sigma R$$

Tabla de ANOVA				
Fuentes de Variacion	Suma de Cuadros	Grados de Libertad	Media Cuadrada	Prueba F
Variable SSA/SSE	SSA	M - 1	SSA / m-1	
Error	SSE	N - m		
Total	SST	N - 1		

Las variables que más aporten, serán las que más influyan en el proceso. Así el análisis de varianza cuantifica esas contribuciones y las compara para determinar la influencia de las variables, construyéndose una tabla como la siguiente:

La tabla anterior es para una variable. Se pueden agregar mas variables como se vera mas adelante.

Los parámetros se estiman de la siguiente manera:

$$SST = \sum y_i^2 - G^2/N$$

$$SSA = (\sum y_i^2/n) - G^2/N$$

$$SSE = SST - SSA$$



Donde:

$G$  = Gran total =  $\zeta y$

$N$  = Número de datos totales.

$G^2/N$  = Factor de corrección.

### 3.5.2 METODO DE BLOQUES.

Ahora el método cambia ya que al tener dos variables, la ecuación es:

$$SST = SSA + SSB + SSE$$

Las ecuaciones individuales de la tabla de ANOVA permanecen igual.

La prueba F tiene limitaciones que se tienen que tomar en cuenta. La prueba F sólo compara y dice si se acepta o no la hipótesis pero no indica que tan válida es la prueba si los valores de tablas y los reales son muy cercanos o muy lejanos. La prueba F nos lleva a considerar sólo si el factor afecta al proceso cuando puede ser que no y no a la inversa. Por esto se necesitan de pruebas adicionales apoyo como:

- a) Por ciento de contribución.
- b) Arreglos ortogonales.

La porción de la variación total observada en un experimento, atribuida a cada factor significativo y/o interacción esta reflejada en la contribución porcentual. El por ciento de contribución es una función de la suma de cuadrados de cada artículo significativo, el por ciento de contribución indica la fuerza relativa de un factor y/o interacción para reducir la variación.

Si los niveles del factor y/o interacción fueran controlados adecuadamente, entonces la variación total puede ser reducida por la cantidad indicada por el por ciento de contribución.

Cuando se usa un experimento, para resolver un problema de producción, la variación total observada deberá representar más del 75% de la variación observada en la producción. Este es un indicador, pero no una certeza, de que se incluyeron los factores apropiados en el experimento.

Se considera que la varianza debida a un factor o interacción contiene alguna cantidad de error, así para un factor A:

$$VA = VA' + Ve$$

Donde VA' es la cantidad esperada de varianza debido únicamente al factor A.

Así:

$$VA' = VA - Ve$$

Recordando que la definición de varianza para el factor A, es:

$$VA = SSA/ν_A$$

Entonces:

$$VA = SS' A/ν_A$$

Y entonces

$$SS' A/ν_A = SSA/ν_A - Ve$$

Y si resolvemos SS'A

$$SS'A/ν_A = SSA - (ν_A)(Ve)$$

SS'A/ν\_A es la suma esperada de cuadrados debido al factor A.

La contribución porcentual se calcula como"

$$P = (SS'A/ν_A / SST) \times 100$$

Se adicionan entonces dos columnas más a la tabla de ANOVA para incluir estos

#### b) Arreglos ortogonales.

La prueba F sólo define, en una comparación, la hipótesis de validez de influencia o no de una variable. Pero si esa variable son tres máquinas o tres operarios o cuatro catalizadores, ¿son estos consientes individualmente?. Muchas pruebas de decisión industriales busca comparar diferentes comportamientos de materiales, máquinas o condiciones para determinar cual es mejor. Evidentemente esta decisión no la da la prueba F

Este apoyo lo dan los contrastes ortogonales. Son ortogonales por que garantizan independencia comparando la hipótesis de equivalencia entre variables.

Se requiere varias condiciones:

- Deberán aplicarse en matrices cuadradas y completas.
- Sólo se podrán generar tantas comparaciones (contrastos) como ecuaciones existen.

La secuencia de operaciones para los contrastes es:

$$SSK1 = \frac{\sum(T)^2}{N} - \frac{\sum(Ci)^2}{n}$$

Donde:

$\sum(T)^2$  es la suma del contraste al cuadrado (p.e. si los contrastes son  $C1 + C2 - 2C3 = 0$ , entonces

$\sum(T)^2$  será la suma algebraica de los tratamientos al cuadrado).

$n$  la cantidad de tratamientos.

$\sum(Ci)^2$  es la suma de los coeficientes de los contrastes de la ecuación original cada uno al cuadrado.

Ya que  $SSK / GL$  será igual a  $\sigma^2$ , y como los G. L. del contraste ortogonal es uno, entonces  $MSK1 = \sigma^2$ .

Entonces la razón  $F = MSK1 / MSE$  con  $F_{1,k,\alpha}$

### 3.5.3. CUADRADO LATINO.

Ahora complicaremos el problema, adicionando una variable mas dentro del arreglo. Cuando en un arreglo se manejan tres variables; A y B serán factores de variabilidad no deseada, y C un factor de estudio, un cuadro latino nos puede ayudar.

Una restricción de aleatoriedad del cuadrado es que no se deben repetir ni en líneas ni en columnas un mismo factor y que los arreglos, por esta razón, de las variables ya están definidas,

El cálculo de la variable C es idéntico a los de A y B; solamente sumamos los niveles para calcular sus tratamientos y aplicamos las fórmulas normalmente.

### 3.6 TIPOS DE EXPERIMENTOS.

#### 3.6.1 EXPERIMENTOS FACTORIALES.

Todos realizamos experimentos, desde usar un papel pH y ver su cambio de color. Medimos la fuerza necesaria para mover un block sobre la mesa. El jugador experimenta con diferentes bats y pelotas cuando juega béisbol. Buscamos mejorar nuestra experiencia, es decir la calidad de nuestros diseños y procesos. Mejorar significa:

- Optimizar el valor de respuesta promedio. El diseño experimental busca identificar cuales son las combinaciones o ajustes de niveles de los factores clave que produzcan el mejor valor promedio de las características de producto o proceso de interés
- Minimizar el efecto de la variabilidad en el proceso o el comportamiento del producto. Esto también se denomina diseño robusto, y consiste en hacer al producto / servicio insensible a las variaciones externas.

Así podemos decir que un experimento es cualquier acto de observación. Es decir, es una serie de pruebas y evaluaciones que producen respuestas cuantificables.

#### 3.6.2 EXPERIMENTACION CIENTIFICA TRADICIONAL.

La forma tradicional de experimentar es variar un factor a la vez, manteniendo los otros fijos, caso que no siempre es el adecuado. Este tipo de experimento aparece en la tabla siguiente:

	Niveles de factores			Respuesta
	A	B	C	
Corrida				
1	1	1	1	Y 1
2	2	1	1	Y 2
3	1	2	1	Y 3
4	1	1	2	Y 4

¿Cómo se lleva a cabo esto?. Si el valor 1 es el nivel menor de la variable y el 2 el superior, el experimentador desea variar un nivel de la variable a la vez, manteniendo constantes las demás.

Supongamos, que hablamos de la resistencia de una viga y que los resultados son:

	Niveles de factores			Respuesta
	A	B	C	
Corrida				
1	1	1	1	125
2	2	1	1	100
3	1	2	1	130
4	1	1	2	105

De acuerdo con esta información, decimos que la respuesta se maximiza con la corrida 3 (A y C en 1 y B en 2). Así mismo, en la tabla se ve que al cambiar A de 1 a 2 y manteniendo B y C en 1 disminuye el valor de la resistencia en 25 (125-100) otras relaciones pueden ser determinadas.

Si embargo, esto se puede complicar, supongamos que A y B interactúan, es decir, que no tienen efectos independientes sino que el efecto de un factor sobre la resistencia es afectado por el nivel de otro factor. Supongamos que las contribuciones de A y B sean:

#### CONTRIBUCION DE LA RESISTENCIA DE A Y B

##### NIVEL

A	B	
1	1	55
1	2	60
2	1	30
2	2	90

Y que C contribuya en su nivel 1 con 70 y en 2 con 50. Entonces:

	Nivel de factores			Respuesta
	A	B	C	
Comida				
1	1	1	1	$55 + 70 = 125$
2	2	1	1	$30 + 70 = 100$
3	1	2	1	$60 + 70 = 130$
4	1	1	2	$55 + 50 = 105$

De acuerdo a lo anterior nuevamente que la maximización la da comida 3 con A1 B2 y C1. Sin embargo si utilizamos A2 B2 y C1 la respuesta se maximiza ( $90 + 70 = 160$ ). ¿En qué fallamos?, en usar un diseño equivocado. Tenemos 3 variables (A, B y C) y dos niveles (1 y 2). Así que deberían existir  $2^3 = 8$  comidas. Los niveles pueden ser continuos (temperatura, presión densidad, etc.) o discretos (máquina A o B, operario 1 o 2, etc.) la respuesta (característica importante o relevante la cual es función de los parámetros), será continua.

Un diseño se muestra en la siguiente tabla.

Comida No	Niveles de Factores			Respuesta
	A	B	C	
1	1	1	1	Y1
2	1	1	2	Y2
3	1	2	1	Y3
4	1	2	2	Y4
5	2	1	1	Y5
6	2	1	2	Y6
7	2	2	1	Y7
8	2	2	2	Y8

Este diseño tiene la propiedad de ser ortogonal es decir permite la estimación de los efectos promedios de los factores sin temer que los resultados se distorsionen por los efectos de otros factores. ¿Cómo podemos determinar la ortogonalidad?

Dentro de la tabla anterior hacemos un truco: los 1 se cambian por -1 y los 2 por 1. Al substituir multiplíquese los valores de cada línea y súmese a los valores de la siguiente línea, hasta completarlo. Si la suma total es 0 se dice que las columnas (efectos) son ortogonales.

El efecto de un factor sobre la respuesta es el cambio en la respuesta cuando el valor va de menos a más. Ese efecto sobre la respuesta se mide, para cada columna:

Efecto A = promedio de los valores "2" de A menos el promedio de los valores "1" de A

Ejemplo:

El rendimiento de una reacción química se considera como una función de tres variables:

Formulación (F).

Velocidad de mezcla (S).

Temperatura (T).

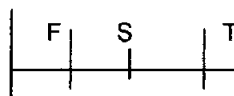
Se llevo a cabo un experimento de 8 corridas, 2 niveles y 3 factores; los resultados de la experimentación, son:

Nivel	Formulación	Velocidad de Mezcla	Temperatura
1	A	60 r.p.m.	70°
2	B	80 r.p.m.	82°

La combinación de factores da como resultado los valores de la tabla anexa (tabla 1).

La tabla es en sí muy específica para su llenado. Se colocan los valores del rendimiento de cada línea en los espacios en blanco y se realizan las operaciones indicadas en la parte inferior. El efecto, se indicó, se calcula con el valor de 2 menos el valor del nivel 1

El primer indicador es justamente el efecto. Los efectos grandes nos van a indicar variables con mayor influencia, siendo entonces el primer indicador de su influencia en el proceso. Para definir y visualizar esta influencia, se gráfica de la siguiente manera



Dependiendo el tipo de característica (LB, HB o NB), la gráfica ayuda para indicarnos que nivel debemos considerar para maximizar (minimizar) la respuesta. Obsérvese que en esta ejemplo no se consideraron interacciones

### 3.6.3 REPLICANDO EXPERIMENTOS.

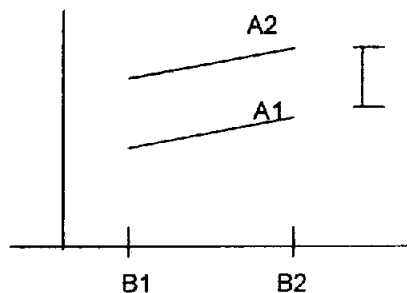
En el ejemplo anterior se uso valor de respuesta. Este es un caso limitado, por las siguientes razones:

1. Los valores individuales tienen menos variabilidad que las medidas individuales.
2. Sin replicaciones, un solo dato puede distorsionar todo el análisis.
3. Datos de experimentos replicados pueden ser usados para determinar la variabilidad del proceso.
4. Con replicaciones se puede determinar cuales datos afectan la variabilidad y cuales el promedio.

### 3.6.4 INTERACCIONES DE FACTORES.

Cuando un factor afecta a la respuesta independientemente de los otros se dice que es aditivo. Sin embargo, algunas veces existe influencia de uno con otro, p e , que es un oxidante sea más efectivo a baja que alta temperatura. Cuando el efecto de un factor es influido con el nivel de otro factor, decimos que hay una interacción.

Los experimentos ortogonales te protegen contra un valor que artificialmente afecte al estimado de otro factor, pero no siempre protegen contra interacciones entre factores. Veamos los tipos de interacciones:





¿Cómo se involucran las interacciones en una tabla de respuesta?

De la matriz donde aparecen los -1 y 1, nos será útil para calcular interacciones. Estas se generan multiplicando cada línea de las columnas para formar la interacción (es decir, A y B para formar AB). La tabla siguiente nos da los factores especiales e interacciones:

Orden	Efectos Principales				Interacciones	
Cuenta	A	B	C	AB	AC	BC
1	-1	-1	-1	1	1	1
2	-1	-1	1	1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1	1	-1
4	-1	1	1	-1	-1	1
5	1	-1	-1	-1	1	-1
6	1	-1	1	-1	1	-1
7	1	1	-1	1	-1	-1
8	1	1	1	1	1	1

### 3.6.5 GRAFICAS NORMALES DE EFECTOS ESTIMADOS.

Una vez determinados factores e interacciones surge una pregunta interesante: ¿Son realmente esos factores los que afectan o sólo son un resultado aleatorio? Para responder esto tenemos que graficar en papel para probabilidad normal según la siguiente técnica:

1. Ordéñese los efectos de los factores del más pequeño al más grande (-8 es mayor que -1.8).
2. Grafique los puntos en el papel de probabilidad, en el eje x de la gráfica se identifican los factores y en el eje y se grafican la escala de 7 (15) efectos.
3. Se suavizan los puntos con una línea recta.
4. Puntos que están cercanos a la línea, no demuestran cualquier efecto significativo sobre la respuesta, aunque deberemos ser precavidos y reexperimentar par confirmar la respuesta.

Ejemplo: Un ingeniero desea maximizar el esfuerzo a la adhesión cuando se monta un circuito integrado sobre un substrato de vidrio metalizado. Cuatro factores son identificados como potencialmente afectando el esfuerzo: tipo adhesivo, material conductor tiempo de curado y posteriormente del circuito integrado. El ingeniero decidió llevar un experimento de ocho corridas, usando dos niveles para cada uno de los cuatro factores. La variable respuesta será la adhesión medida en libras..Así los factores son:

Orden aleatorio de la corrida	Orden estándar	Tipo de adhesivo	Material conductor	Tiempo de curado	Post recubrimiento
	1	D2A	Cobre	90	Estaño
	2	D2A	Cobre	120	Plata
	3	D2A	Níquel	90	Plata
	4	D2A	Níquel	120	Estaño
	5	HIE	Cobre	90	Plata
	6	HIE	Cobre	120	Estaño
	7	HIE	Níquel	90	Estaño
	8	HIE	Níquel	120	Plata

Orden estándar	Esfuerzo de adhesión	Medida de la muestra
1	73.0,73.2,72.8,72.2,76.2	
2	87.7,86.4,86.9,87.9,86.4	
3	80.5,81.4,82.6,81.3,82.1	
4	79.8,77.8,81.3,79.8,78.2	
5	85.2,85.0,80.4,85.2,83.6	
6	78.0,75.5,83.181.2,79.9	
7	78.4,72.8,80.578.4,67.9	
8	90.2,87.4,92.9,90.0,91.1	

### 3.7 DISEÑOS FACTORIALES FRACCIONADOS.

En el tema anterior vimos que si tenemos tres variables, generamos ocho pruebas, cuatro generan dieciséis etc.; de tal forma que el modelo es  $K = N^o$  de pruebas, el cual incluye sus interacciones; sin embargo en un experimento con ocho variables necesitamos doscientos cincuenta y seis columnas para caracterizarlo completamente; obviamente no sólo es imposible sino poco factible. El experimentador consciente buscará minimizar sus corridas experimentales y eliminar variables o interacciones innecesaria, aunque esto confunda la relaciones (confounding).

Veamos la matriz con tres variables y ocho pruebas.

Orden	Efectos Principales			Interacciones			
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
2	-1	-1	1	1	-1	-1	1
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1
4	-1	1	1	-1	-1	1	-1
5	1	-1	-1	-1	-1	1	1
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1
7	1	1	-1	1	-1	-1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1

### 3 8 ANALISIS DE VARIANZA EN EL DISEÑO

Cuando tenemos una hipótesis, es común encontrar paralelo a ella un error por el hecho de tomarla:

Error tipo I –Aceptar una falsa hipótesis alternativa.

Error tipo II –Aceptar una hipótesis nula falsa.

Un buen experimento debe mantener la probabilidad de ambos errores a un buen nivel; aunque esto es imposible ya que la disminución de uno incrementa al otro.

En este caso la hipótesis nula será que el factor bajo consideración no tiene efecto significativo en la respuesta. La hipótesis alternativa será que el factor tiene un efecto significativo en la respuesta.

Efecto significativo significa que es improbable que el estimado observado del efecto podría ser tan grande como es solo por casualidad es decir que hay evidencia de un factor real.

Sin embargo no establecía un criterio de que si un punto se saliese del comportamiento lineal, cuando significase esta discrepancia para ser considerado como influyente este factor.

Esto lo resolveremos con una tabla de ANOVA, pero con un criterio distinto, es decir, ya no por la discrepancia al modelo de la línea recta sino distinto, es decir, ya no por la discrepancia al modelo de la línea recta sino cuando este estimado defiere de cero.

Para esto seguiremos el siguiente proceso:

- a) Construir una tabla de ANOVA de la siguiente manera:

Columna de la tabla de respuesta	Factores	Estimado del efecto	Cuadrado del estimado
1	A		
2	B		
3	C		
4	AB = CD		
5	AC = BD		
6	AD = BC		
7	D		

- b) Se asigna un grado de libertad a cada factor.
- c) Se empieza a acumular ( pooling up ) partiendo de los valores más pequeños de el (acumulando también los grados de libertad ) y se mide estadísticamente la prueba comparando con diferentes valores de F (1%, 5 %, etc.).
- d) La F de comparación se calcula como  $F_{1,k,\%}$  donde K son los valores o variables que no influyen. Valores calculados de F mayores que la tabla F sugieren que el factor tiene influencia en la respuesta.

Cuando se usan experimentos replicados, el no efectos E 2 se basa en las varianzas de la muestra calculada para cada punto en el diseño experimental. Las varianzas de la muestra son los cuadrados de las desviaciones estándar de la muestra.

La fórmula para calcular el no efecto E 2 basadas en las varianzas individuales de la muestra es:

$$E 2 = 4s^2 / N$$

Donde  $S^2$  es el promedio de las varianzas de la muestra calculadas al punto experimental  $y_i$  y N es el número de pruebas realizadas (número de puntos experimentales diferentes por el número de replicaciones). Los grados de libertad para el no efecto es el igual a N menos el número de diferentes experimentos.

### 3.9 METODO TAGUCHI

Hemos visto la estrategia de los estadistas occidentales sobre el DOE (aunque ya en la sección anterior se uso una contribución del método Taguchi, la relación S/N). Ahora veremos el punto de vista del Dr. Taguchi, los puntos de cómo se lleva a cabo el experimento, en general son comunes a los diseños factoriales, aquí podremos comentar y definir las diferencias.

Pasos en el diseño, conducción y análisis del experimento, son:

1. Selección de los factores e interacciones a ser evaluados.
2. Selección del número de niveles en los factores.
3. Selección del AO apropiado.
4. Asignación de factores y/o interacciones a las columnas.
5. Conducir la prueba.
6. Analizar los resultados.
7. Confirmar el experimento.

### 3.9. 1. SELECCIÓN DE FACTORES Y/O INTERACCIONES.

La determinación de cuáles factores investigar recae sobre las características de interés del producto o proceso. Existen varios métodos para determinar estos factores.

- Tormenta de ideas.
- Diagrama de flujo
- Diagrama causa-efecto.

### 3.9. 2 SELECCIÓN DEL NUMERO DE NIVELES.

Normalmente se manejan dos niveles, al inicio, para disminuir el tamaño del experimento original. Hay que recordar que el número de grados de libertad para un factor, es el número de grados de libertad menos 1, aumentando el número de niveles para un factor, se aumenta el número de grados totales para un experimento, el cual es función del número total de pruebas. Un grado de libertad para cada factor, minimiza el número de pruebas.

### 3.9. 3 SELECCIÓN DEL AO.

Grados de libertad – La selección del AO a usar depende de éstas características:

- a) El número de factores e interacciones de interés.
- b) El número de niveles de los factores de interés.

Estos dos puntos determinan el total de grados de libertad requeridos para todo el experimento. Hay que recordar que el número de grados de libertad para cada factor es el número de niveles menos 1.

$$VA = KA - 1$$

Los grados de libertad para una interacción, es el producto de los grados de libertad de los factores involucrados.

$$VAXB = (VA) (VB)$$

El mínimo de grados de libertad requeridos para el experimento es la suma de todos los grados de libertad de las interacciones y los factores.

Arreglos ortogonales.

Para dos niveles existen:

L4 L8 L12 L16 L32

Para tres niveles son:

L9 L18 L27

La letra L significa "latin" (del arreglo); el número indica la cantidad de pruebas. Los grados totales de libertad disponibles en un AO es igual al número de pruebas menos 1.

$$VLN = N - 1$$

#### Selección del AO

Cuando un arreglo particular es seleccionado para un experimento, la siguiente desigualdad debe ser satisfecha:

$VLN \geq v$  requeridos para factores e interacciones.

Para esto, primero decidimos usar un arreglo de dos o tres niveles. Cuando los grados de libertad requeridos estén intermedios entre dos arreglos, se elegirá el siguiente arreglo mayor. Cuando las interacciones requieran un arreglo ortogonal mayor se deberá buscar el mejor que limite o elimine o defina su separación.

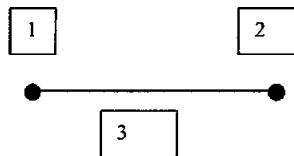
#### 3.9. 4 ASIGNACION DE FACTORES E INTERACCIONES.

Taguchi ha encontrado dos herramientas para ayudar en la asignación de factores e interacciones

- a) Gráficas lineales.
- b) Gráficas triangulares.

Cada AO tiene un conjunto específico de gráficas lineales y tablas triangulares asociadas con él. Las gráficas lineales indican varias columnas a las que los factores pueden ser asignados y las columnas consecuentemente evaluadas en las interacciones que generan. Las tablas triangulares contienen todas las posibilidades interacciones entre factores (columnas).

El más simple AO es el L4 con gráfica lineal como esta:

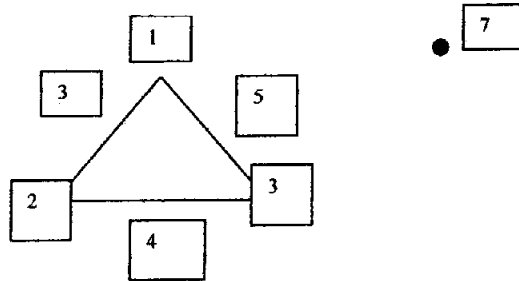


Esta gráfica que el factor A se coloca en la columna 1, el factor B en 2 y la interacción AxB en 3.

Recuerdese que un experimento L4 tiene cuatro corridas y tres columnas.

El punto representa factor, y además que se tiene una columna disponible para un factor de dos niveles con un grado de libertad. La línea representa la columna donde se evalúa la interacción de los dos niveles que une.

El siguiente AO es el de L8, donde se aprecia la posible combinación de asignación de factores.



Tablas triangulares.

Las tablas triangulares en listan todas las relaciones posibles de las columnas de interacción. La siguiente es una tabla triangular L4:

COLUMNA	2	3
1	3	2
2	1	1

El primer factor asignado a un AO puede ser colocado en cualquier columna, la 2 por ejemplo. La tabla indica que la interacción de  $A \times B$  estará en 1. Cualquier asignación de factores A y B matemática y estadísticamente equivalente. Todas las gráficas de dos niveles funcionan exactamente igual.

Confusión de efectos principales e interacciones.

Para ver esto utilizaremos el ejemplo de la tabla L8. Supongase que tenemos 3 variables A, B y C.

Entonces según el L8 se colocan en 1, 2 y 4 (véase los vértices del triángulo), la tabla triangular (véase el apéndice), localice la interacción triple  $A \times B \times C$ , encontrando que la interacción del factor A y la interacción  $B \times C$ . Otras combinaciones darán lo mismo:



$$A \times (B \times C) = A \times B \times C$$

1	6	7
---	---	---

$$B \times (A \times C) = A \times B \times C$$

2	5	7
---	---	---

$$C \times (A \times B) = A \times B \times C$$

4	3	7
---	---	---

La asignación resultante queda:

Columna:						
1	2	3	4	5	6	7
A	B	AxB	C	AxC	BxC	AxBxC

Si un factor D, se agrega, se asigna inmediatamente a 7 y automáticamente se confunde con AxBxC. Cualquier otra elección confundirá a D con una interacción doble. Una interacción triple es poco probable de ocurrir y si así fuera, sería de menor magnitud que el factor principal:

COLUMNA						
1	2	3	4	5	6	7
A	B	AxB	C	AxC	BxC	AxBxC
BxCxD	AxCxD	CxD	AxBxD	BxD	AxD	D

Al agregarse una quinta variable, evidentemente la confusión crece más. Las únicas columnas disponibles son 3, 5 y 6, entonces el asignar E lo estamos confundiendo con una interacción doble. El apéndice la tabla de resolución nos indicará mejor estas condiciones.

### 3.9.5 CONDUCIENDO EL EXPERIMENTO.

Una vez que los factores son asignados, se deberá seguir una estrategia específica. Aunque los factores se asignan a la columna la estrategia de experimentación se da en las líneas. Lo aleatorio de las corridas y su réplica es fundamental para que los factores no controlados o desconocidos que varían en el experimento no varíen en el resultado. La elección del tipo de aleatorización (completa, repetición simple, completa entre bloques) puede afectar la ANOVA, sin así serlo.

### 3.9.6 ANALIZANDO RESULTADOS.

Una vez considerada la experimentación y la elaboración de la tabla de ANOVA, se procede a estimar los errores de la varianza, a esto se denomina acumular errores.

Se toma, en la columna de F el menor efecto contra el más grande para verificar si la significancia existe. Si ninguna F significativa existe, entonces los dos efectos menos significativos se acumulan para evaluar al siguiente más grande, hasta que una relación significativa existe.

### 3.9.7 CONFIRMACION DEL EXPERIMENTO.

Esta es la última parte de la experimentación. Las condiciones óptimas son ajustadas por los factores significativos, así como, a sus niveles y varias pruebas se hacen bajo condiciones constantes. El promedio del experimento de confirmación, se compara con el resultado dado. Este es un paso importantísimo y no debe ser omitido.

Por ejemplo:

Una fundición de pistones de aluminio tenía problemas al final del proceso de fabricación, ya que no se obtenía la dureza adecuada para un producto particular. La dureza se media en la escala Rockwell B. Los ingenieros se interesaron en el efecto del contenido de magnesio y cobre en la dureza de la fundición. Según especificaciones el contenido de cobre podría ser de 3.5 a 4.5% y el contenido de magnesio podría ser de 1.2 a 1.8%.

A = % de Cobre

A1 = 3.5

A2 = 4.5

B = % Magnesio

B1 = 1.2

B2 = 1.8

Los datos experimentales fueron:

Columna	A1	A2
B1	76,78	73,74
B2	77,78	79,80

La variación total se descompone en:

$$SST = SSA + SSB + SS_{A \times B} + SSe$$

Podríamos resolver el problema con un arreglo L4, sin embargo consideraremos un arreglo L8. La tabla anterior codificada (x-70) queda:

Columna	A1	A2
B1	6,8	3,4
B2	7,8	9,10

Que en un L4 quedará:

	Factores			Datos
Pueba	A	B	AxB	(Y-70)
1	1	1	1	6,8
2	1	2	2	7,8
3	2	1	2	3,4
4	2	2	1	9,10

En un L8 sería:

Factores e Interacciones

A            B            AxB

		Column a						
Prueba	1	2	3	4	5	6	7	Y
1	1	1	1	1	1	1	1	6
2	1	1	1	2	2	2	2	8
3	1	2	2	1	1	2	2	7
4	1	2	2	2	2	1	1	8
5	2	1	2	1	2	1	2	3
6	2	1	2	2	1	2	1	4
7	2	2	1	1	2	2	1	9
8	2	2	1	2	1	1	2	10

Calculamos los SS, con ayuda de los parámetros (tabla codificada).

$$A1 = 29$$

$$B1 = 21$$

$$T = 55$$

$$A2 = 26$$

$$B2 = 34$$

$$NA1 = 4$$

$$NB2 = 4$$

$$N = 8$$

$$NA2 = 4$$

$$NB2 = 4$$

La variación total:

$$SST = \sum y^2 - T^2/N = 62 + 82 + \dots + 102 = 552 / 8 = 40.875.$$

$$SSA = \sum (\sum A_i^2 / n_{A_i}) - T^2/N = (292 + 262) / 4 - 552 / 8 = 1.1125.$$

Para este caso especial, un experimento de dos variables con tamaño de nuestras iguales, la formula se puede codificar en:

$$SSA = (A_1 - A_2)^2 / N$$

Así:

$$SSA = (29 - 26)^2 / 8 = 1.125$$

Y

$$SSB = (B_1 - B_2)^2 / N = (21 - 34)^2 / 8 = 21.125.$$

Para la interacción nos queda:

$$SS_{A \times B} = \sum (\sum A_i B_j^2 / n_{A_i B_j}) - (T^2/N) - SSA - SSB$$

Así

$$A_1 B_1 = 14$$

$$A_2 B_1 = 7$$

$$A_1 B_2 = 15$$

$$A_2 B_2 = 19$$

El incluir un LB, deja pendientes las columnas 4, 5, 6 y 7, entonces:

$$SS_4 = (41 - 42)^2 / N = (25 - 30)^2 / 8 = 3.125$$

$$SS_5 = (51 - 52)^2 / N = (27 - 28)^2 / 8 = 0.125$$

$$SS_6 = (61 - 62)^2 / N = (27 - 28)^2 / 8 = 0.125$$

$$SS_7 = (71 - 72)^2 / N = (27 - 28)^2 / 8 = 0.125$$

$$SS_e = SS_4 + SS_5 + SS_6 + SS_7 = 3.50$$

La tabla de ANOVA queda:

Fuente	Factores	v	V	F
A	1.125	1	1.125	
B	21.125	1	21.125	
AxB	15.125	1	15.125	
COL4	3.125	1	3.125	
COL5	0.125	1	0.125	
COL6	0.125	1	0.125	
COL7	0.125	1	0.125	
Total	40.875	7		

Si acumulamos el error queda:

Fuente	Factores	v	V	F
B	21.125	1	22.83 <sup>a</sup>	
AxB	15.125	1	16.35 <sup>b</sup>	
Ep	4.625	5		
T	40.875	7		

A al 99% de confianza.

B al 95% de confianza.

Evidentemente falta replicar para tener más información.

Taguchi, ha incluido en sus análisis los factores de ruido, anteriormente los ingenieros trataban a los factores de ruido controlandolos y aislaban componentes sensibles a las vibraciones, acondicionaban lugares en los cuales la temperatura era un factor clave o aseguraban las consistencias de materias primas a través de inspección intensa. Taguchi propone que tales acciones de control sean usadas como último recurso, ya que frecuentemente son muy costosos.

En lugar de esto él recomienda que, a través de la experimentación, se busquen los niveles de los parámetros de diseño que minimizan el impacto de los factores de control son entonces ajustados a aquellos niveles que hagan al producto robusto insensible a los factores de ruido.

Tres enfoques han sido sugeridos para diseñar experimentos en factores de control de ruido:

**Enfoque 1:**

No has el intento de controlar los factores de ruido durante el experimento. En lugar, corre pruebas replicadas para combinaciones seleccionadas de factores de control y mide la variabilidad del proceso con la medición de desviaciones estándar calculadas para cada punto experimental. El medio ambiente en el cual el experimento es llevado a cabo deberá ser tan cercano al uso actual o al proceso de manufactura como sea posible.

**Enfoque 2:**

Identifica factores de ruido, previos a la experimentación e incluye tanto a los factores de ruido con los de control en el diseño experimental. P.e; si hay seis factores de control y dos de ruido, un experimento de 16 corridas puede ser llevado. Deberán evaluarse las interacciones y ajustar los niveles de los factores de control que minimicen el efecto de los factores de ruido.

**Enfoque 3:**

Seleccione un diseño experimental para los factores de control. Taguchi llamó esta matriz de diseño como arreglo interno. Seleccione un segundo diseño experimental para los factores de ruido. A esto se le llama arreglo externo, para cada combinación de factores en el arreglo interno corre la combinación de factores en el arreglo externo.

Existe un gran debate sobre el mejor enfoque. El enfoque 3 propuestos por Taguchi, puede verse como un caso especial del enfoque, en el cual las restricciones son impuestas en la asignación de factores a las columnas de una matriz de diseño.

Los arreglos tanto internos como externos son ortogonales por lo que no hay confusión entre variables o interacciones. Sin embargo, el enfoque 3 requiere una gran cantidad de pruebas y a pesar de esto si existirá confusión entre factores e interacciones.

Hay autores que recomiendan más el enfoque 1 y 2. Factores de ruido considerados críticos deberán ser tratados como factores de control si es posible. La variabilidad debida a los factores de ruido los cuales no son controlados, pueden estos evaluarse replicando el experimento y calculando desviaciones estándar en cada punto.

### 3.10 UN ENFOQUE FINAL

Hay un considerable debate sobre las diferencia entre diseño de experimentos tradicional y el enfoque Taguchi. Desafortunadamente, hay gente que ha exagerado esas diferencias fuera de proporción y reclama que los métodos occidentales son inefectivos o que los métodos Taguchi no son válidos. La verdad es que los métodos que Taguchi propone han sido usados por ingenieros durante años; pero Taguchi hizo esos diseños más atractivos para los ingenieros presentando casos de estudio en lugar de fórmulas matemáticas.

Sin embargo, tiene fuertes críticas y diferencias metodológicas por su complejidad, limitaciones y restricciones sobre su alcance así como confusión al momento de interpretar resultados, acusándolo también de resultados a corto plazo y limitaciones de interpretación de resultados.

No se trata de minimizar la labor del Dr. Taguchi pero quizá su mayor aportación sea el que haya hecho conciencia del valor de usar los diseños experimentales para evaluar el impacto de los factores sobre el producto y la variabilidad del proceso.

Se deja al estudiante revisar y evaluar los argumentos sobre la validez los métodos de experimentación, así como sus fuerzas y debilidades.



**CAPITULO 4**

---

**DESARROLLO Y RESULTADOS**

#### 4.1 PRIMER DISEÑO PARAMETRICO

**OBJETIVO.** TRABAJAR CON UN CPK DE 1.33 EN EL PROCESO DE SOLDADURA DE REMACHES (PERNOS NELSON) Y , POR OTRA PARTE DISMINUIR EL PORCENTAJE DE RECHAZO DE REMACHES ROTOS DE UN 55% A 0 %

##### CARACTERISTICAS DE CALIDAD:

- |                   |             |
|-------------------|-------------|
| 1) MAYOR ES MEJOR | (VARIABLES) |
| 2) MENOR ES MEJOR | (ATRIBUTOS) |

##### PARTICIPANTES

ING. ALBERTO CHAVEZ	(INGENIERÍA DE PROYECTOS)
ING. JAIME BADILLO	(INGENIERO DE CALIDAD)
LIC. MANUEL VAZQUEZ	(COORD. DE ESTADÍSTICA)
ING. LUIS SANCHEZ	(LABORATORISTA)
ELIAS RIVAS	(TÉCNICO SOLDADOR)

##### CONCLUSIONES OBTENIDAS POR EL GRUPO

- 1) ES NECESARIO AJUSTAR LOS PARÁMETROS DE LA MÁQUINA
- 2) LOS PARÁMETROS SON:

	NIVELES	
	I	II
A WELD	20.00	16.00
B % CURRENT	23.00	29.00
C MAN. P.	30.00	29.00

DOS POSIBLES INTERACCIONES

WELD CON % CURRENT

WELD CON P. MAN.

3) LA ESPECIFICACIÓN ES 120 N  
DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

NO. EXP.	A	B	AXB	C	AXC	Y
1	20.00	23.00	1.00	30.00	1.00	109.60
2	20.00	23.00	1.00	29.00	2.00	130.70
3	20.00	29.00	2.00	30.00	1.00	71.80
4	20.00	29.00	2.00	29.00	2.00	108.20
5	16.00	23.00	2.00	30.00	2.00	137.30
6	16.00	23.00	2.00	29.00	1.00	75.30
7	16.00	29.00	1.00	30.00	2.00	104.78
8	16.00	29.00	1.00	29.00	1.00	66.70

## ANALISIS GRAFICO

$$A1 = (109.6 + 130.7 + 71.8 + 108.2)/4$$

$$A1 = 105.08$$

$$A2 = (137.3 + 75.3 + 104.78 + 66.7)/4$$

$$A2 = 96.02$$

POR LO TANTO

$$A1 = 105.08$$

$$A2 = 96.02$$

PARA LAS B

$$B1 = (109.6 + 130.7 + 137.3 + 75.3)/4$$

$$B1 = 113.2$$

$$B2 = (71.8 + 108.2 + 104.78 + 66.7)/4$$

$$B2 = 87.87$$

POR LO TANTO

$$B1 = 113.2$$

$$B2 = 87.87$$

PARA LAS AXB

$$(AXB)1 = (109.6 + 130.7 + 104.78 + 66.7)/4$$

$$(AXB)1 = 102.95$$

$$(AXB)2 = (71.8 + 108.2 + 137.3 + 75.3)/4$$

$$(AXB)2 = 98.15$$

POR LO TANTO

$$(AXB)1 = 102.95$$

$$(AXB)2 = 98.15$$

PARA LAS C

$$C1 = (109.6 + 71.8 + 137.3 + 104.78)/4$$

$$C1 = 105.87$$

$$C2 = (1130.7 + 108.2 + 75.3 + 66.7)/4$$

$$C2 = 95.23$$

POR LO TANTO

$$C1 = 105.87$$

$$C2 = 95.23$$

PARA LAS AXC

$$(AXC)1 = (109.6 + 71.8 + 75.3 + 66.7)/4$$

$$(AXC)1 = 80.85$$

$$(AXC)2 = (130.7 + 108.2 + 137.3 + 104.78)/4$$

$$(AXC)2 = 120.24$$

POR LO TANTO

$$(AXC)1 = 80.85$$

$$(AXC)2 = 120.24$$

#### 4.2. CAMPEÓN DE PAPEL:

##### A1B1C1

SE VOLVIÓ A CORRER EL EXPERIMENTO Y EL RESULTADO FUE EL SIGUIENTE:

$$CPK = 2.1$$

$$LE = 120 N$$

$$X = 167.5$$

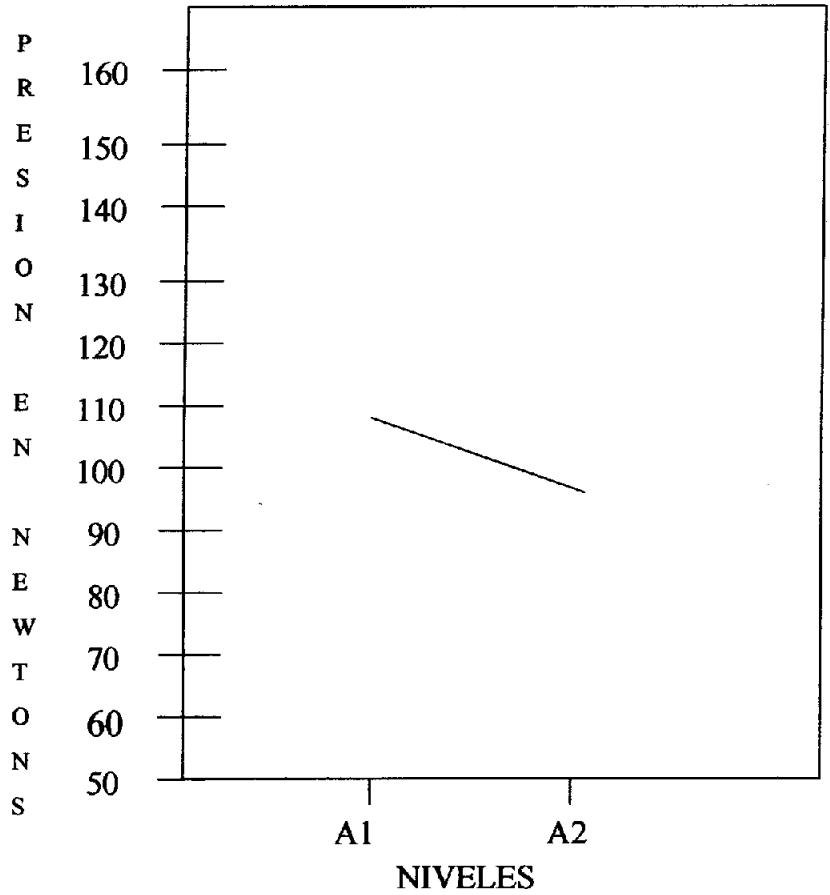
$$DESV = 7.54$$

**4.2.1 CONCLUSIONES Y RESULTADOS**

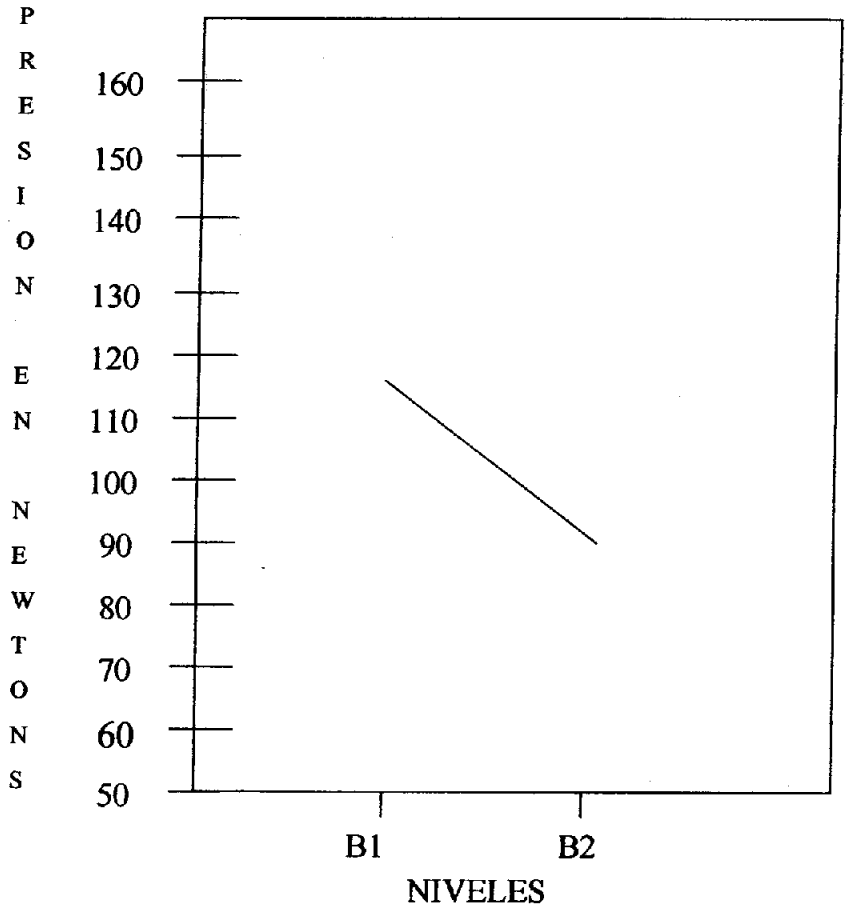
LA PRODUCTIVIDAD AUMENTO EN UN 203%  
EL PORCIENTO DE ACEPTACION RESULTANTE EN 86% AL AUMENTAR LA  
PRODUCTIVIDAD

EL COSTO EN PESOS FUE	\$ 278.11	DIARIO
EL AHORRO EN SCRAP FUE POR RECHAZO	\$ 56.17	DIARIO
EL COSTO DEL EXPERIMENTO	\$ 54.80	
LA GANANCIA APROXIMADA NETA	\$ 6,603.40	MENSUAL

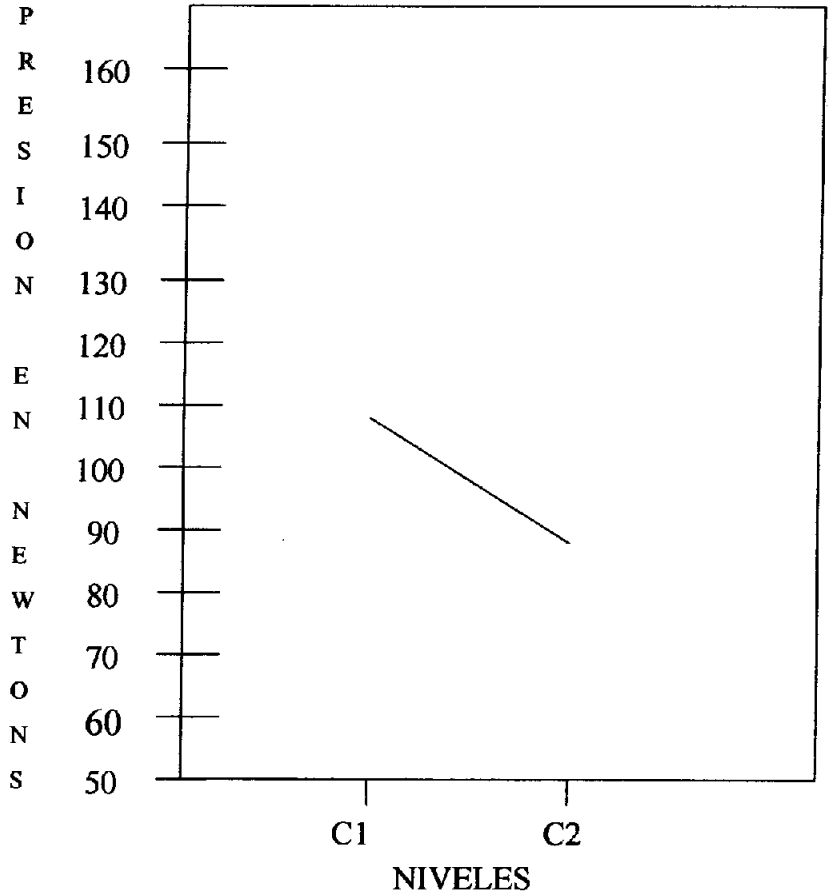
## ANALISIS GRAFICO DE A



## ANALISIS GRAFICO DE B

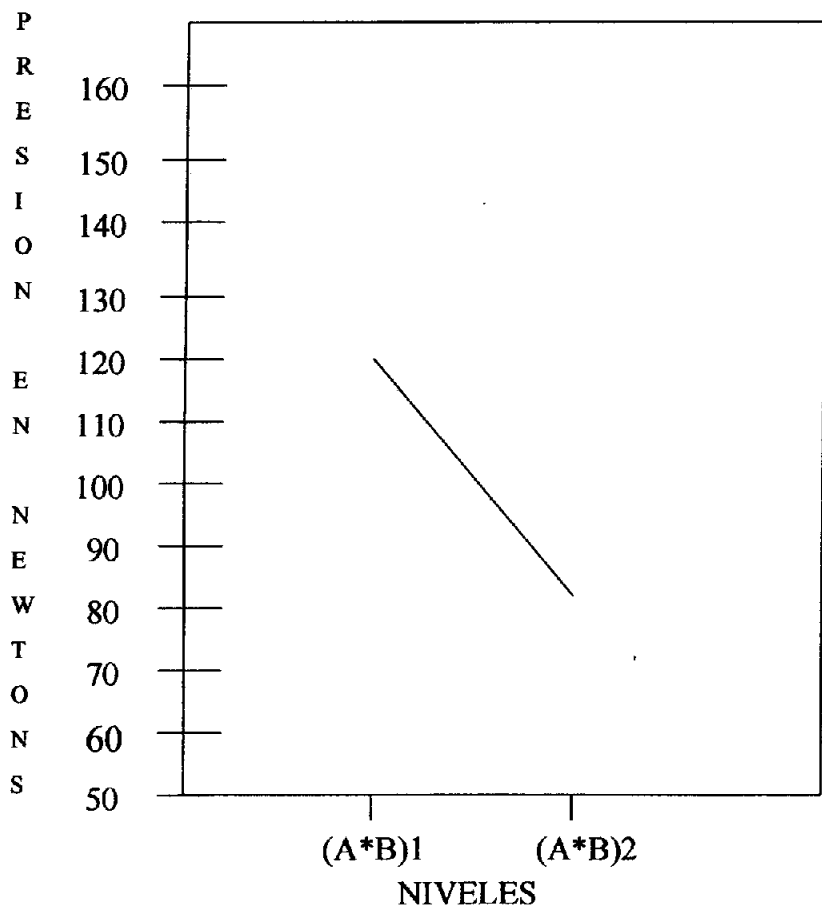


## ANALISIS GRAFICO DE C

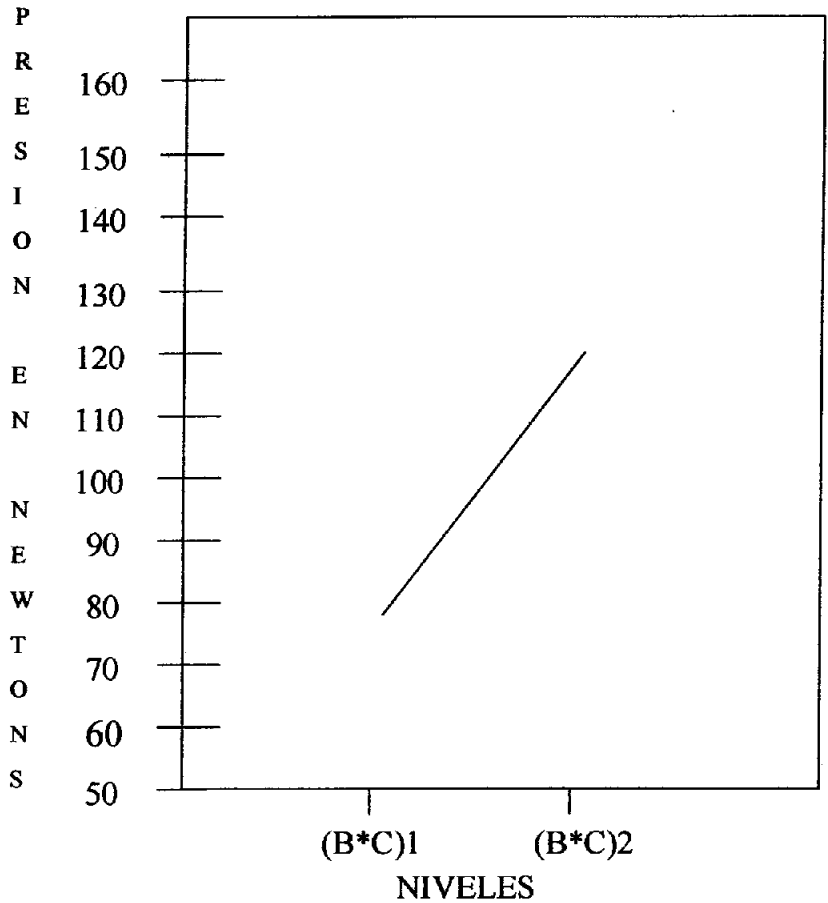




## ANALISIS GRAFICO DE A\*B



## ANALISIS GRAFICO DE B\*C



### 4.3 SEGUNDO DISEÑO PARAMETRICO

**OBJETIVO.** TRABAJAR CON UN CPK DE 1.33 EN EL PROCESO DE SOLDADURA DE REMACHES PARA EL ÁREA DE BRUSH-HOLDERS, POR OTRA PARTE DISMINUIR EL PORCIENTO DE RECHAZO DE REMACHES ROTOS DE UN 14% A 0 %

CARACTERISTICAS DE CALIDAD:

1) MAYOR ES MEJOR (VARIABLES)

2) MENOR ES MEJOR (ATRIBUTOS)

PARTICIPANTES

ING. ALBERTO CHAVEZ	(INGENIERÍA DE PROYECTOS)
ING. JAIME BADILLO	(INGENIERO DE CALIDAD)
LIC. MANUEL VAZQUEZ	(COORD. DE ESTADÍSTICA)
ING. LUIS SANCHEZ	(LABORATORISTA)
ELIAS RIVAS	(TÉCNICO SOLDADOR)

CONCLUSIONES OBTENIDAS POR EL GRUPO

- 1) ES NECESARIO AJUSTAR LOS PARAMETROS DE LA MAQUINA
- 2) LOS PARAMETROS SON:

		NIVELES		
		I	II	III
A	TRANSFORME R	2.00	3.00	1.0
B	SQUEEZE	36.00	52.00	49.00
C	WELD COUNT	07	08	09
D	HOLD COUNT	12.00	10.00	08
E	% CURRENT	30.00	10.00	20.00
F	% TOPCURRENT	70.00	65.00	75.00
G	UPSLOPE COUNT	08	06	04

## DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

NO DE EXP	A	B	C	D	E	F	G	Y
1	2	36	07	12	30	70	08	0.84
2	2	36	07	12	10	65	06	0.74
3	2	36	07	12	20	75	04	1.16
4	2	52	08	10	30	70	08	0.67
5	2	52	08	10	10	65	06	0.60
6	2	52	08	10	20	75	04	0.83
7	2	49	09	8	30	70	08	0.83
8	2	49	09	8	10	65	06	0.76
9	2	49	09	8	20	75	04	1.23
10	3	36	08	8	30	65	04	0.72
11	3	36	08	8	10	75	08	0.52
12	3	36	08	8	20	70	06	0.82
13	3	52	09	12	30	65	04	1.03
14	3	52	09	12	10	75	08	0.67
15	3	52	09	12	20	70	06	1.33
16	3	49	07	10	30	65	04	1.17
17	3	49	07	10	10	75	08	0.69
18	3	49	07	10	20	70	06	1.37
19	1	36	09	10	30	75	06	0.82
20	1	36	09	10	10	70	04	0.57
21	1	36	09	10	20	65	08	0.48

22	1	52	07	8	30	75	06	0.65
23	1	52	07	8	10	70	04	0.79
24	1	52	07	8	20	65	08	0.56
25	1	49	08	12	30	75	06	0.48
26	1	49	08	12	10	70	04	0.57
27	1	49	08	12	20	65	08	0.44

$$A1=(0.84+0.74+1.16+0.67+0.6+0.83+0.76+1.23)/9$$

$$A1 = 0.76$$

$$A2=(0.72+0.52+0.82+1.03+0.67+1.33+1.17+0.69+1.37)/9$$

$$A2 = 0.92$$

$$A3=(0.82+0.57+0.48+0.65+0.79+0.56+0.48+0.57+0.44)/9$$

$$A3 = 0.60$$

$$B1=(0.84+0.74+1.16+0.72+0.52+0.82+0.82+0.57+0.48)/9$$

$$B1 = 0.74$$

$$B2=(0.67+0.6+0.83+1.03+0.67+1.33+0.65+0.79+0.56)/9$$

$$B2 = 0.79$$

$$B3=(0.83+0.76+1.23+1.17+0.69+1.37+0.48+0.57+0.44)/9$$

$$B3 = 0.84$$

$$C1=(0.83+0.74+1.16+1.17+0.69+1.37+0.65+0.79+0.56)/9$$

$$C1 = 0.88$$

$$C2=(0.67+0.6+0.83+0.72+0.52+0.82+0.48+0.57+0.46)/9$$

$$C2 = 0.62$$

$$C3=(0.83+0.76+1.23+1.03+0.67+1.33+0.82+0.57+0.48)/9$$

$$C3 = 0.86$$

$$D1=(0.84+0.74+1.16+1.03+0.67+1.33+0.56+0.48+0.57)/9$$

$$D1 = 0.82$$

$$D2=(0.67+0.6+0.83+1.33+1.17+0.69+1.37+0.82+0.57)/9$$

$$D2 = 0.89$$

$$D3=(0.83+0.76+1.23+0.72+0.52+0.82+0.48+0.65+0.79)/9$$

$$D3 = 0.76$$

$$E1=(0.84+0.67+0.83+0.72+1.03+1.17+0.82+0.65+0.48)/9$$

$$E1 = 0.80$$

$$E2=(0.74+0.6+0.76+0.52+0.67+0.69+0.57+0.79+0.57)/9$$

$$E2 = 0.66$$

$$E3=(1.16+0.83+1.23+0.82+1.33+1.37+0.48+0.56+0.44)/9$$

$$E3 = 0.91$$

$$F1=(0.84+0.67+0.83+0.82+1.33+1.37+0.57+0.79+0.57)/9$$

$$F1 = 0.87$$

$$F2=(0.74+0.6+0.76+0.72+1.03+1.17+0.48+0.56+0.44)/9$$

$$F2 = 0.72$$

$$F3=(1.16+0.83+1.23+0.52+0.67+0.69+0.82+0.65+0.48)/9$$

$$F3 = 0.78$$

$$G1=(0.84+0.67+0.83+0.52+0.67+0.69+0.48+0.56+0.44)/9$$

$$G1 = 0.63$$

$$G2=(0.74+0.6+0.76+0.82+1.33+1.37+0.82+0.65+0.48)/9$$

$$G2 = 0.84$$

$$G3=(1.16+0.83+1.23+0.72+1.03+1.17+0.57+0.79+0.57)/9$$

$$G3 = 0.90$$

#### 4.3.1 CAMPEON DE PAPEL

A2,B3,C1,D2,E3,F1,G3

TRANSFORMER	3.00
SQUEEZE COUNT	49.00
WELD COUNT	07
HOLD COUNT	10.00
% CURRENT	20.00
% TOP CURRENT	70.00
UP SLOPE	4.00

#### 4.3.2 RESULTADOS OBTENIDOS

A) DE ACUERDO A LAS NECESIDADES DEL CPK.

## LÍMITE DE ESPECIFICACIÓN ES 150 N

FECHA	CPK		
27-5	2.18	1.33	3.00
27-5	2.94	1.33	3.00
02-6	6.69	1.33	3.00
03-6	3.93	1.33	3.00
03-6	1.57	1.33	3.00
03-6	1.77	1.33	3.00
03-6	2.27	1.33	3.00
09-6	3.54	1.33	3.00
09-6	1.50	1.33	3.00
10-6	4.79	1.33	3.00
10-6	1.37	1.33	3.00
13-6	2.51	1.33	3.00
14-6	3.92	1.33	3.00
14-6	3.45	1.33	3.00
14-6	1.56	1.33	3.00
28-6	6.45	1.33	3.00
29-6	1.48	1.33	3.00
30-6	2.65	1.33	3.00
30-6	2.52	1.33	3.00

**B) RECHAZOS POR REMACHES ROTOS.**

PRIMER TEST	98%	EFICIENCIA
SEGUNDO TEST	100%	EFICIENCIA
TERCER TEST	100%	EFICIENCIA
EFICIENCIA PROMEDIO	99.33%	

**C) PRODUCTIVIDAD**

LA PRODUCTIVIDAD AUMENTÓ 105.6%

**D) COSTO**

EL COSTO FUE \$ 144.67 DIARIO

EL AHORRO EN SCRAP FUE POR RECHAZO \$ 19.18 DIARIO

EL COSTO DEL EXPERIMENTO \$ 184.95

LA GANANCIA APROX. NETA \$ 4730.45 MENSUAL

**E) COSTO TOTAL**

EL COSTO FUE \$ 422.78 DIARIO

EL AHORRO EN SCRAP FUE \$ 75.335 DIARIO  
POR RECHAZO

EL COSTO DEL EXPERIMENTO \$ 239.75

LA GANANCIA APROX. NETA \$ 1133.85 MENSUAL

LA GANANCIA APROX., NETA \$ 136006.20 ANUAL

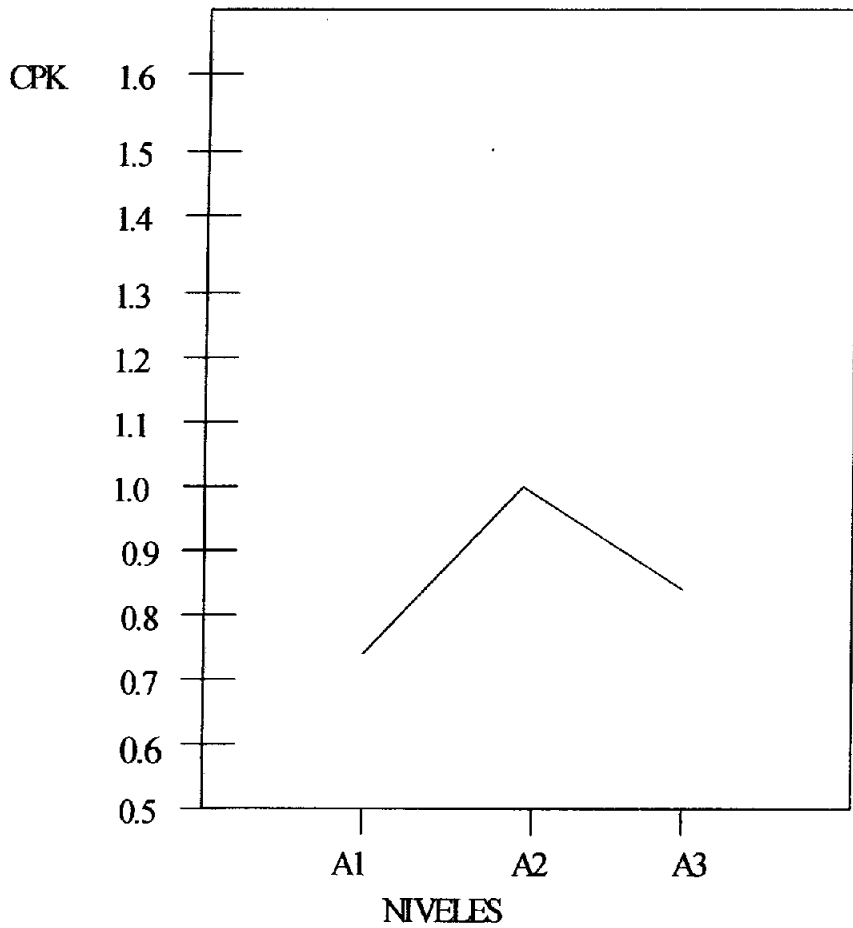
LA IMPORTANCIA DEL CP Y/O CCPK EN EL DISEÑO PARAMETRICO



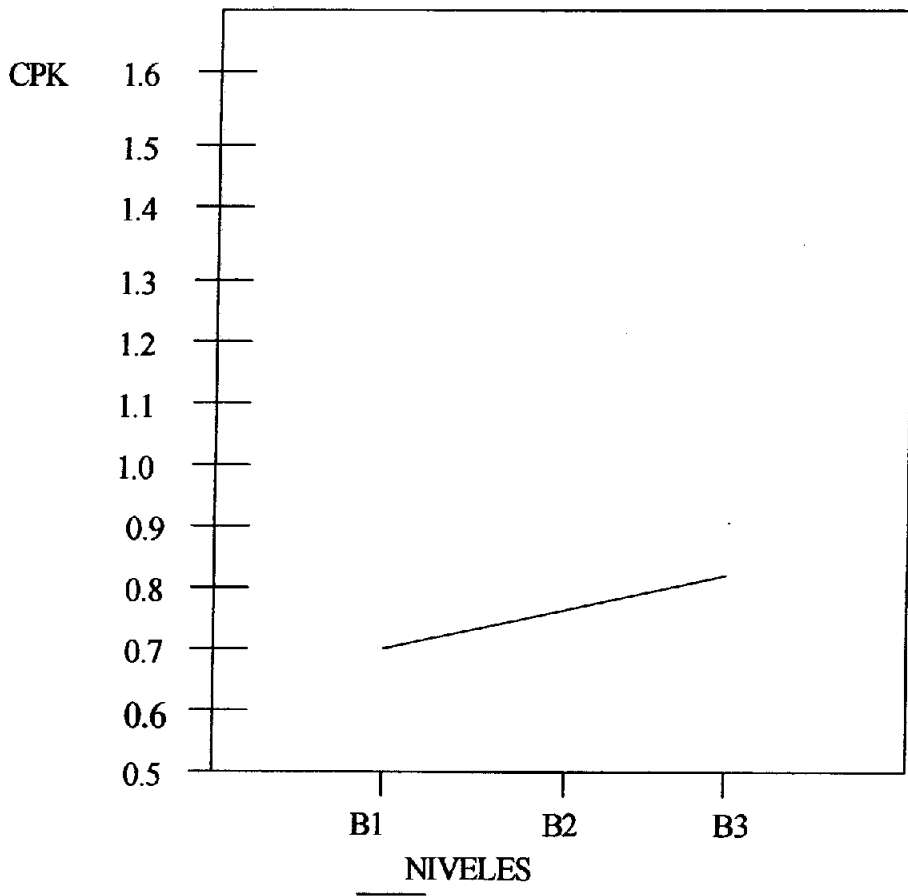
**"EL EFECTO DEL CP Y/O CPK "**

		GRADOS DE EFECTOS		
CP RESULTANTE	% DE EFICIENCIA	%	PPM	TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA ENCONTRAR 1 DEFECTO
0.86	99.000	1.00	10000.00	100
1.00	99.700	0.30	3000.00	333
1.10	99.900	0.10	1000.00	1000
1.30	99.990	0.01	100.00	10000
1.33	99.994	0.006	60.00	16666
1.47	99.999	0.001	10.00	100000
1.63	99.9999	0.0001	1.00	1000000
2.00	99.9999998	0.0000002	2PPB	500000000

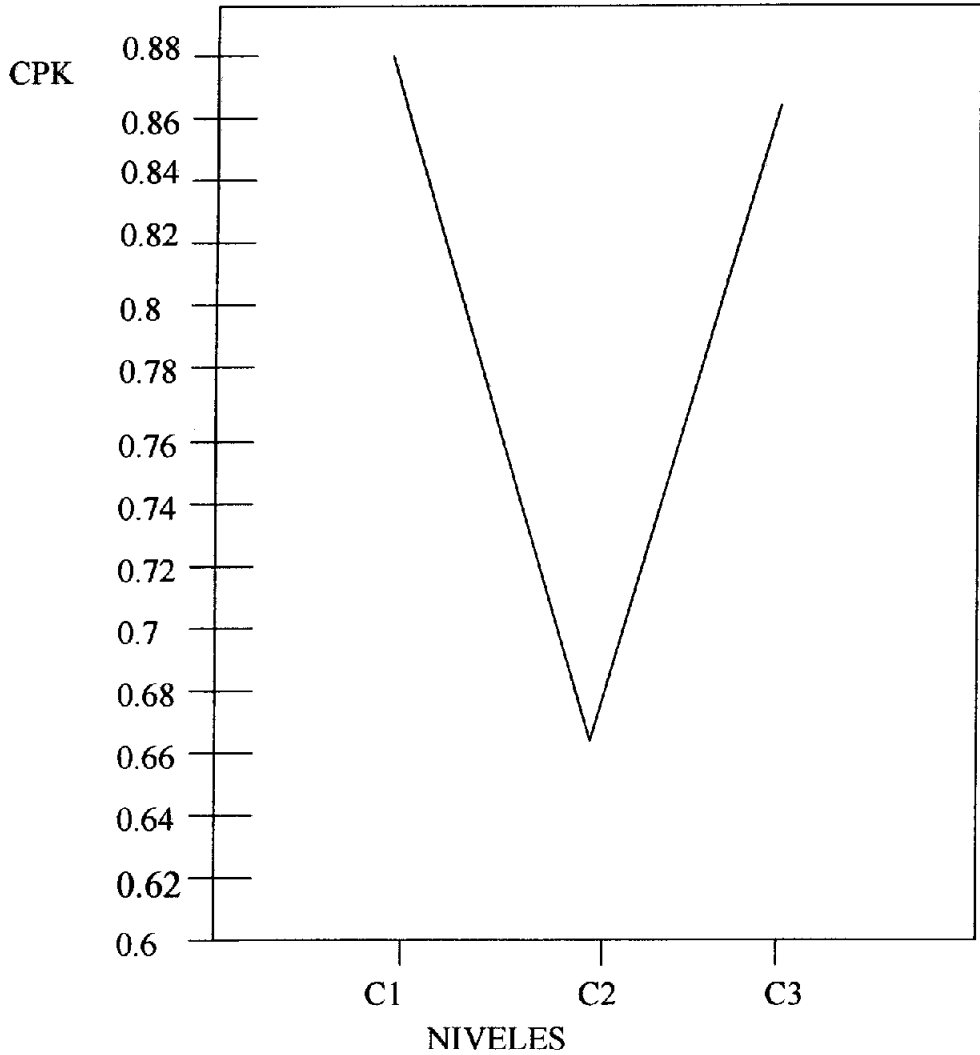
## ANALISIS GRAFICO DE A

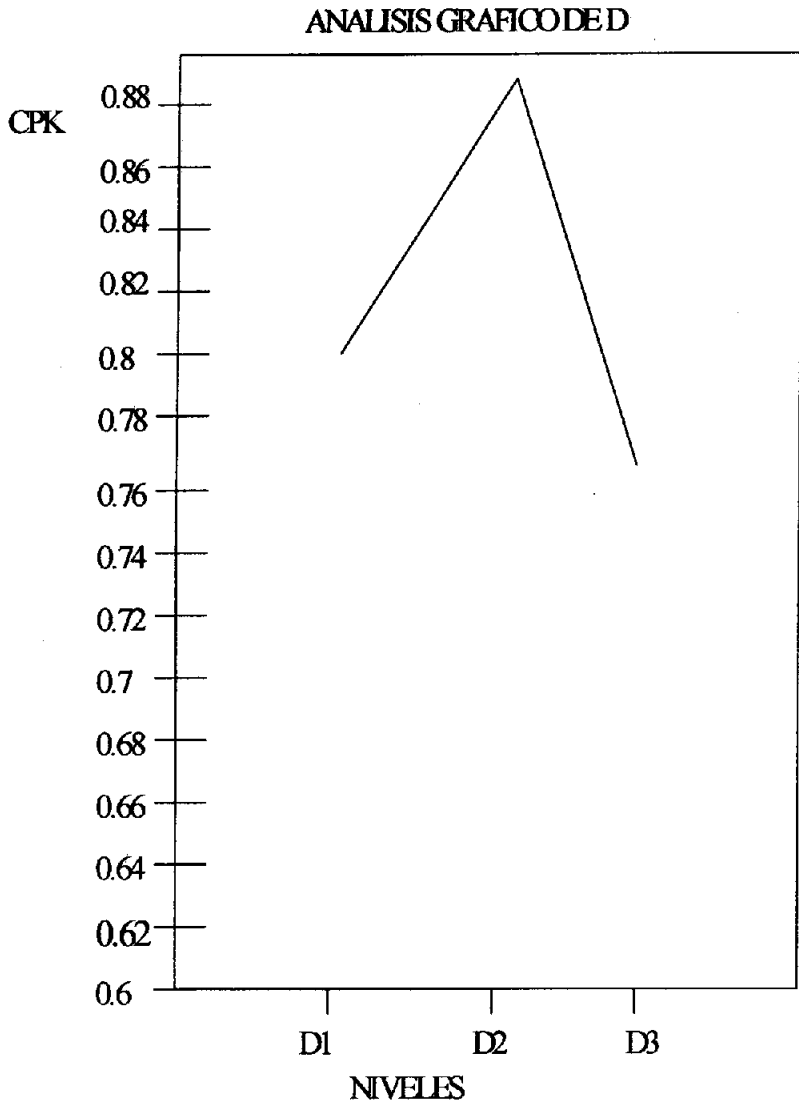


# ANALISIS GRAFICO DE B

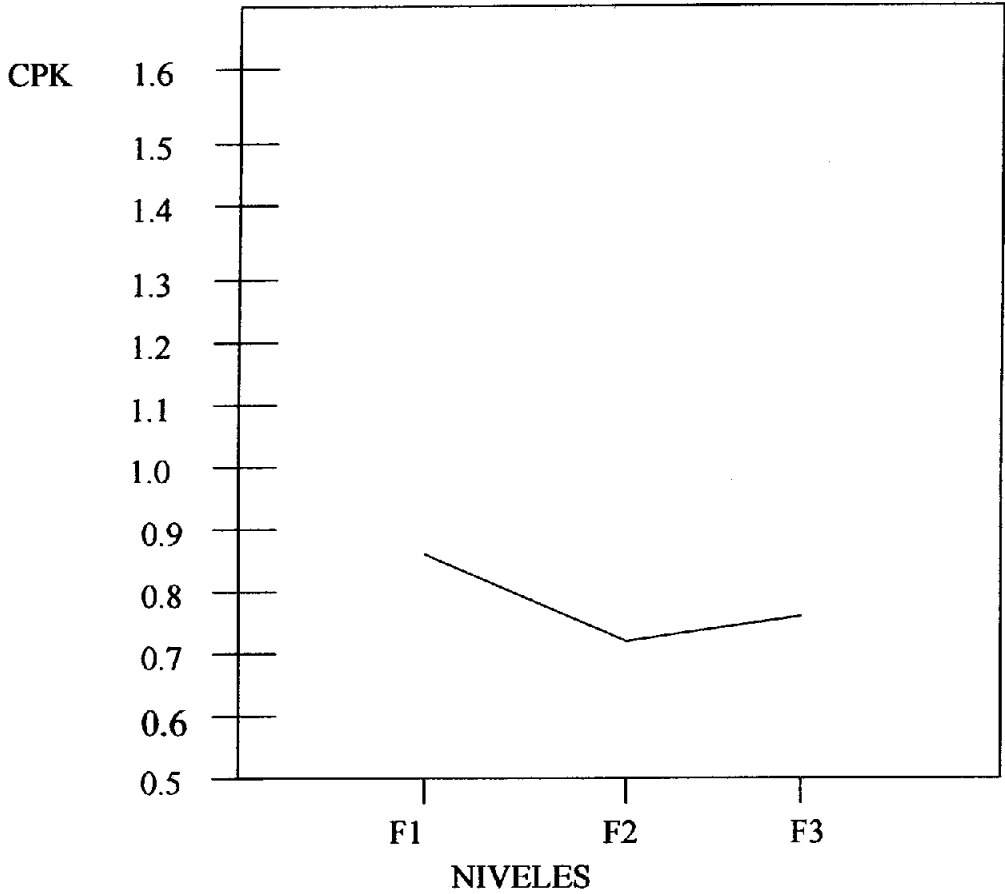


## ANALISIS GRAFICO DE C

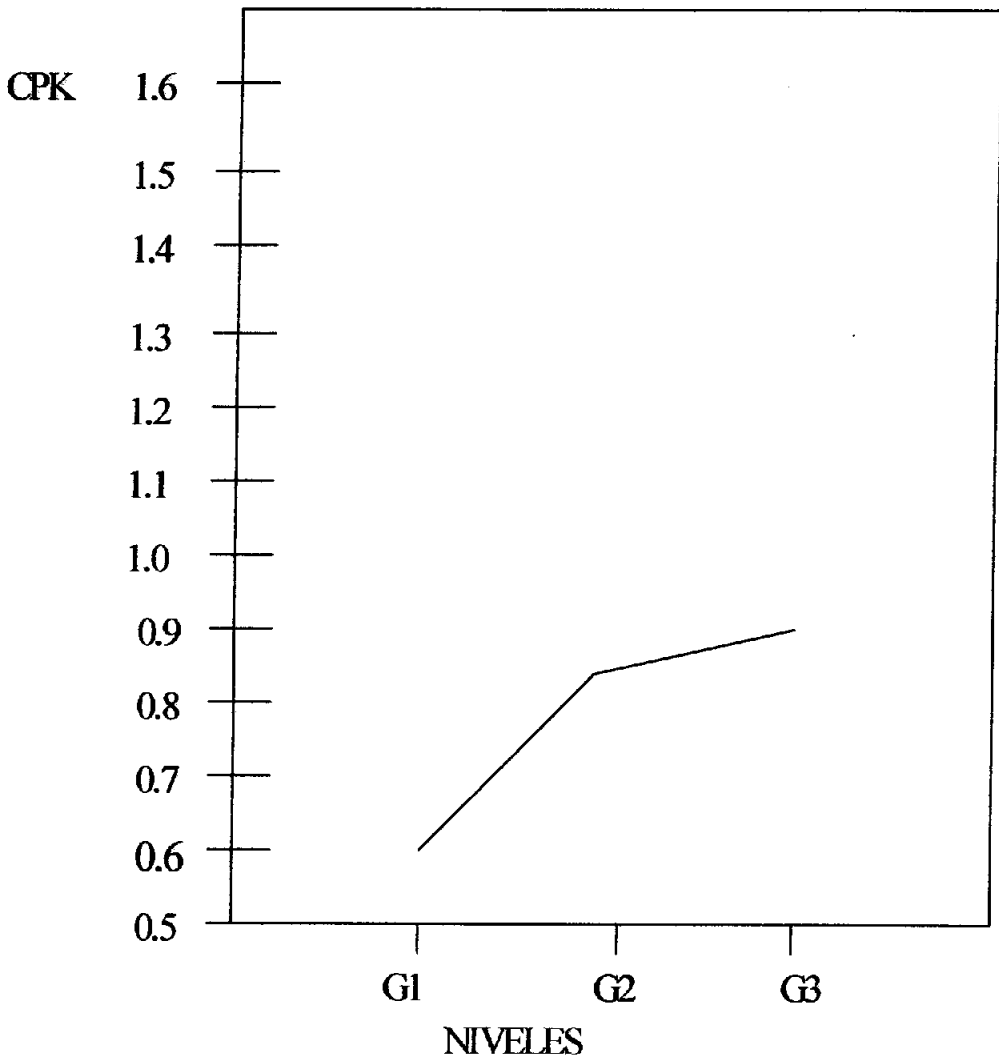




## ANALISIS GRAFICO DE F



## ANALISIS GRAFICO DE G



## CONCLUSIONES

El doctor taguchi ha combinado métodos de ingeniería y estadística para mejorar costos y calidad de los diferentes productos o procesos según sea el caso.

Optimizando el diseño de productos y procesos de manufactura. Las herramientas básicas para lograrlo son la función de pérdida y la relación señal ruido que nos permiten identificar en las etapas tempranas del desarrollo de un producto las áreas de mejora al mínimo costo posible.

El consumidor tiene necesidades y expectativas que frecuentemente difieren de las del fabricante, por lo cual debemos de aprender de esas necesidades lo suficiente para ser capaces de identificar objetivos racionales en nuestros procesos y reconocer el costo que ocasionan las desviaciones, por lo que se requiere de desarrollar e implementar maneras eficientes de reducir la variación del proceso con respecto al objetivo.

A continuación se describen los 7 puntos de taguchi.

- 1.-Una dimensión importante de la calidad de un producto es la pérdida total generada a la sociedad.
2. En una economía competitiva el mejoramiento continuo de la calidad incluye la reducción incesante de la variación de las características del producto con respecto al objetivo.
4. La pérdida del consumidor debida a la variación del comportamiento de un producto, es con frecuencia (aproximadamente) proporcional al cuadrado de la desviación d la característica de su objetivo.
- 5.-La calidad y costo final de un producto manufacturado, son determinados en gran medida por el diseño de ingeniería del producto y su proceso de manufactura.
6. La variación en el comportamiento de un producto o proceso, se puede reducir aprovechando los efectos no lineales de los parámetros de las características.
7. La planeación de experimentos estadísticos se emplea para identificar los valores óptimos de parámetros en productos y procesos que permiten reducir la variabilidad.



En el caso abordado en la tesis , mediante el empleo del método taguchi este nos a permitido el mejorar notablemente la eficiencia del proceso de soldadura de pemos a la barra guía mediante el método Nelson, indudablemente que el diseño de experimentos tiene un costo aplicable a todas sus etapas como son el análisis del problema, diseño y desarrollo de los experimentos, sin embargo al eficientar el proceso tiene como consecuencia una reducción de costos de instalación para la empresa que instala estos pemos, lo que podría repercutir en una disminución de costos durante los procesos de construcción de nuevas líneas así como durante las reparaciones que realice el Sistema de Transporte Colectivo.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.-DESIGNING FOR QUALITY.  
Lochner y Matar. ASQC PRESS, 1990
- 2.-TAGUCHI TECHNIQUES FOR QUALITY ENGINEERING.  
Ross. Mc GRAW HILL, 1988.
- 3.-DISEÑO Y ANALISIS DE EXPERIMENTOS.  
Montgomery. GPO.EDITORIAL IBEROAMERICANA, 1991.
- 4.-STATISTICS FOR EXPERIMENTERS.  
Box, Hunter y Hunter. WILEY,1978.
- 5.-INTRODUCTORY ENGINEERING STATISTICS.  
Guttman, Hunter y Hunter. WILEY, 1971.
- 6.-INTRODUCTION TO QUALITY ENGINEERING.  
Taguchi. ASIAN PRODUCTIVITY ASOCIATIO. 1986.
- 7.-INGENIERIA DEL VALOR E INGENIERIA DE CALIDAD  
DEFI UNAM FEBRERO 1989
- 8.- INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE CALIDAD  
Kaoru Ishikawa EDICIONES DIAZ DE SANTOS, S.A.  
EDICIÓN 1994
- 9.- CONTROL DE CALIDAD  
Dale h. Besterfield EDITORIAL PRENTICE HALL  
HISPANOAMERICANA, S.A.CUARTA EDICIÓN
- 10.-ADMINISTRACIÓN Y CALIDAD  
Cuauhtémoc A. Gutiérrez EDITORIAL: LIMUSA  
PRIMERA EDICIÓN 1995
- 11.- EL MÉTODO DEMING EN LA PRACTICA  
Mary WaltonGrupo EDITORIAL NORMA  
PRIMER REIMPRESIÓN 1993

- 12.- CONTROL DE CALIDAD  
Jerry Banks EDITORIAL LIMUSA  
PRIMER EDICIÓN 1998
  
- 13.- GESTIÓN DE LA CALIDAD TOTAL UN TEXTO INTRODUCTORIO  
Paul James EDITORIAL PRENTICE HALL  
PRIMER REIMPRESIÓN 1998
  
- 14.- CONTROL TOTAL DE LA CALIDAD  
Armand V. Feigenbaum EDITORIAL CECSA  
SEGUNDA REIMPRESIÓN 1997