

APLICACIÓN DEL MÉTODO TAGUCHI EN LOS PROCESOS DE MECANIZADO  
CONTROL NUMERICO CNC EN ACEROS INOXIDABLES

ADRIANO JOSE LOPEZ CONTRERAS

Autor



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS  
DEPARTAMENTO DE MECANICA, MECATRONICA E INDUSTRIAL  
PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER  
2016

ADRIANO JOSE LOPEZ CONTRERAS

MONOGRAFIA PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO INDUSTRIAL

ALBERT MIYER SUAREZ CASTRILLÓN

Tutor



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS  
DEPARTAMENTO DE MECANICA, MECATRONICA E INDUSTRIAL  
PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER  
2016

Nota de aceptación

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado 1

---

Jurado 2

Pamplona, 15 de diciembre del 2016

Dedico este trabajo a mis padres,  
A mis hermanos y mis amigos.

## PENSAMIENTOS

*“El único modo de hacer un gran trabajo es amar lo que haces”*

***Steve Jobs***

*“la fuerza no viene de la capacidad corporal, sino de una voluntad una voluntad férrea”*

***Mahatma Gandhi***

*“Un buen día, echando la vista atrás, se dará usted cuenta de que estos años de lucha han sido los más hermosos de su vida”*

***Sigmund Freud***

## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradecido enormemente de alma y corazón en primer lugar con DIOS por la vida, las oportunidades y por brindarme las herramientas posibles para seguir creciendo como persona y profesionalmente en esta bella universidad. A mis padres Everlides Contreras Terán y Luis Antonio López Julio por ser la luz de mis días, por guiarme por los caminos prósperos que nos brinda la vida sin duda no hay palabras que exprese mis reconocimientos hacia mis padres.*

*A mis hermanos Luisa Fernanda López contreras y Luis Antonio López contreras por hacer partícipes en mi crecimiento personal. A cada uno de ellos que sea Dios que los bendiga y los llene de vida.*

*A mis amigos, a los que están cerca y aquellos que están lejos por todas esas experiencias vividas y su motivación de decirme incansablemente que las cosas saldrán bien.*

*En segundo lugar, gratificar a mi director, el magister Albert Miyer Suarez Castrillón, por su paciencia, compromiso y su ayuda, mis agradecimientos. Por ultimo a mis profesores por tener la dicha y disposición de transmitir sus conocimientos y aportes en mi formación. Gracias totales a cada uno de ellos.*

## TABLA DE CONTENIDO

<b>GLOSARIO</b> .....	10
<b>RESUMEN</b> .....	11
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	12
<b>1. OBJETIVOS</b> .....	14
<b>1.1. Objetivo General</b> .....	14
<b>1.2. Objetivo Específicos</b> .....	14
<b>1.3. Alcances Y Limitaciones</b> .....	14
<b>2. METODOLOGIA</b> .....	15
<b>3. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE</b> .....	17
<b>4. DESARROLLO DE LA MONOGRAFIA</b> .....	20
<b>4.1 Breve Historia Del Método Del Dr. Genichi Taguchi</b> .....	20
<b>4.4.1 Metodología De Taguchi</b> .....	21
<b>4.4.2 Factores</b> .....	22
<b>4.4.3 Énfasis En La Metodología De Taguchi</b> .....	23
<b>4.4.4 Críticas a la razón señal/ruido como respuesta</b> .....	28
<b>4.4.5 Función De Pérdida De Taguchi</b> .....	31
<b>4.4.6 Diseño Con Arreglo Interno Y Externo (Diseño De Parámetros)</b> .....	33
<b>4.4.7 Diagramas Esquemáticos</b> .....	35
<b>4.2 Control Numérico Computarizado (CNC)</b> .....	36
<b>4.2.1 Generalidades Del Control Numérico Computarizado (CNC)</b> .....	37
<b>4.2.2 Programación En El Control Numérico</b> .....	39
<b>4.2.3 Últimos Avances</b> .....	41
<b>4.2.4 Aplicaciones CNC</b> .....	42
<b>4.3 Optimización Del Procesos De Mecanizado En Controles Numéricos Computarizados CNC Aplicados A Los Aceros Inoxidables</b> .....	43
<b>4.3.1 Caso De Estudio 1: “Método De Taguchi Para La Optimización Del Proceso en Torno”</b> .....	43
<b>4.3.1.3 Arreglo Ortogonal Taguchi</b> .....	46
<b>4.3.2 Caso De Estudio 2: “Método De Taguchi Para La Optimización Fresadora”</b> .....	49
<b>5 CONCLUSIONES</b> .....	53
<b>6 RECOMENDACIONES</b> .....	54
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	55

## INDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1</b> DISEÑO DE EXPERIMENTOS REALIZADO POR MILLER, SITTER, WU Y LONG .....	24
<b>TABLA 2</b> DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD.....	27
<b>TABLA 3</b> TIPOS DE RAZONES SEÑAL/RUIDO PARA LAS DIFERENTES TIPOS DE RESPUESTA. ....	28
<b>TABLA 4</b> EJEMPLO TÍPICO DE UN DISEÑO ROBUSTO DE EXPERIMENTOS.....	33
<b>TABLA 5</b> ARREGLOS ORTOGONALES MÁS USUALES .....	35
<b>TABLA 6</b> PARÁMETROS DE LOS PROCESOS.....	45
<b>TABLA 7</b> DISEÑO DE EXPERIMENTO. ....	46
<b>TABLA 8:</b> 3 FACTORES COLUMNAS 1.2.3 .....	47
<b>TABLA 9</b> ANÁLISIS ARREGLO ORTOGONAL DE TAGUCHI PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE ACEROS. .....	48
<b>TABLA 10</b> FACTORES CONTROLABLES PARA EL PROCESO DE FRESADO.....	50
<b>TABLA 11</b> PARÁMETROS DEL PROCESO EN FRESADO. ....	50
<b>TABLA 12</b> DISEÑO DE EXPERIMENTO DEL FRESADO.....	51
<b>TABLA 13</b> ARREGLO ORTOGONAL DEL FRESADO .....	52

## ***INDICE DE FIGURAS***

<b>FIGURA 1</b> METODOLOGÍA PARA LA INVESTIGACIÓN .....	16
<b>FIGURA 2</b> INGENIERO GENICHI TAGUCHI.....	21
<b>FIGURA 3</b> FUNCIÓN DE PÉRDIDA DE TAGUCHI .....	32
<b>FIGURA 4</b> DIAGRAMA ESQUEMÁTICO. ....	35
<b>FIGURA 5</b> VARIABLES DE LOS PROCESOS DE TORNEADO.....	43
<b>FIGURA 6</b> MAQUINA TORNO USADA EN EL EXPERIMENTO.....	44
<b>FIGURA 7</b> PLAQUITA DE CORTE TORNO. ....	44
<b>FIGURA 8</b> VARIABLES DE CONTROL EN FRESADO Y LA HERRAMIENTA BROCA.....	49

## GLOSARIO

Los siguientes conceptos fueron tomados del libro (Humberto & Vara Salazar (2004) “Análisis y diseño de experimentos” cap. 9)

**Diseño de parámetros:** es la determinación de los niveles de los parámetros o factores de proceso, de tal forma que cada característica del producto se desempeñe con variación mínima alrededor de su valor objetivo.

**Calidad:** según Taguchi es la pérdida que un producto causa a la sociedad desde que es enviado al cliente.

**Parámetros:** Taguchi señala que son los factores o variables del proceso.

**Función de pérdida:** cuantifica la pérdida social que un producto causa debido a los valores de sus características de calidad.

**Diseño robusto:** experimento en el que se consideran factores de ruido de manera explícita, respecto a los cuales se quiere lograr un producto robusto.

**Concepto de robustez:** es hacer un producto o proceso insensible o resistente a factores de ruido que no son controlables.

**Factor de ajuste:** es el factor clase III que afecta solo la media de la característica de calidad.

**Factor señal:** factor de ajuste cuyo nivel de operaciones es seleccionado por el usuario.

**Ruido externo:** ambiente en el cual el proceso o producto se desempeña y a la carga de trabajo a que se somete.

**Ruido interno:** variación de unidad a unidad debido a la diversidad de sus componentes. En el proceso es la falta de uniformidad en su forma de operar.

**Deterioro:** efectos que aparecen poco a poco con el tiempo que llegan a causar fallas en el proceso.

**Arreglos ortogonales:** matrices de diseños factoriales completas, fraccionadas o mixtas que tienen la propiedad de ortogonalidad.

**Diseño con arreglo interno y externo:** sirve para determinar condiciones de operación robustas a uno o varios factores de ruido. Consiste en probar todas las combinaciones de los factores de ruido en cada combinación de los factores de control.

**Razón señal/ruido:** estadísticos que mide el desempeño de la robustez en cada combinación de los factores de control.

## RESUMEN

En la siguiente monografía se presentan unos de las principales ideas propuestas por el japonés Dr. Taguchi en la ingeniería de la calidad, quien a partir de los años cincuenta creó sus propios métodos y sus filosofías enfocadas a la optimización de procesos en las industrias, sus aportes fueron indispensables para el éxito en las empresas japonesas como las electrónicas y las automotriz.

Las contribuciones de Taguchi han despertado curiosidad en los últimos años, puesto que mejoran los procesos que van desde la definición de calidad pasando por el control estadísticos de procesos (on-line Quality control), hasta el diseño de experimentos en pro de mejorar la precisión y la disminución de los costos en los procesos.

De igual importancia la metodología de Taguchi se han convertido en una gran herramientas robustas que sirven para mejorar los procesos por medio de los factores de señal ruido, diseños de parámetros, arreglos ortogonales y los mecanizados en las maquinas CNC como lo es el fresado y el torneado en aceros inoxidable (Taguchi, 1987), por tanto, desde sus inicios han ocasionado buenas practicas experimentales con buenos estándares de calidad que se requieren principalmente en las industrias, los resultados obtenidos demuestran que esta herramienta resulta eficaz para mejorar la calidad a bajo coste.

**Palabras claves:** Métodos Taguchi, Diseños paramétricos robustos (RPD), Factor de Ruido, Ingeniería de Calidad, Control Numérico Computarizado (CNC), Diseño de tolerancias, tecnologías de manufacturas avanzadas, diseños de experimentos.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, las empresas en los últimos años han aumentado exponencialmente sus aplicaciones de automatización programable en las industrias manufactureras debido a las grandes exigencias del cliente y mercados competitivos.

El acero inoxidable, es utilizado comúnmente para la construcción de calderas, plantas químicas y turbinas de vapor, además es utilizado ampliamente en las industrias automovilísticas y petroleras, puesto que, poseen propiedades de alta resistencia a la torsión y presión, por lo que soporta temperaturas  $150^{\circ}\text{C}$  y  $300^{\circ}\text{C}$  y son de bajos costo en comparación a otros materiales [1].

Lo que ha conllevado a las empresas, la necesidad de usar estrategias y técnicas adecuadas que ayuden a posesionarse en los mercados sus productos de alta calidad a bajo coste, con el objetivo de satisfacer las expectativas de los clientes a largo plazo y con menor tiempo posible.

Las ventajas competitivas en las empresas actuales, para mantener sus productos y liderazgo en los mercados, dependerá de cómo usar sus recursos, capacidad, tecnología, calidad y productividad. Ya que, estas competitividades van orientados a los procesos de pensamiento, trabajo en equipo y las innovaciones.

En un inicio se pensó, que los costes de la mala calidad en los productos se debían a las imperfecciones de fabricación, las etapas del diseño del producto y/o procesos de fabricación, posteriormente, se encontró que inspeccionar los procesos de

fabricación, técnicas y herramientas de control estadísticos, permitió optimizar y mejorar la calidad en la fabricación (Jugulum and Sefik, 1998).

Para efectos de la investigación, se utilizara la metodología de Taguchi para poder analizar los resultados experimentales de los autores especializados e influyentes en estos temas y se tendrán en cuenta las distintas variables que están vinculadas en las máquinas de fresado y torno (CNC) como lo son: velocidad de corte, velocidad de avance y profundidad del corte que intervienen en el proceso de acero inoxidable.

La productividad y la calidad son dos conceptos importantes para llevar a cabo el control en estos tipos de procesos, por tanto, si queremos optimizar es importante garantizar una alta productividad, puesto que, el nivel de calidad se compromete para lograr con éxito es esencial llevar el seguimiento de estos conceptos continuamente.

Para el manejo de mecanizado, la calidad puede interpretarse como un índice de rendimiento satisfactorio en diseños y características del producto como la suavidad, forma, precisión y estabilidad de superficie que son comúnmente atributos exigidos por los clientes y la productividad como un índice de eliminación de desperdicios o materiales en las operaciones de mecanizado industrial.

# 1. OBJETIVOS

## 1.1 Objetivo General

Aplicar el método de Taguchi para optimizar el proceso de mecanizado control numérico computarizado (CNC) en aceros inoxidable, para mejorar los tiempos en el proceso, minimizar costos, desperdicios, aumentar la producción y la precisión.

## 1.2 Objetivo Específicos

- ✓ Determinar los parámetros óptimos de los procesos de aceros inoxidable.
- ✓ Analizar los tipos de herramientas recomendables para estos tipos de procesos.
- ✓ verificar el método del Dr. Genichi Taguchi para la optimización del proceso aceros inoxidable en mecanizados fresadora y torno control numérico computarizado (CNC).

## 1.3 Alcances Y Limitaciones

✓ Se aplicara en la monografía un enfoque cualitativo, donde se busca encontrar lo más relevante en las bases de datos institucionales las referencias bibliográficas.

✓ Se analizaran los estudios ya efectuados por los autores más influyentes en el tema, para brindar visión general y las respectivas herramientas que puedan generar valor a los ingenieros industriales de nuestra universidad en su campo laboral.

✓ Se investigaron las herramientas de cortes usadas más comúnmente en estos tipos de optimización de procesos. No se realizaron experimentos en las maquinas fresadora y torno que están situadas en nuestra universidad, ni se efectuaron las etapas

de control de procesos en ellas solo se analizaron los estudios previos en las revistas confiables institucionales.

## **2. METODOLOGIA**

La presente investigación es de tipo descriptiva pues de acuerdo con Hernández, Fernández y baptista (2006): “la investigación descriptiva busca especificar propiedades, explorar, describir, especificar propiedades, características y rasgos importantes y luego generar perspectivas teóricas de cualquier fenómeno que se analice” (p.119).

Se dará a conocer algunas causas muy importantes, que llevaron a las empresas del sector manufacturero en los procesos de acero inoxidable, a determinar parámetros óptimos para mejorar la calidad de sus procesos/productos, así como los tipos de herramientas y máquinas de mayor precisión, suavidad y cortes más recomendables en estos tipos de procesos.

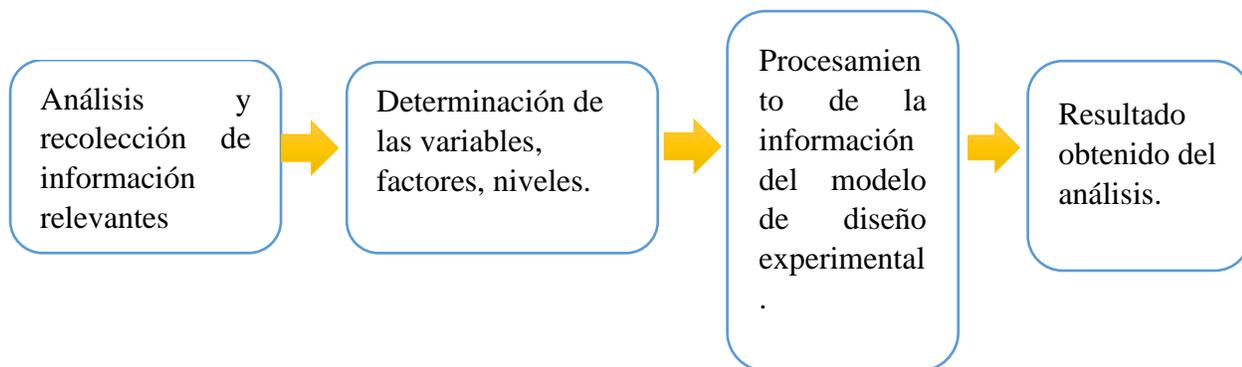
Para ellos se verificara el método del Dr. Genichi Taguchi para la optimización del proceso de aceros inoxidables en mecanizado fresadora y torno aplicando el control numérico computarizado (CNC). Utilizando como estrategias la recolección de información relevante (fuentes secundarias), que permita una mayor confiabilidad de dicha información y así tener resultados más creíbles.

Una vez seleccionada la información perteneciente, se procede a analizar cuidadosamente aquellas informaciones que de alguna forma u otra intervinieron en la

optimización del proceso de mecanizado en control numérico computarizado (CNC) aplicado a los aceros inoxidable.

Para los datos recolectados se utiliza el software estadístico Minitab15, SPSS y la herramienta Excel, para analizar de manera crítica en sus investigaciones y así como la relación que tiene ésta con el método del Dr. Genichi Taguchi. En la (figura 1) se presenta de manera resumida los pasos lógicos a seguir para llevar a cabo esta investigación.

**Figura 1** Metodología para la investigación



**Fuente:** elaboración propia del autor.

### 3. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE

A continuación se conocerán los puntos de vistas de algunos autores más relevantes que han realizado estudios previos sobre la optimización de procesos en mecanizado control numérico computarizado CNC aplicado en aceros inoxidables.

Para el grupo de ingenieros M. Nalbant, H. Gökkaya, G. Sur (2007), Ellos aplicaron el método de Taguchi en la optimización de parámetros en el corte torneado, para encontrar los parámetros de cortes óptimos en la rugosidad de la superficie, lo cual emplearon la matriz ortogonal, la relación señal ruido (S/N) y el análisis de la varianza, con el objetivo de estudiar las características del rendimiento de las barras de acero inoxidable AISI en sus operaciones, para ellos utilizaron tres variables de control los cuales fueron la velocidad de giro, velocidad de avance, y profundidad del corte. Los resultados experimentales muestran la eficacia de estos métodos a bajos costos en la ingeniería de la calidad. [2]

Además Tzeng, C.J., Lin, Y.H., Yang, Y.K., Jeng, M.C., (2009). Indagaron sobre la Optimización de los parámetros de operación de torneado, en sus estudios realizaron nueve experimentos basado en la matriz ortogonal del método de Taguchi, lo cual obtuvieron el grado de influencia de cada factor del proceso controlable, ellos pudieron encontrar que la velocidad de avance, fue el factor más influyente en las operaciones de torneado. [3]

Un grupo ingenieros mecánicos, Sanjit Moshat et al (2010), A grandes rasgos, ellos destacan la importancia de la optimización de los diseños de parámetros del

proceso de fresado control numérico computarizado (CNC), Con el objetivo de construir un vínculo entre calidad y productividad, para esto proporcionaron un buen acabado superficial así como una baja tasa de eliminación de material. Finalmente, exponen que la metodología de Taguchi ha sido adaptada para resolver este problema y se han encontrado fructífera en los casos que se requiere una optimización. [4]

A manera de ejemplo Joshi. A y Kothiyal. P, (2012) Ambos contribuyeron en su Investigación y estudiaron los efectos de varios parámetros del proceso de fresado, en el cual, ellos manejaron variables como velocidad del giro, profundidad de corte, velocidad de avance para revelar su impacto y calidad en el acabado superficial de las piezas. Para esto utilizaron la Metodología Taguchi, Los resultados de sus respectivos análisis, indican que la velocidad de avance y la velocidad de giro fueron los factores más influyentes para el modelado del acabado superficial. Los gráfico del factor señal ruido (S/N), indican el ajuste óptimo del parámetro de mecanizado, por tanto, proporcionan el valor óptimo del acabado superficial. [5]

Como afirman Sharma, P, Bhambri, K., (2012). Ellos demuestran, que las características del rendimiento de las operaciones de torneado, tales como la velocidad de corte, velocidad de avance y profundidad de corte en el torneado a alta velocidad las variables indican, que la tasa de índice de desperdicios baja, es decir, la eliminación de material disminuye y la rugosidad de la superficie se mejoran considerablemente mediante el uso de este método de Taguchi. [6]

Los ingenieros de producción y profesores asociados como B.Singarvela, T.Selvarajb, R.Jeyapaulc (2014), ellos sostienen, que la optimización multiobjetivo, son

importantes para producir soluciones mejores y precisas. Cuando hicieron sus respectivos análisis, estimaron los parámetros de mecanizado óptimos utilizando los conceptos y las metodologías de Taguchi sobre torneado de acero EN25 con herramientas de carburo revestido con CVD y PVD, este método lo emplearon para maximizar la velocidad, minimizar la rugosidad de la superficie y la eliminación del material. [7]

## 4. DESARROLLO DE LA MONOGRAFIA

### 4.1 Breve Historia Del Método Del Dr. Genichi Taguchi

A principio de la década de los 1980, el ingeniero japonés Genichi Taguchi introdujo un enfoque para resolver problemas del diseño paramétrico robusto (RPD), sus principales enfoques fueron la clasificación de las variables que intervienen en los procesos o variables de control (controlables) y variables de ruido (no controlables).

El ingeniero Taguchi introdujo métodos, modelos estadísticos novedosos y unas ciertas variantes de las técnicas establecidas, con el objetivo de hacer diseños paramétricos más robustos es decir (de mejora continua).

Por tanto, hizo el uso de análisis y obtuvo diseños factoriales a partir de arreglos ortogonales que se creaban por medio de experimentos, Lo cual, en el transcurso de ese tiempo se crearon muchos debates y discusiones debido a que sus enfoques fueron defendidos inicialmente en occidente, Box [8] quien al dar una discusión sobre Kacker, al observar que los procedimientos estadísticos del ingeniero Taguchi son con frecuencia innecesariamente ineficientes y complicados. [9]

Finalmente para el año del (1980), ya luego de haber revisado de manera detallada sus enfoques y metodología los resultados fueron creíbles, ya que, eran herramientas sólidas para la ingeniería de la calidad al que él le llama *diseño de parámetros*, que se convirtió en lo que hoy en día se conoce en Occidente como *diseño robusto*. (MONTGOMERY, C. Douglas.) [10].



**Figura 2** Ingeniero Genichi Taguchi.

#### **4.4.1 Metodología De Taguchi**

El ingeniero Taguchi separa los factores o variables que influyen en el proceso o el producto, en cual los divide en dos que son los factores controlables y factores ruido.

**Los factores controlables:** por definición de Taguchi dice que, son aquellas variables susceptibles de fijarse a niveles deseados durante el proceso por medio del diseño experimental para la optimización de los procesos.

**Los factores ruido:** son aquellos factores que de algún u otra manera influyen en el proceso por lo que es necesario controlar, en caso de no controlar pueden afectar las empresas en su calidad, por lo que resulta muy costoso, es decir, aumentan la variabilidad.

Teniendo claro los factores más influyentes en los procesos, para poder optimizar es necesario llevar el control de varias etapas entre ellas encontramos

- ✓ **Diseño de sistemas:** Permitted en los proceso a grandes rasgos, conocer la capacidad, la determinación de los niveles óptimos y adaptativos en los sitios de trabajos en los factores del diseño.

- ✓ **Diseños paramétricos robustos (RPD):** para conocer mejor el proceso se debe determinar los factores y niveles más contribuyentes en los procesos, es decir, que por medio de la mejora continua, producen un mejor rendimiento en la calidad del producto.
- ✓ **Diseño de tolerancias:** conociendo los parámetros óptimos y el diseño de los procesos, las tolerancias nos permite conocer los resultados de los niveles de parámetros efectuados en los procesos para conocer los factores con influencias significativas en los productos.

Una de las claves a tener en cuenta en el diseño de los parámetros es la introducción de los factores de ruido en los diseño de experimentos, para poder comprobar, verificar y estudiar la relación que tienen asociadas con los factores controlables. Por eso se asume que aunque encontremos factores incontrolables en el sistema, los factores de señal (media), ruido (desviación) se pueden controlar experimentalmente. [11]

#### 4.4.2 Factores

Bryne y Taguchi [12], ellos diferencian dos tipos de factores que son comúnmente encontrado en los procesos:

- ✓ **Los factores controlables:** en estos factores el/los diseñador/es puede elegir libremente su variables controlables a optimizar.
- ✓ **Los factores de ruido:** ellos representan los factores incontrolables encontrados en sus procesos, tales como las condiciones ambientales, temperatura, etc.

### 4.4.3 Énfasis En La Metodología De Taguchi

La manera más sencilla de generar un buen estudio en la metodología es:

- ✓ **Diseño Robusto:** Busca generar cambios en los productos internamente con el propósito de disminuir la variabilidad lo más ante posible, ante los cambios del entorno.
- ✓ **Minimización de la función de pérdida:** Es otro punto importante, ya que, permite conocer la minimización de la pérdida económica evaluando la calidad debido a las corridas en condiciones no-óptimas, es decir, orientados a reducir la variabilidad.
- ✓ **Maximización de la razón señal ruido (S/N):** es el alcance de los mejores objetivos, procesos bajo las condiciones no controlables (ruido) que el diseñador desea optimizar.

La idea central de la metodología implementada por Taguchi, es encontrar la manera de alcanzar los niveles de los factores controlables, para lograr optimizar los procesos y así mismo reducir la variabilidad que es producida por variables de ruido es decir (tratar de conseguir siempre la robustez ante la presencia de los factores ruido que intervienen en los procesos) lo cual demanda la existencia de ciertas interacciones entre los factores ruido y los controlables.

Otro aspecto importante en los diseños de experimentos de Taguchi son los arreglos ortogonales, normalmente son conocidos por el nombre o abreviatura (L8) lo que entiende es que para el experimento se diseñaran 8 corridas.

En la parte experimental se realizan los experimentos, se emplea un diseño ortogonal para los factores controlables, lo cual son llamados arreglos internos, que casi siempre son cruzados con otro diseño ortogonal para los factores ruido, llamado arreglo externo.

Los niveles de los factores ruido en el arreglo externo se organizan por fila y no por columna. Cada fila en el arreglo interno junto con cada columna en el arreglo externo conforman las condiciones de cada uno de los experimentos que se realizan y los resultados de los arreglos ortogonales se presentan en una matriz son conocidos como arreglo cruzado.

De manera de ejemplo los arreglos ortogonales se pueden presentar estructuras, Para ello se muestran en la (Tabla 1). Los datos son correspondientes a un diseño de experimento que realizaron Miller, Sitter, Wu y Long [13], ellos analizaron la distorsión que tienen el engranaje y los piñones de la transmisión de un coche, durante un tratamiento de endurecimiento con calor. El estudio incluye cinco factores controlables y tres factores ruido.

**Tabla 1** Diseño de experimentos realizado por Miller, Sitter, Wu y Long

<b>ARREGLOS INTERNOS</b>					<b>ARREGLOS EXTERNOS</b>								
					Z1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
					Z2	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
					Z3	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
X1	X2	X3	X4	X5	<b>RESULTADOS</b>								
-1	-1	-1	-1	1	8	-0,5	-1	13	12	1,5	14	14	
1	-1	-1	-1	-1	0	0	4	1	8	-4	-2	-0,5	
-1	1	-1	-1	1	-0,5	5	8	12,5	8	-4	-2	-0,5	
1	1	-1	-1	-1	4,5	-3	6	4	0,5	4,5	2	-1	

-1	-1	1	-1	1	5,5	2	16,5	1	3	4,5	13	8
1	-1	1	-1	-1	1,0	0	8	7	1,2	3	3	4
-1	1	1	-1	1	3,0	13,5	-4	3,5	4	6	7	2
2,5	1	1	-1	-1	4,5	-1,5	13	5,5	7	5	3	4
-1	-1	-1	1	1	5	-1,5	7	6,3	2	7	5	1
1	-1	-1	1	-1	8	0	1	-1	-1,5	3	7	2
-1	1	-1	1	1	3,5	1,5	13	9,5	7,5	12	1,5	2
1	1	-1	1	-1	1	-3	17	3,5	2	6	5,5	1
-1	-1	1	1	1	12	6,5	15,5	-6,5	-6,5	0,5	-1,5	1
1	-1	1	1	-1	8	-3	8	0	10,5	4	12,5	1
-1	1	1	1	1	17	11,5	-1,5	1	-1	-1	13,5	2
1	1	1	1	-1	14	9,5	4,5	-1	0	-3	2	4

Taguchi sugiere en sus diseños, tanto para el arreglo externo y el arreglo interno los diseños factoriales fraccionados, lo que nos permite obtener las estimaciones de las interacciones de todos los factores que se pretenden controlar.

Para el análisis de los resultados, ellos lo clasificaron de acuerdo a los distintos problemas de variabilidad, para ello se diseñan los parámetros dependiendo claramente de los objetivos que se pretenden llegar (resultados) si es (obtener un valor nominal en los experimentos, maximizar u minimizar) dependiendo de las necesidades que se tengan y de las categorías que se elijan en los estudios experimentales, luego se procede a calcular un índice que es comúnmente conocido como factor señal/ruido.

El siguiente paso consiste en identificar los factores (señal/ruido), siempre por lo general una manera de identificarlos es ver los impactos negativos que disminuyen o afectan la calidad y el rendimiento del sistema; a manera de ejemplo los factores de ruido son demasiado caros para el control de parámetros incontrolables (aumento de costos y disminución de la calidad). Por lo tanto estos factores incluyen las diferentes

variaciones no controlables como lo son las condiciones de los productos, el deterioro de este, el funcionamiento del medio ambiente, las diferentes variaciones en la respuesta entre la misma entrada y los productos del mismo diseño.

Finalmente luego de haber realizado el diseño de experimentos requeridos, se determinan el parámetro más óptimo, los cuales deben ser determinados en los análisis de los dichos estudios previos. Para poder analizar los resultados, Taguchi maneja conceptos básicos de estadística que son conocidas como la media para poder conocer el factor señal-ruido (S/N) (Phadke [14]).

La relación del factor señal-ruido (S/N), es una medida que permitió conocer el rendimiento óptimo para hacer más robustos los niveles de control, frente a los factores de ruido que son encontrados en los procesos Bryne y Taguchi [12] y Phadke. [14]

La relación factor señal ruido (S/N) tiene en cuenta la variabilidad y la media. De manera más simple y entendible, la relación del factor señal (S/N), es la proporción que existe en la media (señal) a la desviación estándar (ruido). La relación (S/N) depende del diseño y el criterio de la de los niveles de calidad que se quieren optimizar para mejorar los procesos.

La metodología de Taguchi se tienen en cuenta Tres niveles y características estos han sido considerados estándar y se pueden aplicar en general en las siguientes situaciones presentes en la (tabla 2) se describe detalladamente. Bryne y Taguchi [12] y Phadke [14].

**Tabla 2** Descripción de las características de calidad.

Características de la calidad según Taguchi	
El mayor es mejor:	Representan unas de las característica de calidad como (Ejemplo: rendimiento, fuerza... etc.).
El más pequeño es mejor:	son cualidad o característica de la calidad a manera de ejemplo (contaminación),
Nominal es mejor:	Son característica de calidad que poseen a modo de ejemplo (dimensión).

Sea cualquiera del tipo de característica de costo o calidad que se desean optimizar, las transformaciones son de tal manera que el factor ruido (S/N) siempre se interpretaran del mismo modo a manera de ejemplo: cuanto menor/mayor sea la relación factor ruido(S/N), los resultados serán menor/mayor depende ya de las variabilidades que se analicen en el diseño experimental.

Taguchi recomendó utilizar en las variaciones una relación apropiada que se describe de la siguiente manera  $Z=(S/N)$ , donde Z es la respuesta experimental para poder controlar los ruidos de las variables no controlables y asimismo propone analizar la respuesta media y el arreglo interno para cada corrida, eligiendo siempre los parámetros que maximicen estos cociente, es decir, de mayor efecto en estas respuestas la idea es lograr el objetivo deseado.

Se consideran derivadas de las funciones de pérdida cuadrática, se consideran estándar Las relaciones señal ruido  $Z = (S/N)$  de acuerdo a los tipos de objetivos:

**Tabla 3** tipos de razones señal/ruido para las diferentes tipos de respuesta.

TIPO DE CARACTERÍSTICA	RAZÓN SEÑAL/RUIDO (S/N)
Nominal es mejor (tipo I)	$-10\log\left(\frac{\bar{y}^2}{s^2}\right)$
Su valor nominal es lo mejor (tipo II)	$-10\log(S^2)$
Mayor es mejor	$-10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n \frac{1}{y^2}\right)$
Menor es mejor	$-10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n y^2\right)$
Proporción de defectuosos	$-10\log\left(\frac{\rho}{(1-\rho)}\right)$

Donde (S/N) es la relación señal/ruido, N = número de medidas en un ensayo/fila, en este caso, y ( $Y^2$ ) es el i-ésimo valor medido en una carrera/fila.

Taguchi dice que en cada caso, la selección de los niveles de los factores de control que maximicen la razón factor ruido (S/N), garantizaran una variabilidad mínima o de bajo costo, por tanto, una mayor utilidad en los diseños de parámetros establecidos y una mejor robustez contra las variables que minimizan la calidad o que aumentan los costos es decir las variables no controlables.

#### 4.4.4 Críticas a la razón señal/ruido como respuesta

En los Estados Unidos a partir de las prácticas y las dos conferencias de calidad de las empresas japonesas, empezaron a llamar la atención inicialmente en los años 80.

Eventualmente fueron organizadas por Quality Assurance Center de los AT&T Bell Labs. A partir de ese momento, ellos fueron la base principal para los aportes,

metodologías y las ideas del ingeniero Taguchi se empezaran a ser conocidas por los estadísticos occidentales.

Con el incremento en el uso del enfoque de Taguchi en las industrias, Surgieron algunas críticas como la originalidad de la idea de robustez empleados por Taguchi son los diseños clásicos de Plackett y Burman presentados en 1946. [15]

Luego de ese entonces las críticas han venido acompañadas de propuestas alternativas, desde el análisis de los datos hasta las estrategias experimentales. A partir de ese entonces las críticas han venido acompañadas de propuestas alternativas, desde estrategias experimentales hasta formas de analizar los datos, entre ellas cabe destacar el uso de transformaciones, Box. [16]

Ryan [17], Creó una discusión minuciosa y en particular una investigación de todas las limitaciones de los métodos de Taguchi como optimización, la elección de los arreglos ortogonales y también incluyó la razón del factor ruido (S/N).

Él recomendó que el diseño de parámetros o de algún tipo de las características se aplique con el objetivo de eliminar los factores que no son importantes en los procesos, es decir, las variables (no controlables).

Afirma también, para seleccionar los distintos factores es mejor usar diseños factoriales fraccionados (en vez de los arreglos ortogonales sugeridos por Taguchi). Para la optimización de todas las medidas de desempeño tales como los cocientes señal ruido (S/N).

Ryan [17] explica también que es mejor el uso de procedimientos de análisis y diseños matemáticos como lo es la (programación no lineal) para la optimización de procesos.

En las contribuciones y aportes de Taguchi en la ingeniería de la calidad, existe un gran reconocimiento para él, así mismo como hay reconocimiento y críticas extendidas que son prácticamente presentadas experimentalmente. Lo que genera controversias y otro tipo de discusiones al no considerar las interacciones factores controlables el uso del cociente señal ruido (S/N).

Box y Jones [18] ellos en sus investigaciones, dicen que no se puede defender lógicamente la necesidad de experimentar para conocer cuáles son los factores controlables o no controlables, que presentan resultados y efectos principales más significativo, ellos asumen al mismo tiempo que se deben saber cuáles son los factores que presentan más interacciones en los experimentos.

Box [18], critica duramente los cocientes (S/R), él considera los criterios de transformación de datos, eficiencia, eficacia y robustez. Él dice que a manera de ejemplo que el cociente S/R “cuanto mayor es mejor” puede confundir los efectos de localización con los de dispersión; que bajo el supuesto de datos normales, independientes e idénticamente distribuidos este cociente es ineficiente como medida de localización si se compara con la media muestral y que no es excepcionalmente robusto en presencia de datos atípicos, como por ejemplo, ignorar el efecto que tienen los factores en la respuesta y privar de un conocimiento más amplio del desempeño del proceso.

Box [18], el propone como alternativa para la optimización de los procesos, evaluar los rango de transformaciones y hacer el análisis en términos de la transformación, lo que brinda una gran simplificación a los procesos.

#### **4.4.5 Función De Pérdida De Taguchi**

Las filosofías y metodologías de Taguchi siempre han estado vinculadas con la idea de conseguir una alta calidad en los procesos / productos al mínimo coste posible. Una definición clara y sencilla de calidad es buscar de las alternativas de capacidad para satisfacer, cumplir y superar siempre las expectativas de los clientes.

Taguchi merece créditos para poder observar por medio de los experimentos como ver la importancia del diseño experimental, se puede aplicar de manera formal en los procesos tales como diseños técnicos, lo que nos lleva a crear estrategias claves que optimicen los procesos o productos en las industrias.

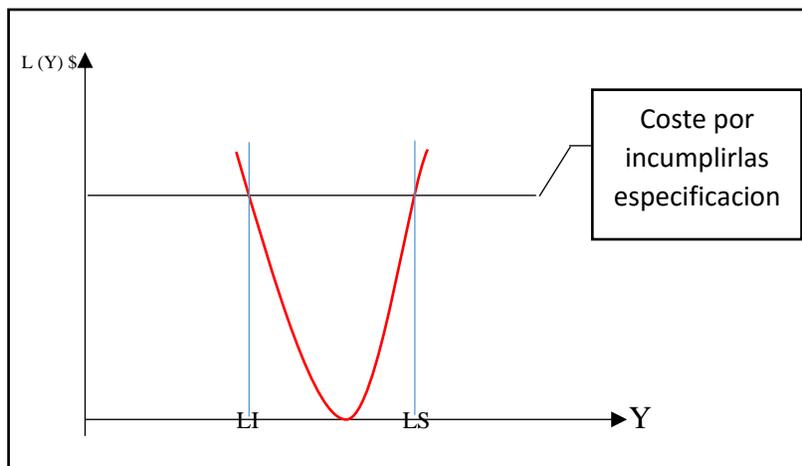
Su función de perdida se expresa en términos monetarios, lo cual, es un indicador que nos permite ver el impacto negativo a la sociedad (productor, consumidor, etc.)

Estos indicadores se miden por el desempeño del producto cuando se desvía de un valor designado como meta ( $t = \text{target}$ ), Es decir, las características de calidad de un producto/ proceso se estipulan o se manejan parámetros, lo cual deben estar lo más cerca posible a su valor ideal, “ $t$ ”, todo lo que se desvié de esos parámetros es lo que es llamado una perdida para la sociedad Lo que se define como:

$$L(y) = k(y - t)^2 \quad [1]$$

En la ecuación [1]  $k$  constante que depende de tolerancias y de los costos de reparación de un producto vistos desde el punto de vista del fabricante y el consumidor (Taguchi, 1986).

A partir de la función de pérdida de Taguchi se puede observar, analizar y describir que a medida que aumentan las características de calidad ( $y$ ) en los procesos o productos valores ideales “ $t$ ” (se alejan de la meta), la pérdida empieza a aumentar considerablemente lo que produce perdidas a largo plazo La función pérdida adopta una forma parabólica (Ver figura 3).



**Figura 3** función de pérdida de Taguchi.

#### 4.4.6 Diseño Con Arreglo Interno Y Externo (Diseño De Parámetros)

##### El Plan De La Experimentación

Para crear el diseño de parámetros propuesto por Taguchi es importante que existan al menos uno o varios factores de ruido (S/N).

Para poder realizar el diseño de arreglos externos e internos en los procesos se deben identificar los factores de ruido y los factores de control con los que se pretende optimizar. Una vez se hallan realizado se constituyen dos arreglos ortogonales, es decir, uno para cada tipo de arreglo.

En cada combinación de los factores controlables (arreglo interno) se están simulando los distintos tipos de ruidos que pueden estar en los experimentos (arreglos externos), La mejor combinación que puede existir en estos factores, es cuando los ruidos tienen el menor efecto (disminución de la variabilidad) y en el mismo se encuentre la media más cerca del valor nominal (ver tabla 4).

**Tabla 4** Ejemplo típico de un diseño robusto de experimentos.

Arreglo Interno		Parámetros De Ruido	Arreglo Externo						
			Humedad	25%	25%	75%	75%		
			Deterioro	Nuevo	Viejo	Nuevo	Viejo		
		Parámetros De Control				Resultados			
Nro.	Temperatura (°C)	Tiempo	Presión (Bar)	Material	y11	y12	y13	y14	
1	130	Bajo	30	A	y21	y22	y23	y24	
2	130	Bajo	50	B	.	.	.	.	
3	130	Alto	50	A	.	.	.	.	
4	130	Alto	30	B	.	.	.	.	
5	180	Bajo	50	A	.	.	.	.	

<b>6</b>	180	Bajo	30	B	.	.	.	.
<b>7</b>	180	Alto	30	A	.	.	.	.
<b>8</b>	180	Alto	50	B	y81	y82	y83	y84

Unas de las grandes ventajas del procedimiento de Taguchi es el uso de arreglos ortogonales (AO), ya que, es una herramienta estadística que ha permitido minimizar el número de ensayos y los prototipos necesarios para la experimentación.

La metodología del diseño factorial fue concebida por R.A. Fisher en (1920) lo cual consistía en un análisis estadístico, diseño de experimento y de los resultados cuando utilizaba todas las combinaciones posibles de las variables de control (Raktoe, Hedayat and Federer, 1981).

Unos de los problemas principales y asociados a los diseños factoriales es en primer lugar el aumento exponencial de las experimentaciones necesarias cuando se añaden variables al diseño.

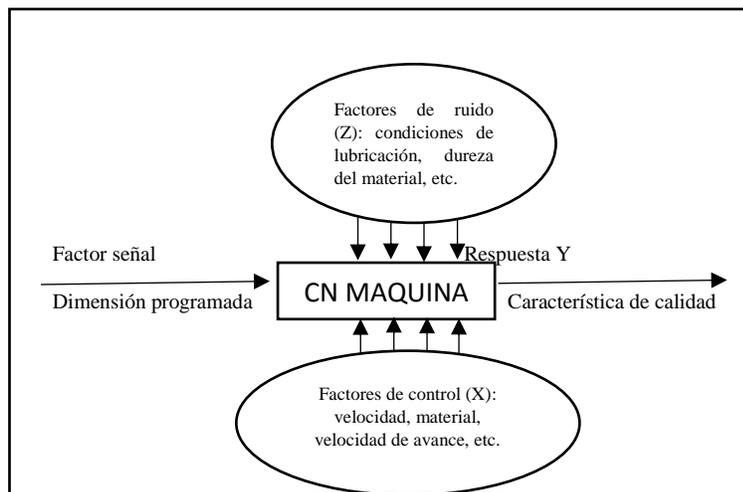
El arreglo ortogonal es una herramienta estadística donde solamente se tienen en cuenta ciertas combinaciones necesarias en los experimentos (en las variables de entradas) ver (tabla 5) buscando la mejor forma para poder optimizar la cantidad de información extraída en los experimentos.

**Tabla 5** Arreglos Ortogonales Más usuales

Arreglo ortogonal	Numero de factores	Números de niveles por factor	Numero de ensayos requeridos el arreglo ortogonal	Numero de ensayos en el clásico diseño factorial completo
$L_8 (2^7)$	7	2	8	128
$L_9 (3^4)$	4	3	9	81
$L_{12} (2^{11})$	11	2	12	2048
$L_{16} (2^{15})$	15	2	16	32768
$L_{18} (2^1 \times 3^7)$	1	2	18	4374
	7	3		

#### 4.4.7 Diagramas Esquemáticos

Los diagramas muestran los diferentes factores que intervienen en el diseño robusto a manera de ejemplo ver (figura 4).



**Figura 4** Diagrama Esquemático.

## 4.2 Control Numérico Computarizado (CNC)

### Revisión De Literatura De Tecnología De Manufactura Avanzada

[19] Realyvasquez (2012), El hace una revisión de este concepto, Se entiende que las Tecnología de Manufactura Avanzada comprenden un conjunto de tecnologías basadas en el control numérico por computadora, asimismo cuando se incorpora a una operaciones de manufactura tienen impactos significativo sobre el producto/proceso y los aspectos informacionales del sistema (Ordoobadi y Mulvaney, 2001). [20]

Percival y Cozzarin, (2010); Small y Chaen, 1995), Ellos afirman que los avances de estas estrategias han generado una fuerte ventaja competitiva a las organizaciones que adoptan estas tecnologías. Para Matta y Semeraro, 2005; Percival y Cozzarin, 2010) [21] [22] [23] [24]

Para Bayo-Moriones y Díaz (2004), Saraph y Sebastián (1992), Desde que se han iniciado las tecnologías, han proporcionado cambios significativos en las estrategias competitivas de las compañías manufactureras que buscan en ellas eficiencia, calidad, flexibilidad, de igual manera, que minimicen significativamente los costos y se optimice la calidad. Lo cual incluye tecnologías basadas en el uso de la computadora como: maquinaria CNC, sistemas para vehículos guiados automáticamente y diseño asistido por computadora (CAD). [25]

Según Dean y Snell (1991), Ellos comentaban que las características más importante es su potencial para integrar las diferentes etapas del proceso de manufactura Consecuentemente, permitió en el sector manufacturero, manejar grandes

volúmenes de productos estandarizados, como de pequeños lotes, con alta calidad (Gyan-Baffour, 1994). [26] [27]

Entre las tecnologías de manufactura avanzada se pueden encontrar las máquinas de herramientas de control numérico por computadora (CNC), sistemas flexibles de manufactura, líneas de flujo automatizado, manufactura asistida por computadora (CAM), sistemas de justo a tiempo (JIT), diseño asistido por computadora (CAD), robótica, tecnología de grupo, planificación de recursos de la empresa, sistemas automatizados de manejo manual de materiales, código de barras u otras técnicas de identificación automatizada (Chuu, 2009b; Matta y Semeraro, 2005; Percival y Cozzarin, 2010). [28]

De acuerdo con Maldonado-Macías (2009) y Realyvasquez (2012), Ellos explican que la evaluación y selección de TMA es un problema ergonómico complejo al que se enfrentan las organizaciones manufactureras en todo el mundo. Recientemente se han venido desarrollando modelos que facilitan la toma de decisiones sobre TMA y permiten llegar a soluciones más completas, rápidas y efectivas dentro de los ambientes de manufactura. [19] [29]

#### **4.2.1 Generalidades Del Control Numérico Computarizado (CNC)**

El control numérico computarizado (CNC), desde sus inicios ha sido una de las técnicas en tecnologías en manufactura más importantes en estos últimos 50 años, puesto que, el desarrollo innovador ha generado mecanizar piezas en grandes lotes y

velocidades de manera precisa, rápida y sencilla ya sea en máquinas de “torno” o “fresadoras”.

Estos avances que han surgido en las tecnologías de manufactura avanzada hoy en día pueden brindar indicaciones e instrucciones a las máquinas ya sea por medio de señales (códigos que se programan en una computadora o alfanuméricas) con el objetivo de maximizar la producción en las piezas con un menor tiempo posible y menor índice de factores de cansancio en los operarios. (Jiménez, 2011)

Hoy en día en las mayorías de las industrias, se manejan grandes expectativas en las empresas debido a las exigencias por parte de los clientes en sus productos y los rápidos cambios en las tecnologías actuales debido a las nuevas políticas mundiales en los mercados abiertos y globalización.

Todo esto se debe a una libre competencia, la necesidad de buscar liderazgos y posicionamiento en las industrias para permanecer las competencias y a los nuevos retos de los próximos años.

Una de las estrategias y alternativas que son usadas en estos tiempos frente a los cambios que se presentan, es la reestructuración de la industria en donde introducen elementos de la automatización, de igual importancia se debe hacer de la forma más óptima posible sin olvidar los factores como la capacidad de producción y el índice del rendimiento de la inversión en estos negocios.

Uno de los acontecimientos importantes de la automatización industrial es el uso de máquinas y herramientas de control numérico computarizado (máquinas CNC), tanto que han manifestado ventajas en las industrias.

#### **4.2.2 Programación En El Control Numérico**

Se pueden utilizar los siguientes métodos de programaciones la programación manual y la programación automática.

##### **Programación Manual**

Para este caso, se escribe únicamente por medio de experiencias, análisis, razonamientos y cálculos que realiza un operario. Lo cual, el programa de mecanizado comprende los conjuntos de datos que el control numérico necesita para la mecanización de las piezas.

La programación comprende una secuencia de datos alfanuméricos lo que debe contener todas las funciones tecnológicas, geométricas y máquina del mecanizado.

El comienzo del control numérico siempre se ha caracterizado por un desarrollo anárquico de los códigos de programación. Se ha visto la necesidad de normalizar los códigos de programación como la condición indispensable de que sea uno en general en el programa que pueda servir para las diversas máquinas.

Unos de los caracteres más usados comúnmente, regidos bajo la norma DIN 66025 y 66024 son, entre otros, son los siguientes:

- **N:** es la dirección correspondiente al número de bloque o secuencia. La dirección viene seguida normalmente de un número de tres o cuatro cifras. número máximo de bloques que pueden programarse es 1000 (N000 hasta N999).
- **(X, Y, Z):** son las cotas correspondientes según los ejes (X, Y, Z) (planos cartesianos) de la máquina-herramienta.
- **G:** funciones preparatorias. Se emplea comúnmente para informar al control las diferentes funciones de mecanizado, a manera de ejemplo, tipo de herramientas, forma de la trayectoria, programación absoluta y relativa, etc.
- **M:** Se usan para indicar a la máquina herramienta que gire en un sentido sirven para realizar operaciones tales como: rotación del husillo a derechas o a izquierdas, cambio de útil, etc.
- **F:** dirección correspondiente a la velocidad de avance. Va seguida de un número de cuatro cifras que indica la velocidad de avance.
- **S:** dirección correspondiente a la velocidad de rotación del husillo.
- **(I, J, K):** son direcciones utilizadas para programar arcos de circunferencia
- **T:** dirección correspondiente al número de herramienta. Va seguido de un número de cuatro cifras en el cual los dos primeros indican el número de herramienta y los dos últimos el número de corrección de las mismas.

### **Programación Automática**

Para este caso, los cálculos respectivos se realizan en un computador a partir del modelo de CAD, que se han generado en el software CAD/CAM, el cual es traducido mediante un adecuado lenguaje de máquina para cada control por Computadora.

### **4.2.3 Últimos Avances**

En los últimos años para optimizar y sacar mejor rendimiento al sistema control numérico computarizado (CNC), se han creado dispositivos semiconductor llamado FPGA (del inglés Field Programmable Gate Array). Por medio de bloques de lógicas cuyas interconexiones y funcionalidades pueden ser configuradas mediante un lenguaje especializado tan sencillas por un sistema combinacional o por una puerta lógica hasta sistemas en un chip.

Las FPGA se utilizan comúnmente en aplicaciones similares a los ASICs con las diferencias de que tienen un mayor consumo de potencia, son más lentas y no pueden englobar sistemas tan complejos.

Debido a esto, los FPGA unas de las ventajas que contienen es que son reprogramables, sus costes de desarrollo y son muchos menores en pequeñas cantidades de dispositivos y el tiempo de desarrollo.

La trayectoria de interpolación es una herramienta importante de los sistemas computarizados de control numérico (CNC) está relacionada con la precisión mecanizado, suavidad de la herramienta de movimiento y la eficiencia en general. [30]

#### **4.2.4 Aplicaciones CNC**

Los controles numéricos computarizados, Aparte de emplear en las máquinas-herramienta como taladro, fresadora y torno también se sirven para modelar Metales y otros materiales, el control numérico computarizado CNC tiene aplicación en la fabricación de varios productos como en el caso de la carpintería, ebanistería, etc.

Estas aplicaciones en los sistemas de control numérico computarizado CNC desde su creación han hecho aumentar enormemente la producción en las industrias a un menor tiempo.

Finalmente, el uso de control numérico computarizado CNC incide favorablemente en las optimizaciones de procesos, disminuyendo los costos de producción, proporciona la calidad y los bajo costes de fabricación en muchas máquinas.

### 4.3 Optimización Del Procesos De Mecanizado En Controles Numéricos Computarizados CNC Aplicados A Los Aceros Inoxidables

#### 4.3.1 Caso De Estudio 1: “Método De Taguchi Para La Optimización Del Proceso en Torno”

Un grupo de ingenieros Krishankant, Jatin Taneja, Mohit Bector, Rajesh Kumar del Grupo Global de Instituciones Galaxy, Dinarpur, Ambala, India. Ellos mencionan en su investigación la optimización del método de Taguchi en los aceros, donde experimentaron para reducir la tasa de eliminación del material, para esto utilizaron como herramientas las barras en aceros, con diámetro 44 mm y longitud 60 mm. [31]

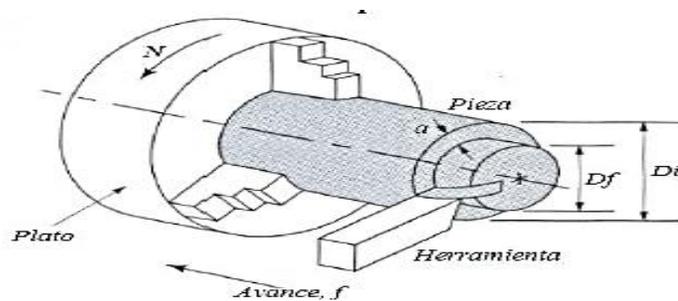


Figura 5 Variables de los procesos de torneado

Para llevar a cabo el experimento, ellos establecieron tres parámetros o factores de mecanizado en el torno como lo son: Velocidad del giro, Velocidad de avance, Profundidad de corte.

Luego de haber asignados los parámetros crearon la matriz ortogonal de Taguchi, lo cual fue diseñada con los tres niveles de los parámetros dichos experimentos se hicieron nueve experimentos lo cual para su ejecución usaron la herramienta estadística como lo es el software Minitab15.

#### 4.3.1.1 Herramientas y Experimentos

Para su realización de sus experimentos utilizaron la máquina que son mayormente usadas en tipos de procesos como el caso de la torno (ver figura 2).



**Figura 6** Máquina torno usada en el experimento.

**Plaquita de corte torno:** esta herramienta realiza cortes de un solo punto de acero a alta velocidad.



**Figura 7** Plaquita de corte torno.

### 4.3.1.2 Parámetros De Los Procesos

Ellos en sus estudios y experimentos manejaron parámetros en la maquina torno CNC y establecieron los siguientes niveles en los experimentos y fueron los siguientes, la velocidad del giro varía entre los niveles 216 y 536 (rpm). En la velocidad de avance que establecieron entre los niveles fue de 0,388 y 0458 (mm/rev). En la profundidad de corte del material en este caso el acero inoxidable sus niveles varían entre 0,9 y 1,1 (mm) para ver de manera detallada los parámetros de los procesos ver (tabla 6).

**Tabla 6** parámetros de los procesos.

<b>Nivel</b>	<b>Velocidad Del Giro (rpm)</b>	<b>Velocidad De Avance (mm/rev)</b>	<b>Profundidad De Corte (mm)</b>
<b>1</b>	216	0,388	0,9
<b>2</b>	347	0,418	1,0
<b>3</b>	536	0,458	1,1

Luego de haber encontrados los parámetros óptimos para este proceso de acero, ellos procedieron a hacer las combinaciones para poder hacer el arreglo ortogonal se realizaron 9 experimentos y las respectivas combinaciones de acuerdo a cada nivel para encontrar los óptimos parámetros (ver tabla 7).

**Tabla 7** diseño de experimento.

<b>Nro.</b>	<b>Velocidad Del Giro (Rpm)</b>	<b>Velocidad De Avance(mm/rev)</b>	<b>Profundidad Del Corte (mm)</b>
<b>1</b>	216	0,388	1,1
<b>2</b>	216	0,418	1
<b>3</b>	216	0,458	0,9
<b>4</b>	347	0,388	1
<b>5</b>	347	0,418	0,9
<b>6</b>	347	0,458	1,1
<b>7</b>	536	0,388	0,9
<b>8</b>	536	0,418	1,1
<b>9</b>	536	0,458	1

#### **4.3.1.3 Arreglo Ortogonal Taguchi**

Ellos hicieron una lista de los nueve Experimentos en un orden particular que cubren todos los factores en general Para sus Nueve experimentos les representaran un índice del 99.96% de resultados precisos en todo el experimento. En sus estudios existen un total de seis velocidades de giro, lo ubicaron tres niveles ver (la tabla 6).

Una vez que se hayan definido los parámetros experimentales en el proceso, se pueden ver que para una matriz de un arreglo de  $L_{(3^3)}$  es decir, tres niveles con tres variables lo que conlleva a realizar un total de 27 combinaciones, el objetivo de optimizar el comportamiento de las variables y de los materiales que se encuentran en estos procesos de las calidad (ver tabla 8).

<b>Nro.</b>	<b>Velocidad Del Giro (Rpm)</b>	<b>Velocidad De Avance(mm/rev)</b>	<b>Profundidad Del Corte (mm)</b>
<b>1</b>	1	1	3
<b>2</b>	1	2	2
<b>3</b>	1	3	1
<b>4</b>	2	1	2
<b>5</b>	2	2	1
<b>6</b>	2	3	3
<b>7</b>	3	1	1
<b>8</b>	3	2	3
<b>9</b>	3	3	1

**Tabla 8:** 3 factores columnas 1.2.3

Procedieron a calcular los factores de señal/ruido(S/N) y la media, para ellos utilizaron software de herramientas estadísticas minitab 15, para poder encontrar las características del factor ruido en este caso.

Ellos querían maximizar por lo tanto usaron la característica de calidad “mientras más grande es mejor” ver (tabla 2). La relación señal ruido (S/N) para “mientras más grande es mejor” su ecuación es el número de mediciones viene dada por ver (tabla 3).

Los valores de MRR fueron medidos a partir de sus experimentos y Los valores de relación (S/N) se calculan tomando en consideración la Ecuación del factor de ruido Con la ayuda del software Minitab 15 como herramienta de estadística (ver tabla 9 arreglo ortogonal de Taguchi en los aceros inoxidables).

**Tabla 9** Análisis arreglo ortogonal de Taguchi para la optimización de los procesos de aceros.

Nro	Velocidad Del Giro (Rpm)	Velocidad De Avance (mm/rev)	Profundidad Del Corte (mm)	MRR1 (g/sec)	MRR 2 (g/sec)	S/N Radio	Media
1	216	0,388	0,9	1,44	1,40	3,04318	1,420
2	216	0,418	1,0	1,27	1,30	2,17629	1,285
3	216	0,458	1,1	1,53	1,54	3,72203	1,535
4	347	0,388	1,0	2,20	2,20	6,84845	2,200
5	347	0,418	1,1	2,00	2,08	6,14708	2,030
6	<b>347</b>	<b>0,458</b>	<b>0,9</b>	<b>2,25</b>	<b>2,21</b>	<b>6,96505</b>	<b>2,230</b>
7	536	0,388	1,1	0,99	0,98	-0,13161	0,9085
8	536	0,418	0,9	2,25	2,14	6,82051	2,195
9	536	0,458	1,1	1,72	1,88	5,07971	1,800

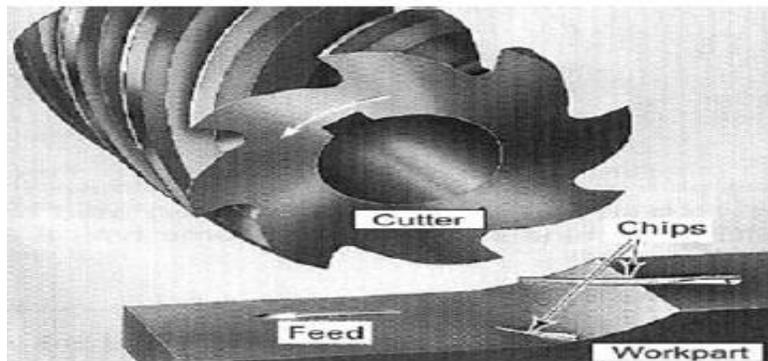
### Análisis

Independientemente de las categorías de las características del rendimiento todas son importantes con el hecho de que se maximice no quiere decir se podría minimizar, para comprender los parámetros más óptimos que brinden la calidad en estos tipos de procesos de aceros para este experimento un mayor valor (S/N) corresponde a un mejor rendimiento.

Por lo tanto, el nivel óptimo de los parámetros de mecanizado es el nivel con el mayor valor que corresponde al experimento 6, para alcanzar los objetivos se tiene que efectuar una velocidad de giro de 347 (rpm), con una velocidad de avance del 0,458 (mm/rev), con una profundidad de corte del 0,9 (mm), la tasa de índice de desperdicio o desecho del material esta varía entre 2,21 y 2,25 para lograr optimizar estos procesos con buena características de calidad.

### 4.3.2 Caso De Estudio 2: “Método De Taguchi Para La Optimización Fresadora”

Según los ingenieros del departamento de ingeniería mecánica Amit Joshi<sup>1</sup>, Pradeep Kothiyal, Ruby Pant. Ellos comentan en su investigación que utilizaron el método de Taguchi en el mecanizado vertical de fresado CNC en un proceso de eliminación del material de aceros (MRR), durante el proceso de fresado final investigaron los efectos de varios parámetros del proceso en los cuales tomaron factores controlables como la velocidad de giro, velocidad de avance y profundidad del corte donde evaluaron el impacto sobre la tasa del rendimiento del material empleando la metodología de Taguchi y el uso herramientas como las brocas. [32]



**Figura 8** variables de control en fresado y la herramienta broca.

#### 4.3.2.1 Recolección de datos y experimentos

Ellos desarrollaron los experimentos en tres fases: 1. Planificación, 2. Conducción 3. Análisis y con la ayuda de la matriz ortogonal Taguchi L9, para ello

emplearon el software Minitab 15 para realizar los respectivos diseños de experimentos (ver tabla 10).

**Tabla 10** factores controlables para el proceso de fresado.

<b>Factor de control</b>	<b>Símbolos</b>
Velocidad de giro	Factor A
Velocidad de avance	Factor B
Profundidad de corte	Factor C

#### 4.3.4.2 Diseño de niveles óptimos para los procesos

Para el diseño experimental en el proceso de aceros, ellos tuvieron en cuenta algunos parámetros óptimos que son comúnmente usados en los procesos los cuales se muestran a continuación ver (tabla 11).

**Tabla 11** parámetros del proceso en fresado.

<b>Nivel</b>	<b>Velocidad Del Giro (A) (Rpm)</b>	<b>Velocidad De Avance (B) (mm/rev)</b>	<b>Profundidad Del Corte (C) (mm)</b>
<b>1</b>	800	60	0,2
<b>2</b>	1000	80	0,3
<b>3</b>	1200	100	0,4

#### 4.3.4.3 Diseño de experimentos

Luego de haber asignado los niveles óptimos en estos procesos se determinan las combinaciones respectivas para crear el arreglo ortogonal de Taguchi, para el siguiente experimento se tomaron 9 los cuales se crearían 27 combinaciones según Taguchi  $L_{(3^3)}$  ver (tabla 12).

**Tabla 12** diseño de experimento del fresado.

<b>Nro.</b>	<b>Velocidad de giro (rpm)</b>	<b>Velocidad de avance (mm/min)</b>	<b>Profundidad de corte (mm)</b>
<b>1</b>	800	60	0,2
<b>2</b>	800	80	0,3
<b>3</b>	800	100	0,4
<b>4</b>	1000	60	0,3
<b>5</b>	1000	80	0,4
<b>6</b>	1000	100	0,4
<b>7</b>	1200	60	0,4
<b>8</b>	1200	80	0,2
<b>9</b>	1200	100	0,3

#### 4.3.4.4 Arreglo Ortogonal De Taguchi

Ellos luego de haber creado el diseño de experimentos, donde se puede ver en (tabla 11) se puede notar que se hicieron 9 experimentos en fresado vertical CNC. Después de cada experimento se calcula MRR y usaron la característica de calidad “mientras más grande es mejor” antes mencionada en (tabla 3), a continuación se calculan las relaciones (señal/ ruido) en los recorridos experimentalmente y se calculan basándose en el software de herramienta estadística minitab15 ver (tabla 13).

Se puede notar a grandes rasgos que el factor señal que ayuda a optimizar las variables de acuerdos a los niveles estipulados y a los diseños experimentados los parámetros para el acero inoxidable que se deben aplicar es de una velocidad de giro de 1000 (rpm), una velocidad de avance 80 (mm/rev) y una profundidad de corte 9,245 (mm) para poder brindar una mejor calidad en los procesos del acero inoxidable.

**Tabla 13** Arreglo ortogonal del fresado

Nro.	Velocidad Del Giro (rpm)	Velocidad De Avance(mm/rev)	Profundidad Del Corte (mm)	MRR (mm <sup>2</sup> /sec)	Factor Señal (S/N)
1	800	60	0,2	4,275	12,6185
2	800	80	0,3	6,635	16,4368
3	800	100	0,4	8,360	18,441
4	1000	60	0,3	6,730	16,5603
5	<b>1000</b>	<b>80</b>	<b>0,4</b>	<b>9,245</b>	<b>19,3178</b>
6	1000	100	0,2	4,365	12,7995

7	1200	60	0,4	8,420	18,5062
8	1200	80	0,2	4,180	12,4235
9	1200	100	0,3	6,180	15,8197

## 5 CONCLUSIONES

Después de realizar los análisis respectivos en la optimización en los procesos de mecanizado en control numérico computarizado (CNC) aplicado en aceros inoxidable, primeramente se determinaron los parámetros óptimos en los procesos de aceros inoxidable encontrados en las revistas especializadas de mayor confiabilidad con el fin de estudiar las causas y las principales variables encontradas en las maquinas (CNC) para el presente estudio se considerado exclusivamente en el “torneado y fresado” lo cual, son comúnmente encontrado variables controlables como lo son la velocidad de giro, velocidad de avance y profundidad del corte y los factores de ruidos (no controlables) que intervienen en la mejoras o cambios en estos procesos.

Se estudiaron las diferentes tipos de herramientas recomendables para estos tipos de procesos, se encontraron que las plaquitas de corte, las brocas son mayormente empleadas en las máquinas de torno y fresado significativamente para los procesos de aceros inoxidable.

Finalmente ya identificadas las variables controlables y no controlables se verifico el método del Dr. Genichi Taguchi para la optimización de los procesos de aceros inoxidable en mecanizado fresadora y torno control numérico computarizado

(CNC), se aplicaron sus herramientas enfocadas a la ingeniería de la calidad de los procesos/productos, luego de haber creado el diseños de experimentos y los parámetros más usados en los procesos se crearon los arreglos ortogonales para poder encontrar por medio de combinaciones experimentales matriciales y las características deseadas para los dos casos se aplicaron “mientras más grande es mejor”. Indudablemente se puede usar cualquier tipo de característica ya sea de acuerdo a las necesidades que deseen emplear y así mismo se pudo encontrar la optimización para mejorar la calidad en estos procesos y la aplicación de las contribuciones de Taguchi se evidencia que es de bajo costo lo que le generaría valor a las organizaciones.

## **6 RECOMENDACIONES**

Una vez terminada la investigación, se le recomienda al lector interesante que haga un énfasis más profundo los mecanismos de:

- ✓ Hacer un estudio exhaustivo del diseño experimental y Taguchi para la optimización de procesos de mecanizados en diferentes tipos de máquinas CNC como taladrado, cortador de láser, en otros tipos de materiales como los metales y otros.
- ✓ El rango de parámetros tecnológicos desempeña un papel muy importante En el fresado final, se recomienda el uso de alta velocidad de corte, baja velocidad de avance y baja profundidad de corte para obtener un mejor acabado para el rango de ensayo específico en un material deseado.

- ✓ Sería interesante crear ambientes de investigación en ingenieros industriales donde apliquemos estudios exhaustivos del diseño experimental y las metodologías del ingeniero Taguchi en los laboratorios de nuestra bella universidad para la optimización de procesos/productos en diferentes materiales buscando orientar la mejora continua y los enfoques de calidad en los procesos, productos y servicios que generen valor a la sociedad.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia- N. O37. pp. 164-175. julio, 2006.
- [2] M. Nalbant, H. Gökkaya, G. Sur, Application of the Taguchi method in the optimization of cutting parameters in turning, Mater. Des. 28 (2007) 1379-1365.
- [3] Tzeng, CJ, Lin, YH, Yang, YK, Jeng, MC, 2009. "Optimization of the turning operation with multiple performance characteristics using the Taguchi method and the Journal of Material Processing Technology" 209, 2753- 2759.
- [4] Sanjit Moshat, Saurav Datta, Asish Bandyopadhyay and Pradip Kumar Pal, "Optimization of CNC end milling process parameters using the taguchi method" (2010), International Journal of Engineering, Science and Technology, Vol., PP 92-102.Disponible:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581403327X>
- [5] Joshi. A and Kothiyal. P, 2012. Investigating the effect of machining parameters of CNC milling on the surface finish by the Taguchi method. International Journal of Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering.
- [6] Sharma, P., Bhambri, K., 2012. Multi-Response Optimization by Experimental Investigation of CNC Turning Machining Parameters by Taguchi Based on Analysis. International Journal of Engineering Research and Applications
- [7] B.Singarvela \*, T.Selvarajb, R.Jeyapaulc, 2014. "Multi Objective Optimization in Turning of EN25 Steel Using Taguchi Based Utility Concept Coupled With Principal Component Analysis" International Journal of Engineering Research and Applications disponible:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814032962>.

- [8] G.E.P. Box, "Discussion on Kacker's (1985) article", *Journal of Quality Technology*, vol. 17, No 4, pp.189-190, Oct. 1985.
- [9] R.N Kacker., "Off-line Quality Control, Parameter Design, and the Taguchi Method", *Journal of Quality Technology*, vol 17, pp.176-188. Oct. 1985.
- [10] Montgomery, C. Douglas. *Diseño Y Análisis De Experimento*. México: Grupo Editorial Limusa Wiley, 2011.
- [11] G. Taguchi, *Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Products and Processes*, Asian Productivity Organization, NY, 1986.
- [12] D.M. Byrne y S. Taguchi, "The Taguchi Approach to Parameter Design", *Quality Progress*, Diciembre, 1987.
- [13] A. Miller, R. Sitter, C. F. J. Wu y D. Long "Are large Taguchi-style experiments necessary? A reanalysis of gear and pinion data", *Quality Engineering*, 6, pp 21-37.1993.
- [14] M.S. Phadke, *Quality engineering using robust design*. Prentice Hall, 1989.
- [15] R.L. Plackett, y J.P. Burman, "The design of optimum multifactorial experiments", *Biometrika*, 33, pp 305 - 325. 1946.
- [16] G. Box, "Signal-to-Noise Ratios, Performance Criteria, and Transformations," *Technometrics*, Vol. 30, No 1, pp. 1-17. Feb. 1988.
- [17] T.P. Ryan, *Statistical Methods for Quality Improvement*, John Wiley & Sons, New York, NY. 1989.
- [18] G. E. P Box y S. Jones. "Split-plot designs for robust experimentation", *Journal of Applied Statistics*, Vol 19 No (1), pp. 3-25. 1992
- [19] Realyvasquez Vargas, A. (2012). *Desarrollo de un Sistema Experto para la evaluación de la compatibilidad Ergonómica en la selección de Tecnología de Manufactura Avanzada mediante Reglas difusas*. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Tesis de Maestría.
- [20] Ordoobadi, S. M., Mulvaney, N. J. (2001). *Development of a Justification Tool for advanced manufacturing technologies: system-wide benefits value analysis*. *Journal of Engineering and Technology Management*. Vol. 18. pp. 157-184
- [21] Percival, J. C., Cozzarin, B. P. (2010). *Complementarities in the implementation of advanced manufacturing technologies*. *Journal of High Technology Management Research*. Vol. 21. pp. 122-135.
- [22] Small, M. H., Chaen, I. J. (1995). *Investment Justification of advanced manufacturing technology: an empirical analysis*. *Journal of Engineering and Technology Management*. Vol. 12. pp. 27-55.

- [23] Matta, A., Semeraro, Q. (2005). Design of Advanced Manufacturing Systems. Models for Capacity Planning in Advanced Manufacturing Systems. Springer. pp. 1-10.
- [24] Percival, J. C., Cozzarin, B. P. (2010). Complementarities in the implementation of advanced manufacturing technologies. Journal of High Technology Management Research. Vol. 21. pp. 122-135.
- [25] Bayo-Moriones, A., Merino, J. (2004). Employee Involvement: Its Interaction With Advanced Manufacturing Technologies, Quality, Management, and Inter-Firm Collaboration. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, Vol. 14 (2), pp. 117-134.
- [26] Dean, J., y Snell, S. (1991). Integrated manufacturing and job design: Moderating effects of organizational inertia. Academy of Management Journal, 34(4), 776-804.
- [27] Gyan-Baffour, G. (1994). Advanced manufacturing technology, employee participation and economic performance: An empirical analysis. Journal of Managerial Issues, 6(4), 491-505
- [28] Chuu, S. J. (2009b). Selecting the advanced manufacturing technology using fuzzy multiple attributes group decision making with multiple fuzzy information. Computers & Industrial Engineering. Vol. 57. pp. 1033-1042.
- [29] Maldonado-Macías, A. A. (2009). Modelo de Evaluación Ergonómica para la Planeación y Selección de Tecnología de Manufactura Avanzada. Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, Disertación Doctoral.
- [30] De Santiago-Perez, J.J., et al., *FPGA-based hardware CNC interpolator of Bezier, splines, B-splines and NURBS curves for industrial applications*. Computers & Industrial Engineering, 2013. **66**(4): p. 925-932.
- [31] Application of Taguchi Method for Optimizing Turning Process by the effects of Machining Parameters, International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN: 2249 – 8958, Volume-2, Issue-1, October 2012
- [32] Experimental Investigation Of Machining Parameters Of Cnc Milling On Mrr By Taguchi Method. Disponible: <http://www.ripublication.com/ijaer.htm>