



**Instituto Universitario de Tecnología del Oeste
Í Mariscal SucreÍ
Universidad de Holguín
Í Oscar Lucero MoyaÍ
Facultad de Ingeniería
Centro de Estudios CAD/CAM**

**METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA
AUTOMATIZADO PARA LA SELECCIÓN DE LOS PARAMETROS DEL
RÉGIMEN DE CORTE EN EL TORNEADO DE ACEROS INOXIDABLES
EN MÁQUINAS CNC.**

**Tesis presentada en opción al título de Master en Diseño y
Fabricación Asistidos por Computadora para la Rama Metal Mecánica
(CAD/CAM).**

Autor:Prof. Freddy Clemente Contreras

Caracas

Mayo 2008



**Instituto Universitario de Tecnología del Oeste
Í Mariscal SucreÍ
Universidad de Holguín
Í Oscar Lucero MoyaÍ
Facultad de Ingeniería
Centro de Estudios CAD/CAM**



**METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA
AUTOMATIZADO PARA LA SELECCIÓN DE LOS PARAMETROS DEL
REGIMEN DE CORTE EN EL TORNEADO DE ACEROS INOXIDABLES
EN MAQUINAS CNC.**

**Tesis presentada en opción al título de Master en Diseño y Fabricación
Asistidos por Computadora para la Rama Metal Mecánica (CAD/CAM).**

Autor: Prof. Freddy Clemente Contreras.

Tutor: Dr. C. Noel Álvarez del Pino.

Caracas

Mayo 2008



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis seres amados, mis hijos, mi madre y mi esposa, sin su apoyo no hubiera logrado culminarlo.

El tiempo dedicado a la investigación lo robe de los ratos que con ellos debía compartir.

En todo momento me animaron a seguir adelante y me hicieron ver que si podía lograrlo.



PDF Complete
*Your complimentary use period has ended.
Thank you for using PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

AGRADECIMIENTOS

A todas luces se aprecia el gran esfuerzo que el equipo de profesores de la República de Cuba ha realizado para el éxito de esta maestría. Sin ningún tipo de interés han hecho sacrificios ofreciendo lo mejor de si para el desarrollo académico de los participantes, permitiendo el nacimiento de un verdadero vínculo de amistad.

Su trabajo redunda en el desarrollo de nuestro país por lo que me atrevo en representación del pueblo de la Republica Bolivariana de Venezuela a expresarles mil gracias.

Las Autoridades y profesores del Instituto Universitario de Tecnología del Oeste ~~%~~ Mariscal Sucre+han hecho un trabajo notorio y digno de reconocimiento para la organización, desarrollo y culminación eficiente de esta maestría. Por lo que les expreso un gran agradecimiento.

A las autoridades de la Universidad Nacional Experimental Politécnica ~~%~~ Antonio José de Sucre+ Vicerrectorado ~~%~~ Luis Caballero Mejias+ Núcleo Caracas por facilitarme la participación en esta maestría, muchas gracias.



Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

SINTESIS

El presente trabajo afrontó la dificultad para determinar valores de parámetros del régimen de corte que aseguren índices de exactitud durante el torneado de piezas de acero inoxidable con bajos niveles de gastos por herramientas de corte. Éste problema se abordó experimentalmente con los objetivos de: caracterizar el estado actual de los conocimientos científicos sobre la relación de los parámetros del régimen de corte con la vida útil de la herramienta y la exactitud de fabricación; desarrollar un estudio experimental de maquinabilidad de aceros inoxidables en un torno CNC para conocer la relación entre los valores de las variables del régimen de corte, las exigencias dimensionales establecidas por los diseñadores y la vida útil de las herramientas; diseñar una aplicación informática que permita seleccionar los parámetros de los regímenes de corte durante el torneado de aceros inoxidables que garanticen la vida útil económica de las herramientas y la exactitud dimensional de la pieza. Para el desarrollo experimental se definieron como variables independientes: el material de la pieza, la sección de viruta, la velocidad de corte, la herramienta de corte, el tipo de operación y el refrigerante de las cuales las tres últimas se ajustaron a un valor fijo. Como variables dependientes la rugosidad superficial, la vida útil herramienta y la exactitud dimensional. Los resultados del experimento se procesaron en una base de datos y para su gestión se desarrolló una aplicación que permite seleccionar el régimen de corte económico según la dinámica de un taller específico.

INDICE

Contenido	Pág.
INTRODUCCION	1
1. ANTECEDENTES Y ACTUALIDAD DEL MECANIZADO DE ACERO INOXIDABLE POR ARRANQUE DE VIRUTA	8
1.1 Corte de los metales por arranque de virutas.	8
1.1.1 Modelo Ortogonal para el estudio de los procesos de corte por arranque de viruta.	10
1.2 Herramientas de corte	11
1.2.1 Vida útil de las herramientas de corte.	12
1.2.2 Materiales para la fabricación de las herramientas de corte.	17
1.3 Maquinabilidad.	25
1.3.1 Parámetros fundamentales del proceso de torneado.	27
1.4 Efectos de los procesos de corte sobre la calidad superficial.	29
1.5 Rugosidad superficial.	30
1.6 Material de las piezas a mecanizar.	34
1.7 Aplicaciones CAD . CAM como herramientas en el maquinado con arranque de viruta.	36
1.8 Conceptos básicos de bases de datos.	38
1.8.1.- Modelo Entidad Relación.	42
1.8.2.- Bases de datos <u>Access de Microsoft.</u>	45

Conclusiones Capítulo I	47
2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE LOS PARAMETROS DE CORTE MAS ECONÓMICOS PARA EL MAQUINADO DE ACEROS INOXIDABLES.	49
2.1 Selección de variables dependientes.	49
2.2 Selección de variables Independientes con valores fijos.	51
2.3 Selección de variables Independientes con valores variables.	54
3 METODOLOGIA PARA EL DISEÑO DE UNA APLICACIÓN INFORMATICA PARA EL CÁLCULO DE REGIMEN DE CORTE ECONÓMICO DE TORNEADO DE ACERO INOXIDABLE.	63
CONCLUSIONES.	
RECOMENDACIONES.	
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	
ANEXOS.	



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

INTRODUCCIÓN

En los sistemas de manufactura contemporáneos, la calidad de los productos y el uso acertado de los recursos son condiciones indispensables para lograr competitividad. Los procesos de fabricación por mecanizado no escapan a esta afirmación.

De los materiales utilizados para la fabricación de piezas por mecanizado, los aceros inoxidable son unos de los más importantes para la industria actual por su capacidad anticorrosiva y gran resistencia mecánica. Son empleados en la fabricación de; artículos para la manipulación de alimentos y sustancias corrosivas, instrumentos quirúrgicos y otros. Por lo que se puede asegurar que son materiales de alta demanda en todo el mundo y en particular en Venezuela.

No obstante los avances tecnológicos actuales se presentan dificultades en el mecanizado de los aceros inoxidable. En un trabajo realizado por Gandarías, Lizarralde, Alzaga, Zelaieta [9] se exponen detalladamente las características fundamentales del proceso de maquinado de aceros inoxidable las cuales se pueden resumir en:

- Arista cortante de la herramienta sometida a altos niveles de temperaturas y fuerzas de corte.
- Crecimiento del filo de aportación

- Endurecimiento del material por deformación plástica en mayores niveles que el resto de los materiales.
- Bajos valores de los parámetros del régimen de corte.
- Baja productividad.
- Corta vida útil de la herramienta.
- Escasa maquinabilidad originada por la presencia de carburos abrasivos.
- Baja conductividad térmica ocasionándose concentración del calor en la zona de corte.
- Mala formación de viruta.

Según Sardiña [28] Las herramientas de corte utilizadas en los países desarrollados para el mecanizado tienen bajo precio en comparación con el resto de los componentes del costo total de fabricación, por lo que se registra la tendencia a reducir los tiempos de mecanizado para reducir los gastos por mano de obra y energía aumentando la productividad en detrimento de la vida útil de las herramientas de corte

Por el contrario en los países en desarrollo, uno de los elementos de peso en la racionalización de los recursos durante el proceso de mecanizado, lo constituyen las herramientas de corte de placas intercambiables de metal duro. Esto se debe a que el precio de estas herramientas es considerablemente alto comparado con el precio de otros componentes del costo total de fabricación, tales como los salarios, los materiales de la pieza y la energía eléctrica. Lo que ha generado la tendencia a proteger la herramienta durante el maquinado reduciendo el régimen de corte, aumentando el tiempo de mecanizado y disminuyendo la productividad.

En base a una investigación de López [17] Uno de los indicadores más importantes de la calidad de los productos obtenidos mediante el arranque de viruta es la exactitud dimensional y dentro de la misma la rugosidad superficial y la exactitud de forma, ya que estos influyen de manera determinante en el funcionamiento de los artículos. Estos indicadores de calidad dependen en gran medida del régimen de corte utilizado, además de las propiedades mecánicas del material y las características de las herramientas de corte.

El régimen de corte, cuando se usan máquinas convencionales, se establece en la práctica asignando valores a las variables del régimen de corte (velocidad de corte, avance y penetración de la herramienta) usando manuales y tablas especializadas ofrecidas por los fabricantes de herramientas de corte, donde se obtienen valores escalonados en rangos amplios, que en algunos casos no permiten obtener los resultados esperados en la superficie de la pieza mecanizada. Aun con el uso de máquinas CNC persiste el inconveniente de que los fabricantes en sus recomendaciones de los valores de los parámetros de corte favorecen la disminución del tiempo de mecanizado sobre la duración de la plaquita de corte produciéndose un desgaste rápido de la herramienta. Debido a esto, los tecnólogos se ven obligados a realizar pruebas antes de iniciar la producción o a corregir las variables de mecanizado durante el proceso para mantener el costo de producción en valores aceptables, produciéndose en consecuencia pérdidas en los tiempos de fabricación, uso no racional de las herramientas de corte y obtención de calidades superficiales no deseadas. En las condiciones de mecanizado con el uso de máquinas CNC y donde los volúmenes

de producción no son grandes todos los inconvenientes anteriormente mencionados adquieren mayor relevancia por lo que es necesario hallar los mejores valores de las variables de trabajo para garantizar una productividad aceptable con los mayores valores de vida útil de la herramienta. En una investigación de Castro [5] en la que cita a Vernol y Ozel (2003) se encuentra que "en la industria se seleccionan correctamente las herramientas de corte menos de la mitad de las veces y se usan esas mismas herramientas en sus velocidades óptimas un tercio de las veces".

Todo lo expuesto hasta el momento conduce a definir el problema de la presente investigación de la siguiente manera:

Dificultad para determinar los valores de los parámetros de los regímenes de corte para asegurar el logro de los índices de exactitud durante el torneado de piezas de acero inoxidable con bajos niveles de gastos por concepto de herramientas de corte.

En el presente trabajo se plantea la hipótesis de que el procesamiento informático de valores experimentales obtenidos en ensayos de maquinabilidad de aceros inoxidables, permite hallar una combinación de los parámetros del régimen de corte que garanticen obtener; una vida útil económica de las herramientas durante el torneado de acero inoxidable en máquinas CNC y los índices de exactitud previstos de las piezas, en las condiciones de las industrias Venezolanas.

Se trata de una aplicación de bases de datos que permitirá obtener para cada relación herramienta-material, el régimen de corte que ofrezca un menor gasto de

herramientas de corte con buenos índices de productividad, según los criterios desarrollados en base al resultado experimental.

El lenguaje Visual Basic se utiliza a fin de darle a la interfase de la aplicación más amplitud y la posibilidad de adicionar otras capacidades tales como; cálculos en Excel, importación de dibujos de Autocad, comunicación con la máquina CNC, etc., en vista a crear un sistema amplio de asistencia al tecnólogo.

Objetivo General.

Seleccionar automáticamente valores del régimen de corte para el torneado de aceros inoxidable en máquinas CNC que aseguren la exactitud requerida de las piezas con una vida útil económica de las herramientas

Objetivos específicos.

- 1- Caracterizar el estado actual de los conocimientos científicos sobre la relación de los parámetros del régimen de corte con la vida útil de la herramienta y la exactitud de fabricación.
- 2- Desarrollar la metodología experimental de maquinabilidad de aceros inoxidable elaborados en un torno CNC para conocer la relación entre los valores de las variables del régimen de corte, las exigencias dimensionales establecidas por los diseñadores y la vida útil de las herramientas.
- 3 . Proponer una aplicación informática que permita seleccionar los parámetros de los regímenes de corte durante el torneado de aceros inoxidable que garanticen la vida útil económica de las herramientas y la exactitud dimensional de la pieza.

Novedad.

La obtención de una metodología para el desarrollo de una herramienta informática mediante la cual se podrá ajustar los regímenes de corte, durante el maquinado de aceros inoxidables en tornos CNC, que garanticen la vida útil económica de la herramienta y la exactitud dimensional a partir de datos experimentales de maquinabilidad.

La aplicación Informática anterior permitirá:

- Seleccionar combinaciones de los parámetros de corte que permitan el maquinado de aceros inoxidables sin necesidad de ajustes posteriores durante el proceso de maquinado.
- Mejor utilización de las capacidades de las herramientas de corte lo que redundará en mayores beneficios económicos.

Metodología de la investigación

Los métodos de investigación utilizados en el presente trabajo son los siguientes:

Métodos empíricos: Permiten revelar y explicar las características fenomenológicas del estudio del corte de metales a través del maquinado en máquinas del tipo torno CNC. En la investigación se aplicarán los métodos empíricos siguientes:

- Método de observación científica. Observación directa del corte de metales durante el maquinado.
- Método experimental. Se empleó durante el diseño de los experimentos así como en su ejecución.

- Método de medición. Se aplicará durante la verificación de los valores obtenidos en cada una de las variables dependientes en la fase experimental.

Métodos teóricos: Permite la interpretación conceptual de los datos empíricos y revela las relaciones esenciales del objeto de la investigación, no observable directamente.

- Histórico-lógico: Este se aplica para establecer el estado del arte del tema de Investigación, como marco teórico referencial, permitiendo conocer qué se ha investigado sobre el corte de metales inoxidables a través del maquinado y qué aspectos generales se abordan en el fenómeno que se estudia.
- Análisis y Síntesis: Esta metodología es aplicada en la evaluación de los resultados obtenidos en los experimentos y en la síntesis de los mismos expresados en un sistema informático para el manejo de datos.



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

CAPITULO 1

ANTECEDENTES Y ACTUALIDAD DEL MECANIZADO DE ACEROS

INOXIDABLES POR ARRANQUE DE VIRUTAS.

1. ANTECEDENTES Y ACTUALIDAD DEL MECANIZADO DE ACEROS INOXIDABLES POR ARRANQUE DE VIRUTAS.

En la actualidad existen diversos métodos de elaboración para fabricar las partes componentes de las máquinas y mecanismos que el hombre utiliza en su quehacer cotidiano. Algunos como la Fundición se usan desde la antigüedad y otros como el Prototipado Rápido son de reciente creación. Otro método que ha resistido los embates del tiempo es el mecanizado por arranque de viruta debido fundamentalmente a su flexibilidad y aceptable productividad.

En este capítulo se hará una recopilación de los antecedentes y la actualidad de este método de elaboración.

1.1.-Corte de los metales por arranque de virutas.

La ciencia del corte de los metales ha evolucionado de la mano con el resto de los avances tecnológicos. Aunque antes de la revolución industrial hubo un desarrollo importante en el trabajo con los metales, es a partir de este momento clave de la historia cuando se registra el nacimiento científico de esta área del conocimiento.

En un trabajo de Boothroyd [4] se registra un breve recuento de los inicios de esta ciencia, citando a Finne L. quien destaca a los investigadores siguientes:

- Cocquilhat 1851: Cantidad de trabajo requerido para remover un determinado volumen de material en la operación de taladrado.

- Karting 1873: Tablas de datos a cerca de la cantidad de trabajo requerido para el corte de los metales
- Time 1870: Explicación del mecanismo de formación de virutas
- Tresca 1873: Importantes aportes a la explicación de la mecánica de la formación de viruta
- Mallock 1881: Formación de la viruta por cizallamiento, efecto de la fricción sobre la herramienta, efectos de los lubricantes en el proceso de corte. Aportes todavía hoy aceptados.
- Taylor 1906: Efectos del material de la herramienta y de las condiciones de corte sobre la vida de la herramienta
- Ernest y Merchant 1941: Mecánica del proceso de corte.

Actualmente se han realizado muchos trabajos de investigación en esta área pero tienen como base teórica los aportes de Taylor y Merchant los cuales serán descritos más adelante.

Dada la naturaleza amplia de la ciencia del corte de los metales, un estudio sobre este tema puede ser abordado desde muchas perspectivas, como son el material de la pieza a fabricar, las características de la herramientas, la generación de calor en la zona de corte y su disipación, la velocidad de corte, la cantidad y tipo de viruta generada, la rugosidad obtenida o bien combinaciones de ellas.

Dado que las características de la superficie de una pieza influyen de manera determinante en su funcionamiento, uno de los estudios más importante radica en conocer el efecto de las variables del proceso de corte en la rugosidad superficial de las piezas mecanizadas. Con el estudio de estas variables, se puede obtener

un patrón de respuesta que permita indicar cuáles inciden en el acabado superficial de manera significativa tal como lo plantea en sus estudios generales sobre manufactura Alting [3]

1.1.1.-Modelo ortogonal para el estudio de los procesos de corte con arranque de viruta.

A pesar de la gran variedad de formas de herramientas de corte, en la mayoría de los trabajos científicos se recurre al modelo de corte ortogonal para disminuir la cantidad de variables, lo cual facilita la obtención de las expresiones matemáticas que describen el proceso de corte. Posteriormente en estas expresiones se puede introducir la influencia que ejercen las variables excluidas mediante coeficientes de corrección generalmente obtenidos de forma empírica. En el Anexo 1 se muestra la descripción de este modelo con la finalidad de definir algunos términos básicos.

En el Modelo Ortogonal la herramienta en forma de cuña ejerce presión sobre el material a cortar. Cuando esta presión sobrepasa el límite de fluencia del material de la pieza se produce el corte deseado. Por lo anterior podemos afirmar que el corte de metales con arranque de virutas es en esencia un proceso de deformación plástica.

El uso de este modelo permite estudiar el comportamiento del material durante el proceso de formación de viruta, la influencia de la geometría y del material de la herramienta en el proceso de corte y el desgaste de las herramientas. Para los efectos de este trabajo se prestará especial atención a la relación existente entre ellos en el maquinado de aceros Inoxidables.

1.2. Herramientas de corte.

La evolución de las herramientas de corte ha estado muy ligada a la evolución de los conocimientos de metalurgia y ha estado motivada por un afán por el aumento de la productividad en los procesos de mecanizado como consecuencia del empleo de velocidades de corte y avances cada vez mayores que han conducido al mecanizado de alto rendimiento.

La parte cortante de las herramientas de corte está sometida a condiciones de trabajo muy severas debido a:

- a) Gran generación de calor producto a la deformación plástica de la capa cortada y a la fricción entre la viruta y la superficie de ataque. En el caso de la fricción en los procesos de corte, aunque es un par de fricción, no existe la etapa de funcionamiento estable de la curva de desgaste pues la capa cortada en cada instante es diferente, lo cual acelera el desgaste de la superficie de ataque.
- b) La masa relativamente pequeña de la parte cortante, la gran generación de calor y lo difícil del acceso de los medios refrigerante a la zona de corte hacen que la temperatura en la zona de corte alcance valores que disminuyen las propiedades mecánicas de los materiales que se usan en la fabricación de las herramientas.
- c) Esfuerzos altos debido a cargas grandes aplicadas en secciones relativamente pequeñas.

Las condiciones antes mencionadas obligan a encontrar soluciones que aumenten la vida útil de las herramientas. Una de ellas es la correcta selección de los

elementos geométricos de la parte cortante. En el anexo 2 se muestra la terminología más utilizada para identificar los ángulos y superficies.

El ángulo de ataque posterior afecta la manera en que se produce la viruta, este puede ser positivo o negativo. Si es positivo reduce la fuerza de corte, resultando una menor deflexión de la pieza y utillaje del porta-herramientas. Los ángulos negativos suelen emplearse en desbastes. Cuando el ángulo de ataque lateral aumenta, disminuye el esfuerzo de corte y la temperatura que se genera en la operación de mecanizado. El ángulo de filo de corte lateral influye decisivamente en la presión que ejerce la herramienta sobre la pieza.

1.2.1.-Vida útil de las herramientas de corte.

La vida útil de las herramientas de corte es un elemento crítico en los procesos de mecanizado. Ajustar los factores de corte con la finalidad de aumentar la productividad incrementa los gastos por concepto de herramientas. Por otra parte, disminuir los valores de los regímenes de corte con la finalidad de aumentar la vida útil de las herramientas influye negativamente en la productividad. Por estos motivos es de gran importancia profundizar en el estudio de los mecanismos de desgaste de las herramientas para establecer criterios que permitan encontrar una combinación ideal de los factores de corte desde un punto de vista económico.

Se entiende por vida útil el período de tiempo en el cual la herramienta conserva las características necesarias para permitir el corte del material cumpliendo con las especificaciones establecidas de calidad superficial y dimensional. El factor clave en la vida útil de la herramienta es el desgaste de la parte cortante lo cual

trae como consecuencia que esta no cumpla con los requisitos de rugosidad y exactitud de fabricación establecidos en el diseño.

Garmo, Black, Rakohser [11] clasifican el mecanismo de desgaste de las herramientas en dos tipos:

- Mecanismo de falla gradual: Desgaste progresivo en forma de cráteres en las superficies de ataque y de incidencia de la herramienta.
- Mecanismo de falla repentina: Falla impredecible, catastrófica ocurrida por una inutilización brusca de la herramienta.

Para los efectos de la presente investigación se tratará solo el desgaste gradual.

El desgaste ocurre debido a una gran variedad de motivos y sucede bajo condiciones cambiantes. Por lo que la duración de la herramienta debe tratarse como una variable aleatoria, y no como una magnitud determinística + según se puede leer en un trabajo de Garmo, Black, Rakohser [11]

El desgaste de las herramientas ocurre principalmente en la superficie de desprendimiento de la herramienta y en la superficie del flanco de la herramienta. Por esto se distinguen dos tipos de desgaste: Desgaste de cráter y Desgaste de flanco, ver figura 1

El desgaste de cráter es un vaciado cóncavo que se genera en la superficie de desprendimiento de la herramienta o en la superficie de ataque. Este vaciado se produce por los altos esfuerzos que la viruta aplica a la superficie al salir, en presencia de altas temperatura características propias del proceso de corte. El cráter se puede medir en profundidad y en área. El desgaste de flanco ocurre en la

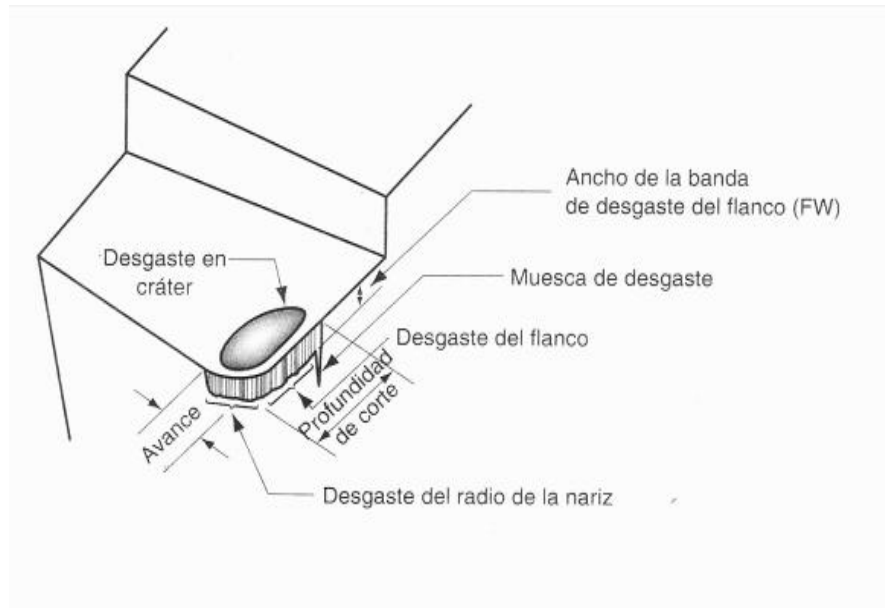


Figura 1 Desgaste de las herramientas de corte.

superficie de incidencia de la herramienta. Se produce por el roce entre la superficie de trabajo y la superficie del flanco adyacente al filo. Este tipo de desgaste se mide por el ancho de la banda de desgaste.

Las dimensiones del desgaste de las herramientas de corte están normalizadas. Boothroyd [4] presenta un extracto de la norma ISO/TC29WG22 en la que se describen las características del desgaste de las herramientas. En la figura 2 se observa la descripción de la norma.

A continuación se describen los parámetros de dicha norma:

KB = Distancia del filo de la herramienta al borde posterior del cráter

KM = Distancia del filo de la herramienta al centro del cráter

KT = Profundidad del cráter

C = Zona de desgaste en la punta de la herramienta

B = Zona de desgaste en la región central del filo principal

N = Zona de desgaste en la región posterior al filo principal

VC = Ancho de la zona de desgaste C

VB = Ancho de la zona de desgaste B

VN = Ancho de la zona de desgaste N

VBmax = Valor máximo del ancho del desgaste en la zona B

La norma ISO contempla los siguientes criterios para determinar la duración efectiva de las herramientas de carburo sinterizado.

1. $VB = 0.3 \text{ mm}$ (1)

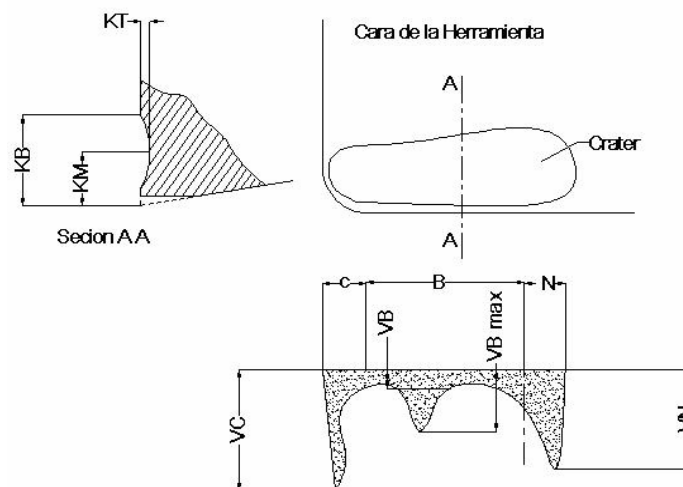


Figura 2 Desgaste de Flanco según Norma ISO/TC29WG 22

2. $VB_{\text{max}} = 0.6 \text{ mm}$ (2)

3. $KT = 0.06 + 0.3 f$, $f = \text{avance}$ (3)

Frederik Taylor fue el primero que se ocupó de estudiar científicamente la relación entre la vida útil de la herramienta, el régimen de corte y el material de la herramienta. El fruto del trabajo de Taylor consistió en una ecuación obtenida de manera experimental que permite identificar la velocidad de corte en función de la vida útil de la herramienta para determinados materiales de la pieza y de la herramienta. Groover [12] citando a Taylor presenta la siguiente ecuación.

$$VT^n = C \quad (4)$$

V = Velocidad de corte

T = Tiempo de vida útil de la herramienta

n = Factor dependiente del material de la herramienta

C = Coeficiente empírico que depende del material de la pieza y las condiciones de corte.

Taylor relacionó directamente distintos valores de Velocidad de corte con el respectivo tiempo de duración de la herramienta según la gráfica logarítmica presentada en la figura 3.

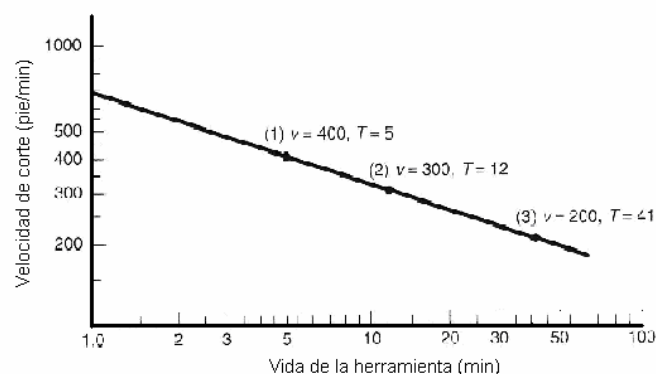


Figura 3 gráfica logarítmica de la Velocidad de corte Vs Vida herramienta.

Se observa en la gráfica que velocidades de corte más altas se relacionan proporcionalmente con tiempos de vida útil más cortos. Esta relación permite establecer la velocidad de corte adecuada según el material para un tiempo de vida útil de la herramienta seleccionado previamente.

El trabajo de Taylor por ser del tipo experimental no permite realizar generalizaciones bajo condiciones diferentes al experimento realizado.

A partir de la ecuación de Taylor, Sándvik [9] recomienda este tipo de estudios bajo condiciones específicas, describiendo una metodología para racionalizar los recursos y obtener mejores resultados económicos.

Específicamente en la presente investigación se utilizará la ecuación de Taylor con la finalidad de obtener valores del régimen de corte experimentalmente relacionados con una vida útil económica de la herramienta en el torneado de acero inoxidable.

• Otro criterio para determinar la vida útil de herramienta puede ser la salida de tolerancias dimensionales, geométricas o de acabado superficial durante la producción de piezas en serie. Este criterio se utiliza en los ensayos basados en productividad horaria de piezas dentro de tolerancias y están especialmente dirigidos al campo de la producción en serie en el que los tornos suelen tener alimentación automática de barra. Algunas normas y procedimientos de este tipo son [ASTM81] +Arranz, Antonio, Labarga, Rincón [2]

1.2.2 Materiales para la fabricación de Herramientas de corte.

Los procesos de corte de metales suponen condiciones de trabajos muy desfavorables por lo que es imprescindible que los materiales empleados en su

fabricación sean capaces de sopórtalas. Entre los materiales usados podemos señalar acero rápido HSS, (siglas de High Speed Steel), carburos de tungsteno, diamante sintético y carburo cerámicos.

El acero rápido (HSS) surge en los inicios del siglo XX gracias al desarrollo de la metalurgia y los tratamientos térmicos de los aceros aleados. Para esos momentos se obtuvo una dureza suficiente en el filo de la herramienta a una temperatura de 250 °C a más de 600° C con acero al carbono. Esto elevó significativamente la capacidad de mecanizado e influyó en la construcción de maquinaria avanzada para las industrias de la época.

Fredrick Taylor y Maunsel White realizaron experimentos empleando herramientas con partes de acero rápido que podían cambiarse y afilarse, estas precedieron a las plaquitas intercambiables.

El acero rápido permitió el desarrollo de herramientas para mecanizar formas difíciles en una operación. Por lo que estas herramientas se convirtieron en la columna vertebral de la producción.

Taylor y White utilizaron en sus experimentos distintas composiciones de acero aumentando el contenido de wolframio, cromo, y carburos metálicos lo que incrementó el rango de temperaturas de utilización. En la práctica, esto significó que una operación de torneado que en el siglo XIX llevaba 100 minutos, con herramientas de acero rápido de alto contenido en carbono, a principios del siglo XX se podía realizar en 26 minutos con acero rápido con los nuevos aleantes según Sandvik [30]

En 1915 sucedió un gran avance en la evolución de las herramientas con la aparición de la aleación fundida no férrea, esta contenía Co, Cr, W y aproximadamente de 50% carburos. Estas aleaciones poseían una dureza relativamente alta a 800° C y gran resistencia al desgaste, tenían además alta fragilidad lo que les hacía difíciles de conformar. Precedieron a los carburos cementados con la diferencia de que estos eran sinterizados. Como se lee en el libro de Sandvik [30] % Algunas operaciones que llevaban 26 minutos con acero rápido, se podían realizar en 15 minutos con herramientas de aleación fundida...+ Cerca de 1930 apareció el acero super rápido. Estos son aceros de alto contenido de carbono con adiciones de W, Mo, Cr, V y Co. Mediante estas herramientas se logra mantener el filo de corte a altas temperaturas, se pudo obtener grandes profundidades de corte y mecanizar intermitentemente debido a su gran resistencia a impactos.

Las herramientas de acero super rápido se clasifican en dos tipos:

- Grupo M. El principal aleante es el Molibdeno, su composición es 8% Mo, 4% Cr y 1% V.
- Grupo T. El principal aleante es el tungsteno. La composición aproximada es 18% W, 4% Cr y 1% V.

En la actualidad las herramientas de acero rápido son recubiertas con una película delgada de nitruro de titanio (TiN) o nitruro de titanio-aluminio (TiAlN), con la finalidad de aumentar la resistencia al desgaste.

El metal duro se comenzó a usar para herramientas de corte en Alemania, en la época de la Primera Guerra Mundial. Estos se obtienen mezclando carburo de tungsteno pulverizado y cobalto, en proporción de 88-94% y 12-6%.

Con la aplicación de estas herramientas a los procesos de mecanizado se incrementó notablemente la productividad "o Una operación que con acero rápido requería 26 minutos y con aleaciones fundidas 15 minutos, con herramientas de carburo cementado se llevaba a cabo en tan solo 6 minutos..." según el libro de Sandvik [30]

Mediante los primeros tipos de carburos se mejoró el mecanizado de metales relativamente blandos tales como hierro fundido, aluminio, etc., no así en el caso del mecanizado de los aceros debido al rápido desgaste producido en la superficie de la herramienta.

El uso de estas herramientas no se generalizó sino hasta que se contó con máquinas herramientas capaces de generar la fuerza necesaria para implementar el régimen de corte permitido por estas herramientas.

Las investigaciones encaminadas al desarrollo del uso de los carburos en la fabricación de herramientas de corte condujeron a la estructuración de una herramienta constituida por tres fases "o El carburo de tungsteno proporciona la resistencia básica, el metal aglomerante determina la tenacidad y la tercera fase (TaC, NbC, TiC, etc.) influye en la resistencia al desgaste" como se aprecia en el libro de Sandvik [30]

Las herramientas de metal duro se fabricaron en dos formas: enteras, compuestas por una barra de metal duro y en forma de pastillas o insertos intercambiables. Las

enteras se les tallan los filos de corte mediante máquinas especiales. Este tipo de herramientas se utiliza generalmente en el fresado, con la gran ventaja que al ser de una sola pieza están muy bien equilibradas y pueden girar a alta velocidad. Como desventajas se tiene que son muy caras debido al costo del material, y por otra parte cuando se desgastan hay que reafilarlas.

Las herramientas en forma de plaquitas se fabricaron inicialmente soldadas a una base de acero tenaz, eran relativamente caras en comparación con las herramientas de acero rápido.

Los esfuerzos originados por la soldadura y los reafilados afectan las propiedades de la herramienta. Era difícil conjugar las propiedades de resistencia al desgaste y la tenacidad en una misma herramienta.

La poca variedad de formas y tipos de herramientas influyeron en el desarrollo de la técnica de afilado. El afilado podía variarse según pocos tipos de filo disponibles, la muela de afilar producía la geometría deseada, inclusive el rompevirutas. En este sentido el afilado de las herramientas era la salida cuando se necesitaba herramientas de forma especial. Lográndose radios, ángulos de desprendimiento, y otras características adecuadas para varias aplicaciones mediante el uso de muelas de diamante, dispositivos ajustables o afilado manual.

En los años 50, se inicio el desarrollo de las plaquitas de metal duro fijadas mecánicamente. Se eliminó la soldadura de la plaquita en el mango y las plaquitas podían afilarse separadamente.

A raíz del uso a gran escala de las plaquitas surge el desarrollo de los porta plaquitas y todos sus accesorios.

Existen en la actualidad herramientas en forma de plaquitas que pueden fijarse al vástago mecánicamente, una vez gastadas se cambian por otra nueva.

Este tipo de herramientas de corte están caracterizadas según la norma ISO. Se dividen en tres grupos, M, P y K. Para cada grupo hay una variedad identificada con un número de dos dígitos del 01 al 50. Esta cifra indica si el metal duro posee mayor o menor dureza y por tanto si es tenaz. Así, números bajos corresponden a durezas elevadas lo que implica resistencia al desgaste y los dígitos altos a elevada tenacidad.

Grupo P. Metal duro apropiado para mecanizar aceros de baja y media aleación.

Grupo K. Adecuado para mecanizado de aceros endurecidos, fundiciones y materiales no metálicos.

Grupo M. Aceros inoxidables materiales termo resistentes y aleaciones de titanio.

Como ejemplo se tiene K10. La letra K se refiere a una herramienta adecuada para mecanizado de aceros endurecidos, fundiciones y materiales no metálicos. El número 10 indica que la herramienta posee alta dureza y por lo tanto resistencia al desgaste.

Existe una variedad de metal duro fabricado con carburo metálico de tungsteno sinterizado con carburo cerámico de titanio. De la combinación de estos elementos surge el nombre CERMET.

En los años 50 se concretan investigaciones hechas mediante ensayos con herramientas cerámicas. Resultando el óxido de aluminio el material apropiado.

Las herramientas cerámicas de la actualidad son resistentes a elevadas

temperaturas y muy duras, pero poseen muy baja tenacidad. Por lo que no se pueden aplicar al corte intermitente.

Hay tres tipos materiales para las herramientas cerámicas: Óxido de aluminio (Al_2O_3), Nitruro de silicio (Si_3N_4) y SIALON que resulta de la combinación de Si, Al, O y N.

Otro grupo de herramientas cerámicas esta conformado por las denominadas reforzadas con whiskers. Estos son filamentos constituidos por una matriz amorfa de hilos de carburo de silicio (SiC) y alúmina (Al_2O_3). Estos filamentos, conforman el 20-40% de la estructura, dan consistencia y tenacidad a las cerámicas, lo que es una ventaja para el fresado.

Los Materiales sintéticos aparecieron al final de los años 70. Hay dos tipos; el nitruro de boro cúbico y el diamante sintético. Se fabrican por sinterización a alta presión obteniéndose Diamante policristalino (PCD) y Nitruro de boro cúbico policristalino (PCBN).

El Diamante policristalino (PCD) es empleado para mecanizar materiales no férreos debido a que con estos se produce un fenómeno denominado grafitización del diamante lo que produce fallas en la herramienta en prematuramente.

Para los materiales férreos se utiliza El Nitruro de boro cúbico policristalino (PCBN). Este material cuenta con las siguientes ventajas: Alta dureza lo que le proporciona mayor vida útil en comparación con las herramientas recubiertas, eliminación de costos de refrigeración debido a que los mejores resultados se obtienen mediante altas temperaturas de corte, por lo que el proceso debe ser en

seco. No es recomendado este material para la operación de fresado debido a su alta fragilidad.

Otro avance importante en relación a las herramientas de corte ha sido el recubrimiento. Este consiste en cubrir el metal duro con una película de carburos. Con una delgada capa de carburo de titanio se logra un aumento de la resistencia a la fricción, un coeficiente de rozamiento reducido y una barrera térmica efectiva. La vida de la herramienta aumenta exponencialmente permitiendo aplicar altas velocidades de corte y de avance.

Los principales materiales de recubrimiento son: Carburo de titanio (TiC), Nitruro de titanio (Al_2O_3), Carbo-nitruro de titanio (TiCN).

El carburo de titanio y el óxido de aluminio proporcionan una buena resistencia al desgaste, producen una barrera química contra el calor en la interfase la herramienta-viruta. A pesar de que el nitruro de titanio (TiN) no pose alta dureza, proporciona un bajo coeficiente de fricción en la superficie de las herramientas por lo tanto una resistencia al desgaste.

El espesor de las capas de recubrimiento varía de 2 a 15 micras. Si este es mayor, la fragilidad aumenta, lo que produce el desprendimiento del recubrimiento. Actualmente, la primera opción para el torneado la constituyen las herramientas de metal duro recubiertas. Estas han encontrado un amplio campo de aplicación para todas las operaciones de mecanizado para varios tipos de materiales. Como se puede apreciar en el libro de Sandvik [30]

Básicamente existen seis tipos de materiales para la fabricación de herramientas los Aceros rápidos, El Metal duro, Los Cermets, Las cerámicas y El diamante policristalino y el Nitruro de boro cúbico.

En la actualidad hay una gamma amplia de tipos y formas de herramientas de corte en cuanto a los filos, rompe virutas, plaquitas, porta herramientas, y otros accesorios para la sujeción.

Esto evidencia un gran desarrollo tecnológico en esta área fruto de la experiencia y la investigación a partir de los trabajos realizados por que Fredrick Taylor y Maunsel White.

1.3.-Maquinabilidad.

Los procesos tecnológicos de fabricación por arranque de viruta son procesos técnicos económicos lo cual implica que es necesario hallar variantes de elaboración que garanticen las especificaciones técnicas del diseño pero al mismo tiempo mantengan una relación costo-beneficio favorable.

La maquinabilidad ha sido definida inicialmente como la facultad de un material para ser trabajado por arranque de viruta según el libro de Groover [12] Actualmente se agrega a este concepto otros factores tales como el desgaste de la herramienta, la exactitud dimensional y geométrica que pueda obtenerse, el acabado superficial y el consumo de energía necesaria Sánchez (2006). Por lo que se puede decir que un material tiene mejor o peor maquinabilidad en la medida en que arroja resultados positivos en cada uno de los factores antes mencionados.

Según un trabajo de López [16] se considera entonces la maquinabilidad, cualitativamente, como una propiedad del sistema formado en una situación de maquinado, en donde todas las partes que lo componen deben estar claramente definidas. El análisis de estas partes da como resultado una situación óptima desde un punto de vista particular+

Se puede decir entonces que cualquier variación de los factores del régimen de corte afecta la maquinabilidad y en consecuencia las características de las piezas fabricadas afectando las dimensiones, la rugosidad, la geometría y además la vida útil de la herramienta por lo que es preciso definir las relaciones entre las variables para poder controlar los procesos de corte y asegurar la calidad de las piezas fabricadas.

Es necesario aclarar que si bien la rugosidad y la forma son dimensiones; es común en este tipo de análisis mencionarlas por separadas sin que esto signifique que dejaron de ser consideradas dimensiones.

Como hemos visto anteriormente la maquinabilidad de los materiales depende de muchos factores por lo que actualmente existe la tendencia de unificar los ensayos de vida útil de las herramientas de corte. En un trabajo liderado por López [17] en la Escuela Politécnica Superior Villanueva de la Cañada de Madrid se analizan un conjunto de normas para la realización de ensayos de maquinabilidad en el torneado bajo los criterios de salida de tolerancias dimensionales y geométricas, acabado superficial y desgaste de la herramienta. El ensayo más clásico de los que se hacen en relación a la vida de herramienta es el que determina dicha vida útil mediante operación de cilindrado con velocidad constante

para cada filo, midiendo el desgaste de herramienta a intervalos y fijando un valor de este desgaste como criterio de inutilidad. Las normas [ISO93], [ANSI85], [UNE85], [JIS71], [JIS61], [DIN81], [AFNOR81] y [AFNOR97] están dedicadas en parte o totalmente, según los casos, a describir ensayos de este tipo + como se puede leer en el trabajo de López [17]

No basta con la determinación cualitativa de la maquinabilidad de un material sino que se hace necesaria su cuantificación para usarla como herramienta en la selección de los parámetros de corte que serán utilizados en la fabricación de las piezas. En este sentido se han realizado investigaciones importantes que presentan aportes para la estructuración de un estudio experimental que permita definir la metodología para un ensayo de maquinabilidad del cual se puedan obtener relaciones concretas entre las variables más importantes del mecanizado. Según Groover [12], una de las formas mas usada para definir la maquinabilidad de un material de manera cuantitativa, es la comparación con un material base, al que se le confiere 100% de maquinabilidad (por ejemplo acero AISI B1112). Mediante ensayos de vida útil de una herramienta se aplica la ecuación de Taylor obteniéndose el índice de maquinabilidad del material estudiado según la diferencia en términos de porcentaje con el material base

Arranz, Antonio, Labarga, Rincón [2] expresan otra variante sustitutiva de los experimentos por modelos de diferentes naturaleza que tomando en cuenta el desarrollo tecnológico actual permiten obtener información relacionada con la vida útil de la herramienta sin descuidar el resto de las variables del mecanizado

1.3.1 Parámetros fundamentales del proceso tecnológico de torneado. En el torneado como en todo proceso tecnológico existen un grupo de parámetros claves que deciden la obtención de los parámetros de diseño de cada pieza fabricada. Estos son:

- Velocidad de corte V_c : Se define como la velocidad lineal en la periferia de la zona que se está mecanizando. Su elección viene determinada por el material de la herramienta, el tipo de material de la pieza y las características de la máquina. Una velocidad alta de corte permite realizar el mecanizado en menos tiempo pero acelera el desgaste de la herramienta. La velocidad de corte se expresa en m/min. Sus valores son una función de la velocidad angular del husillo principal del torno y del diámetro de la pieza en la zona maquinada.
- Avance f : Definido como el desplazamiento a lo largo del eje longitudinal del torno (en el caso del cilindrado) por unidad de tiempo o por revolución del husillo principal.
- Profundidad de corte pasada a_p : Es el espesor de la capa cortada en cada pasada. Depende fundamentalmente de las características de la pieza y de la potencia del torno.
- Tiempo de torneado T : Es el tiempo que tarda la herramienta en efectuar una pasada.

Estos parámetros están relacionados por las fórmulas siguientes:

$$V_c (m / \text{min}) = \frac{N(\text{rpm}) \times \pi \times \text{Diametro}(\text{mm})}{1000} \quad (5)$$

$$F(\text{mm} / \text{min}) = N(\text{rpm}) \times F(\text{mm} / \text{revolución}) \quad (6)$$

$$T(\text{min}) = \frac{\text{Long} - \text{pasada}(\text{mm})}{F(\text{mm} / \text{min})} \quad (7)$$

1.4.- Efectos de los procesos de corte sobre la calidad superficial

Cada vez hay mayor exigencia en el control de la calidad superficial de los componentes de las maquinas y equipos utilizados para fabricarlos. Para dar respuesta a esta exigencia es necesario dominar todas las posibles modificaciones que pueda sufrir una pieza, desde la obtención del material para su fabricación hasta el acabado final.

En este sentido se destaca un estudio realizado por un equipo de Ingenieros Industriales y Telecomunicaciones de la Escuela Superior de Bilbao dirigidos por Sánchez [29], denominado: Integridad superficial en piezas cortadas por Hilo. En este trabajo se hace mención a una nueva disciplina que permitirá abordar la problemática actual de la calidad superficial.

En el mencionado estudio se plantea % La especificación y fabricación de superficies de alta calidad requiere la comprensión de la interrelación entre metalurgia, maquinabilidad y ensayos mecánicos. Para satisfacer este requerimiento se ha introducido una disciplina global conocida como Integridad Superficial, ganando aceptación mundial. La tecnología de la integridad superficial describe y controla todas las posibles alteraciones producidas en una capa superficial durante la fabricación, incluyendo sus efectos sobre las propiedades del

material y el comportamiento de la superficie en servicio. La integridad superficial se consigue mediante la selección y el control de los procesos de fabricación, estimando sus efectos sobre las propiedades significativas de los materiales de trabajo +

La integridad superficial implica el estudio y el control tanto de la rugosidad o la topografía superficial como de la metalurgia superficial. Ambos factores influyen en la calidad de la superficie y de la sub-superficies mecanizada y se toman extremadamente significativos al fabricar componentes estructurales que deban soportar elevadas tensiones estáticas y dinámicas. Por ejemplo, cuando la carga dinámica resulta un factor principal en el diseño, la resistencia útil se ve frecuentemente limitada por las características a fatiga de los materiales. Los fallos por fatiga casi siempre se originan en o cerca de la superficie de un componente; igualmente la corrosión por tensión es también un fenómeno superficial. Por consiguiente, la naturaleza de la superficie desde un punto de vista tanto topográfico como metalúrgico es importante en el diseño y la fabricación de componentes críticos + Sánchez [29].

1.5- Rugosidad superficial

Uno de los elementos determinantes de la calidad superficial es la rugosidad superficial, en trabajos realizados por Mazini [20] y Mazini [21], se demuestra como las variables del régimen de corte afectan la rugosidad. Esto obliga a tomar todas las medidas necesarias para garantizar los valores requeridos de la

rugosidad. Una de las vías más eficientes es la correcta selección de los métodos y medios que serán utilizados para verificar la misma.

Como rugosidad superficial se conoce a las pequeñas desviaciones que aparecen con respecto a la superficie nominal finamente espaciadas que dependen de las características del material y los procesos que formaron la superficie.

La medida de la rugosidad superficial se determina por la media aritmética de los valores absolutos de las desviaciones verticales con respecto a la superficie nominal, sobre una longitud especificada de superficie, lo que se denomina rugosidad promedio. En base a la figura 4 se define la siguiente ecuación:

$$Ra = \int_0^{Lm} \frac{|y|}{Lm} * dx \quad (8)$$

Aproximando la ecuación anterior se puede obtener:

$$Ra = \sum_{i=1}^n \frac{|Yi|}{n} \quad (9)$$

Donde:

Yi = Desviación vertical

n = Número de desviaciones en la longitud especificada.

La unidad más apropiada para la medición de rugosidad es el micrón (μ) debido a que esta se adecua a la escala de las desviaciones. La investigación científica en el campo del acabado superficial de piezas, ha generado un creciente interés

sobre la calidad de las piezas mecanizadas en las últimas décadas, con un gran esfuerzo para dilucidar sus causas y así predecir sus efectos. En base a esto se han desarrollado una variedad de formas para medir la rugosidad.

La más común es mediante el uso del Rugosímetro. Este consta de un palpador adecuado que se desplaza sobre la probeta, el cual se mueve verticalmente según

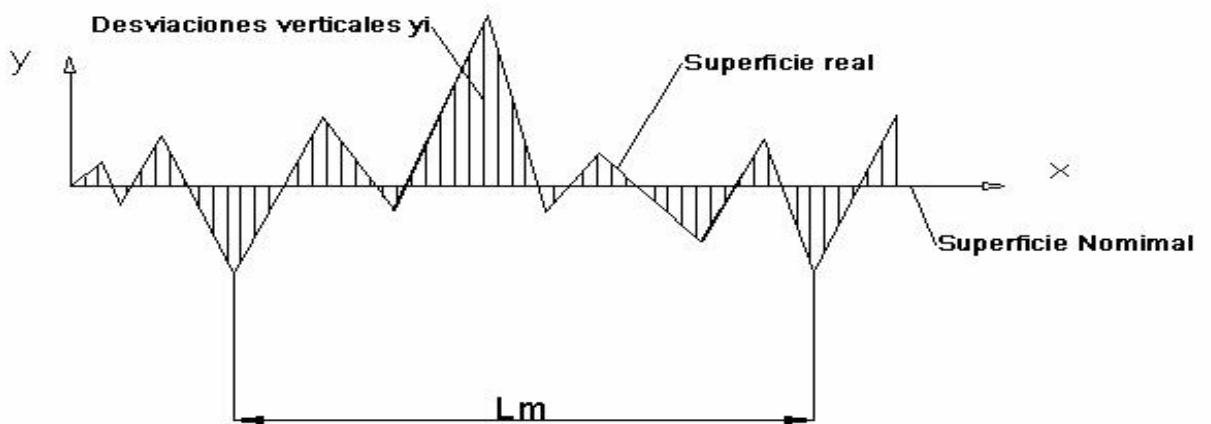


Figura 4 Dimensiones de la rugosidad superficial

desviaciones de la superficie. Este movimiento se transmite al equipo ofreciendo al operario la medida de la rugosidad. Ver anexo 3.

Se han desarrollado otras formas de medición de la rugosidad más precisas para satisfacer las exigencias cada vez más altas del mercado de piezas que forman parte de máquinas complejas. Una de ellas es la llamada correlación de figuras de "speckle" Rebollo [26]. Este método se basa en que cuando se ilumina una

superficie rugosa con un haz láser la luz dispersada presenta una estructura granular, esto es, manchas de luz y oscuridad aleatoriamente distribuidas. A esta figura se la denomina "speckle". Estas son el resultado de la interferencia múltiple de la luz proveniente de cada una de las irregularidades que conforman la superficie ópticamente rugosa. Esto significa que el patrón de figuras de speckle está íntimamente relacionado con la estructura de la superficie, es decir, que depende de la rugosidad, la longitud de correlación, la reflectividad de la muestra, etc. como también de las condiciones de iluminación de ella. Cuando el ángulo de iluminación varía ligeramente, la figura de speckle no solo se desplaza angularmente sino que los granos de speckle sufren una deformación. Una medida de esa deformación se obtiene comparando los patrones de speckle mediante una operación de correlación antes y después de haber variado el ángulo de iluminación. Los cálculos de la correlación de speckle en función de la variación del ángulo de incidencia están basados en los trabajos Suresh, Rao, Deshmukh [31] y Léger, Mathieu, Perrin [15].

Suresh, Rao, Deshmukh [31] Desarrollaron un modelo para predecir la rugosidad superficial en un material de acero templado mediante la metodología de superficie de respuesta y con el apoyo de algoritmos genéticos. Ellos sostienen que, el radio de la nariz de la herramienta de corte, la velocidad de corte, la tasa de alimentación, la dureza del material, el uso de fluidos para corte, la vibración de la máquina herramienta y la profundidad de corte; son los factores que más afectan la rugosidad superficial de la pieza de trabajo.

Por otro lado, en el trabajo de Sardiña [28] se establece un modelo fundamentado en la teoría de redes neuronales, el cual optimiza una función multiobjetivo para mejorar las condiciones de corte de metal en las operaciones de torneado. La función multiobjetivo está compuesta por los siguientes objetivos en conflicto: la tasa de producción, los costos de operación y la calidad del acabado superficial. Este modelo tiene como variables de entrada la tasa de alimentación, la velocidad y profundidad de corte, y como variables de salida la función multiobjetivo anteriormente mencionada. El modelo obtenido tiene la capacidad de predecir valores cercanos a los datos experimentales. También es bueno resaltar un trabajo de Rico, Díaz, Estrada, Molina [27] en el ámbito de la aplicación de las redes neuronales y la optimización multiobjetivo a la predicción de la rugosidad. Se destaca el trabajo realizado por Correa, Ramírez, Alique, Rodríguez [27] quienes valoran la importancia de la aplicación de los métodos de análisis a las variables de mecanizado haciendo además un recuento de su evolución.

1.6.- Material de las piezas a maquinar.

Ya hemos mencionado que el material de la pieza a fabricar tiene particular importancia en los resultados obtenidos durante el maquinado con arranque de viruta en particular cuando se trata de aceros inoxidables. A pesar de los avances tecnológicos actuales se presentan dificultades en el mecanizado de aceros inoxidables. Gandarias, Lizarralde, Alzaga, Zelaieta [10] exponen detalladamente las características fundamentales del proceso de maquinado de aceros inoxidables las cuales se pueden resumir en:

- Arista cortante de la herramienta sometida a altos niveles de temperaturas y fuerzas de corte.
- Crecimiento del filo de aportación
- Endurecimiento del material por deformación plástica en mayores niveles que el resto de los materiales
- Bajos valores de los parámetros del régimen de corte.
- Baja productividad.
- Corta vida útil de la herramienta.
- Escasa maquinabilidad originada por la presencia de carburos abrasivos.
- Baja conductividad térmica ocasionándose concentración del calor en la zona de corte.
- Mala formación de viruta.

Comercialmente se clasifican los aceros inoxidable en tres tipos principales que se encuentran en el mercado en formas moldeadas y forjadas a saber:

Aceros al cromo martensíticos: Se identifican según la norma AISI con la serie 400. Los tipos más comunes son el 410, 420 y 431. Contienen de 0.2% a 1.2% de carbono y 12% a 18% de Cromo. Sus propiedades básicas son: Elevada dureza, resistencia a la corrosión moderada que pueden ser mejoradas mediante tratamiento térmico. Principales aplicaciones: Ejes, flechas, instrumental quirúrgico y cuchillería.

Aceros Inoxidables Ferríticos: Su contenido de cromo varia de 14% a 30%, pero el contenido de Carbono es bajo menos de 0.2%. Los tipos más comunes son el AISI

430, 409 y 434. Las propiedades básicas de este tipo de acero son: Buena resistencia a la corrosión. La dureza no es muy alta y no puede ser incrementada por tratamiento térmico. Principales aplicaciones: Equipo y utensilios domésticos y en aplicaciones arquitectónicas y decorativas.

Aceros Inoxidables Austeníticos. Pertenecen a la Serie 300 de la norma AISI. Son los más utilizados por su amplia variedad de propiedades y se obtienen agregando Níquel a la aleación, por lo que la estructura cristalina del material se transforma en austenita y de aquí adquieren el nombre. El contenido de Cromo varía de 16 a 28%, el de Níquel de 3.5 a 22% y el de Molibdeno 1.5 a 6%. Los tipos más comunes son el AISI 304, 304L, 316, 316L, 310 y 317. Las propiedades básicas son: Excelente resistencia a la corrosión, excelente factor de higiene - limpieza, fáciles de transformar, excelente soldabilidad, no se endurecen por tratamiento térmico debido a que la austenita no se transforma en martensita. Se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas. Principales aplicaciones: Utensilios y equipo para uso doméstico, hospitalario y en la industria alimentaria, fabricación de tanques y tuberías, etc.

1.7.- Aplicaciones CAD Æ CAM como herramientas en el maquinado con arranque de viruta.

Las siglas CAD . CAM representan un conjunto de aplicaciones informáticas que auxilian a los Ingenieros Mecánicos tanto en el diseño como en la fabricación.

El CAD, en particular la versión en 3D, permite la descripción analítica del volumen, contorno y dimensiones del objeto o sistema, incluyendo relaciones geométricas e incluso algebraicas entre los distintos componentes.

Por otra parte el CAM agrupa las aplicaciones encargadas de traducir las especificaciones de diseño a especificaciones de producción entre las que podemos señalar:

- Generación de programas de Control Numérico.
- Simulación de estrategias y trayectorias de herramientas para mecanizado del producto diseñado (partiendo de un modelo CAD).
- Programación de soldaduras y ensamblajes robotizados.
- Inspección asistida por computadora.
- Ensayo asistido por computadora.

Todo este conjunto de posibilidades, que proporciona la tecnología CAM, acortan de forma considerable el tiempo de preparación del mecanizado.

El CAPP es la fase superior del CAM y en síntesis podemos decir que es un sistema experto que captura las capacidades de un ambiente de manufactura específico y principios de manufactura ingenieriles, con el fin de crear un plan para la manufactura física de una pieza previamente diseñada. Este plan especifica la maquinaria que se ocupará en la producción de la pieza, la secuencia de operaciones a realizar, las herramientas, velocidades de corte y avances, y cualquier otro dato necesario para llevar la pieza del diseño al producto terminado.

Los CAPP se dividen en dos tipos: Sistemas de recuperación y Sistemas generadores.

Los sistemas CAPP de recuperación se basan en la tecnología de grupos y en la clasificación y codificación de partes. Consisten en almacenar archivos de hojas de procesos tipo para cada miembro de la familia de piezas de manera que para una pieza nueva se recupera y modifica un archivo existente similar obteniendo así la nueva hoja de procesos.

Los sistemas CAPP Generadores crean una nueva hoja de trabajo para cada pieza nueva usando procedimientos sistemáticos que aplica un planificador humano.

Los sistemas CAPP ofrecen los siguientes beneficios:

- Racionalización y estandarización de los procesos
- Aumenta la productividad de los tecnólogos proyectistas.
- Mejora la lectura de las computadoras de las hojas de procesos
- Aumenta la integración de todos los elementos de los procesos de manufactura
- Reducción en costos de diseño
- Incremento de la calidad del producto
- Incremento en el aprovechamiento de los ingenieros respecto de la extensión y profundidad de sus análisis
- Incremento de la productividad de las operaciones de producción
- Incremento de la productividad de las máquinas
- Reducción de trabajo en el proceso
- Reducción de los costos de personal

1.8.- Conceptos básicos bases de datos

Es conocida la necesidad de representar los acontecimientos de la vida real y los objetos con sus características; expresarlos, realizar algún tipo de operación y transmitirlos. Debido a esta necesidad surge el concepto de *dato* como cualquier elemento verificable de la realidad con la posibilidad de ser manipulado de manera automática. En base a esta idea se genera el concepto de información como un conjunto de datos que al relacionarse adquieren sentido o un valor de cambio o contexto. Luego entonces surge la necesidad de manipular grandes cantidades de información y ofrecerla en diferentes formas para una futura interpretación y uso por parte de un usuario.

En este sentido el primer desarrollo fueron los ficheros. Estos constituyen un conjunto de programas que definen y manejan sus propios datos. Surgieron al tratar de trasladar a las computadoras los antiguos archivos manuales con la finalidad de acceder a ellos eficientemente. Cada departamento en una empresa crea su propio sistema y gestiona sus propios datos. En su momento este sistema fue de utilidad pero confrontó varias desventajas:

- Separación y aislamiento de los datos.
- Duplicación de datos.
- Dependencia de datos de la estructura.
- Formatos incompatibles.
- Consultas fijas entre otras.

Debido a estas dificultades surgen las bases de datos. No hay un momento concreto en que los sistemas de ficheros hayan cesado y hayan dado comienzo las de bases de datos. De hecho, todavía existen sistemas de ficheros en uso.

El término bases de datos fue escuchado por primera vez en 1963, en un simposio celebrado en California, USA. Una base de datos se puede definir como un conjunto de información relacionada que se encuentra agrupada ó estructurada ñ como una serie de datos organizados y relacionados entre sí, los cuales son recolectados y explotados por los sistemas de información de una empresa o negocio en particular ñ . Damián [8]

En un trabajo de Márques [19] se destacan las ventajas de los sistemas de bases de datos sobre los ficheros:

- Control sobre la redundancia de datos.
- Consistencia de datos.
- Más información sobre la misma cantidad de datos.
- Compartir datos.
- Mantenimiento de estándares
- Mejora en la integridad de datos.
- Mejora en la seguridad.
- Mejora en la accesibilidad a los datos.
- Mejora en la productividad.

Un sistema de gestión de bases de datos es un conjunto de programas que permite a los usuarios crear y mantener una base de datos. Es un sistema software de propósito general, que facilita el proceso de definir, construir y manipular bases de datos para diversas aplicaciones.

El objetivo principal de un SGBD es proporcionar un entorno práctico y eficiente a la hora de almacenar y recuperar la información de la base de datos.

Ejemplos de SGBD son MySQL, DB2, PostgreSQL, MS SQL Server, Oracle, etc.

Estos sistemas deben cumplir con las siguientes funciones:

- Definir los datos: Especificar tipos, estructuras y restricciones de los datos.
- Generar la base de los datos: Guardar los datos en algún medio controlado por el mismo sistema.
- Manipular la base de datos: Llevar a cabo consultas, actualizarla, producir informes.

Las características de un Sistema Gestor de Base de Datos SGBD son:

- Abstracción de la información. Ahorran detalles acerca del almacenamiento físico.
- Redundancia mínima.
- Seguridad.
- Control de la concurrencia.
- Integridad.
- Respaldo y recuperación.
- Independencia. Capacidad de modificar el esquema de la base de datos sin tener que cambiar las aplicaciones que utilizan la base

- Consistencia.

1.8.1 Modelo Entidad relación.

Los modelos de datos constituyen un instrumento conceptual para describir los datos, su significado, sus relaciones y las acotaciones del sistema. Estos modelos se clasifican en tres grupos: Modelos lógicos basados en Objetos, Modelos lógicos basados en registros, y Modelos físicos de datos. A continuación se describe el Modelo de Entidad Relación que pertenece al grupo de Modelos Lógicos basados en objetos y que será utilizado en el presente trabajo.

El modelo Entidad Relación esta constituido por un grupo de conceptos que permite representar la realidad gráficamente. Los conceptos de este modelo son los siguientes:

- Entidad: Cualquier tipo de elemento a cerca del cual se puede obtener información. Las entidades se representan mediante un rectángulo y su nombre en el interior. No pueden repetirse los nombres de las entidades. Se denomina entidad débil a la que depende de la existencia de otra entidad a la cual se le llama fuerte.
- Relación: Es la asociación entre dos o mas entidades, se representan mediante rombos y se identifican con un nombre en el centro del rombo. El número de

entidades asociadas a una relación determina el grado de la relación, estas pueden ser binaria, terciaria, etc.

- **Atributo:** Las propiedades y características de los elementos representados por las entidades y las relaciones, se representan mediante los atributos, estos se identifican mediante pequeñas circunferencias que penden o descienden de las entidades y las relaciones. Un atributo puede ser sencillo cuando no puede subdividirse en varios componentes, cada uno con un significado exclusivo y puede ser compuesto cuando si puede dividirse.
- **Identificador:** Es un atributo que define la forma en que sucede la entidad. No debe existir dos ocurrencias de la entidad con el mismo valor del identificador.

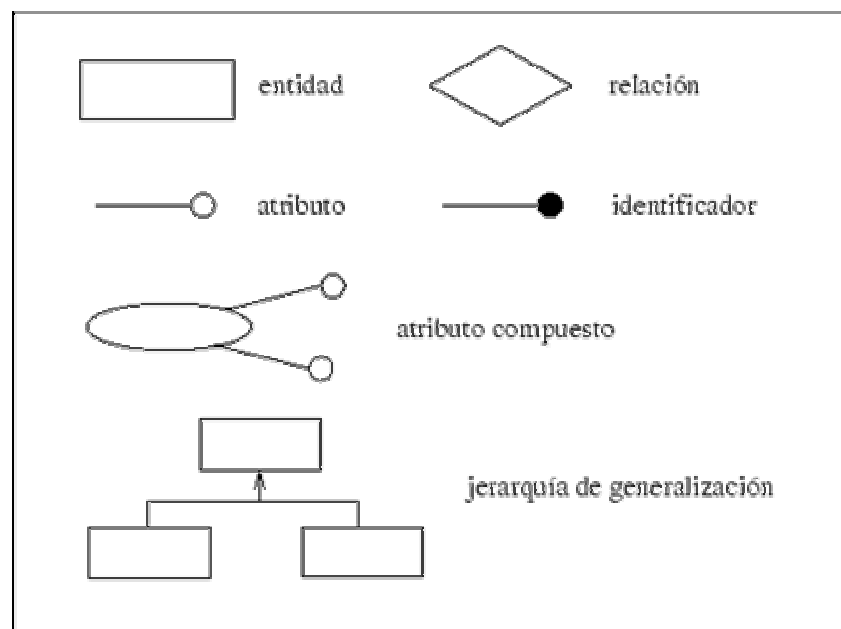


Figura 5 Partes del diseño conceptual del modelo entidad relación. Márquez [19]

Una entidad es una generalización, ver figura 5 de un grupo de sub-entidades si cada vez que ocurre una sub-entidad, ocurre la entidad genérica. Todos los atributos de la entidad genérica son heredables hacia las sub-entidades.

Las jerarquías de generalización pueden ser:

- Totales: Si cada vez que sucede una entidad genérica sucede aunque se una ocurrencia de una sub-entidad.
- Parciales: Si se da que una ocurrencia de la entidad genérica no corresponda con ninguna ocurrencia de la sub-entidad.
- Exclusivas: Si un suceso de la entidad genérica corresponde como mucho con una ocurrencia de la sub-entidad
- Superpuestas: Si una ocurrencia de la entidad genérica se corresponde con la ocurrencia de dos o mas sub-entidades

En la figura 6 se muestra el diseño conceptual según el modelo entidad relación correspondiente a la base de datos utilizada en la presente investigación.

Se aprecia en dicha figura como la entidad Herramienta con los atributos de Código herramienta, Calidad, Forma, Radio, Angulo de Incidencia, Geometría, se asocia mediante la relación Ensayos que tiene los atributos de: Código ensayo, código material, código Herramienta, velocidad, Profundidad, Coeficiente Económico, Material desalojado, Vida Útil, Costo Vida Útil con la entidad Materiales que tiene los sus atributos de Código material, Norma Aisi, % de

cromo, Dureza, Limite elástico, Porcentaje de carbón. Cada uno de estos elementos será descrito en el capítulo 3.

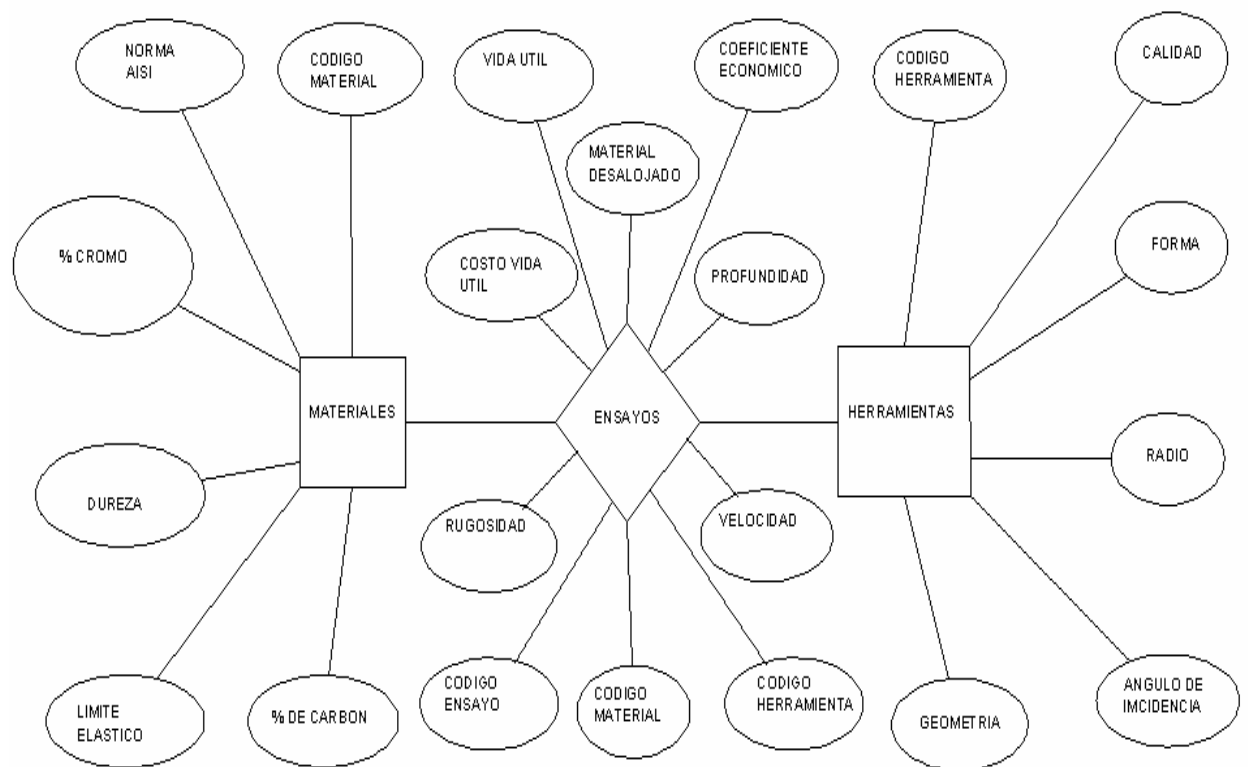


Figura 6 Diseño Conceptual de la base de datos utilizada en la investigación según el modelo Entidad Relación.

1.8.2 Bases de datos ACCESS de Microsoft.

Microsoft Access es un sistema de administración de Bases de Datos relacionales. Estas bases de datos están constituidas por documentos combinados en los que se divide la información por parcelas de objetos especializados. El elemento principal de la información se encuentra en tablas. Se crea una tabla para cada tipo de datos que componen la base. Las tablas se crean como elementos independientes, pero el software facilita la creación de relaciones entre las tablas para obtener información de sus relaciones mediante consultas, formularios o informes. Las consultas se utilizan para obtener datos específicos que cumplen condiciones indicadas por el usuario. Estas permiten, actualizar registros y realizar operaciones diversas con los datos almacenados.

Los formularios permiten editar las tablas agregando, modificando o eliminando registros.

Los informes se utilizan para presentar, resumir e imprimir los datos.

Este software será utilizado en el desarrollo de la fase experimental como herramienta fundamental para la obtención de los resultados de la asociación de distintos tipos de herramientas de corte con distintos tipos de materiales.

Conclusiones Capitulo I

1. En los países en desarrollo uno de los elementos de peso en la racionalización de los recursos lo constituyen las herramientas de corte. Esto se debe a que el costo de las herramientas de corte de metal duro intercambiables es considerablemente alto al compararlo con factores como los salarios, los materiales de la pieza y la energía eléctrica, generalizándose la tendencia de proteger la herramienta.
2. A pesar de los avances tecnológicos actuales, se presentan dificultades en el mecanizado de acero inoxidable debido al incremento de la temperatura en la zona de corte, la cual comúnmente excede al límite de estabilidad térmica del material de la herramienta, causando una drástica reducción de su vida útil.
3. Los trabajos de Taylor por ser del tipo experimental no permiten realizar generalizaciones directas bajo condiciones diferentes al experimento realizado.
4. Es conocida la gran importancia de los aceros inoxidables en la industria actual por su capacidad anticorrosiva y gran resistencia mecánica. Se utilizan en la fabricación de artículos para la manipulación de alimentos y productos químicos.

5. En la práctica es común asignar valores a las variables de corte usando manuales y tablas especializadas obteniéndose velocidades de corte, avances y penetración escalonados, presentándose en ocasiones resultados en el proceso de maquinado muy diferentes a los esperados, lo cual esta estrechamente vinculado con el muy estudiado y poco esclarecido concepto de $\%$ grado de maquinabilidad+.
6. La teoría desarrollada por Frederik Taylor será utilizada en el presente trabajo debido a que aborda la relación entre la velocidad de corte y la vida útil de la herramienta, variables importantes en el problema planteado.



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

CAPITULO 2.

METODOLOGIA EXPERIMENTAL PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS DE CORTE MÁS ECONÓMICOS PARA EL MAQUINADO DE ACEROS INOXIDABLES.

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS DE CORTE MÁS ECONÓMICOS PARA EL MAQUINADO DE ACEROS INOXIDABLES.

En los trabajos de Lizarralde, Alzaga, Zelaieta (2004), Ínter empresas (2004) se exponen detalladamente las características fundamentales del proceso de maquinado de los aceros inoxidable donde se pone de manifiesto que estos aceros poseen un grado de maquinabilidad inferior a aceros con propiedades similares no aleados. Además resulta difícil predecir su comportamiento durante los procesos de maquinado por lo que resulta inevitable encontrar de forma experimental las mejores variantes del régimen de corte para cada caso particular de forma tal que la fabricación de la piezas resulte económica.

2.1 Selección de las variables dependientes.

Un aspecto que define los resultados de los experimentos de Maquinabilidad es la selección de las variables que serán tenidas en cuenta durante los experimentos. Analizaremos inicialmente cuales son los resultados que deseamos obtener y en consecuencia se elegirán variables representativas de esos intereses.

Cualquier proceso de fabricación moderno tiene que garantizar los requisitos de fabricación establecidos en el diseño de las piezas a maquinar. La Rugosidad superficial es uno de esos requisitos debido a que es reconocida universalmente

como un criterio de calidad de primer orden sobre todo por su marcada influencia en la vida útil de las piezas fabricadas en particular en la primera etapa de la curva representativa de la Dinámica del Desgaste. Ella se designa con R y se define según Groover [8], como el promedio de las desviaciones verticales de la superficie con respecto a la superficie nominal sobre una longitud especificada. Su valor depende principalmente de las condiciones de corte aplicadas durante el mecanizado. En esta aplicación la rugosidad de las piezas fabricadas se utiliza como indicador de la vida útil de las herramientas pues cuando la rugosidad obtenida en el mecanizado no corresponde la esperada con el uso de la herramienta y al régimen de corte se asume que se ha superado la vida útil de la herramienta.

Al igual que la rugosidad superficial los requisitos dimensionales, definen la calidad de las piezas maquinadas. Por ello el control de la obtención de las dimensiones establecidas será otro criterio discriminante para definir si la herramienta aun conserva sus propiedades o si ha rebasado su vida útil. Se designa con la letra E y se define como la variación de las dimensiones de la pieza con respecto a la dimensión establecida en el diseño. El valor aceptable se definirá en base a las tolerancias de fabricación especificadas para la probeta según la función de la pieza. Para este experimento se seleccionó una tolerancia de una pieza de acero inoxidable de fabricación común. Un eje de bomba de agua en la sección de ajuste de rodamiento. Para este tipo de pieza la tolerancia es de ± 0.02 mm.

Una vez aceptadas como variables discriminantes la rugosidad superficial y la exactitud de fabricación solo queda registrar el valor en minutos de la vida útil, V_u , de la herramienta o sea el tiempo en que la herramienta de corte realiza su función garantizando los valores de E y R_a establecidos como referencias para este experimento.

2.2 Selección de las variables independientes con valores fijos.

Con la intención de reducir el número de experimentos y de las corridas de los mismos es necesario reducir el número de valores que se asigne a cada variable. Por ello tres de las variables participantes tendrán valores fijos.

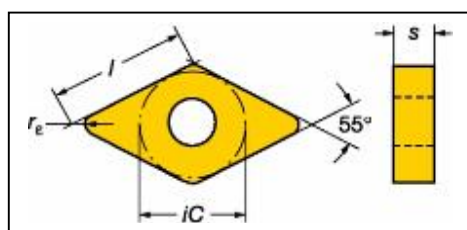
En el caso de la herramientas esta debe cumplir una serie de requisitos como son; ser aplicable a una gamma amplia de situaciones de torneado, para que los resultados obtenidos en el experimento puedan extrapolarse a otros tipos de herramientas y operaciones con la finalidad de poder aplicar los resultados en situaciones diferentes. En este sentido la geometría de la plaquita tiene un papel preponderante destacándose la forma romboidal debido a que los resultados obtenidos mediante este tipo de geometría pueden extrapolarse para otras geometrías tales como triangular y cuadrada, además puede utilizarse para varias operaciones como el cilindrado, refrentado y perfilado variando el ángulo de posición.

Por otra parte es necesario que la herramienta posea la capacidad de trabajar en condiciones de desbaste medio lo que permitirá obtener resultados tanto para el desbaste como para el acabado. Además esta herramienta debe de tener las

características adecuadas para el mecanizado de acero inoxidable tales como: resistencia al desgaste a altas temperaturas y reducción del filo de aportación.

Debe ser económica por lo que se requiere que posea filos de corte en ambas caras.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, se seleccionó del grupo de herramientas recomendadas por el fabricante de plaquitas Sandvik para el torneado de acero inoxidable la siguiente plaquita:



Peso	í	í	í	í	í	í	í	.00155
Tamaño Inserto	..	í	í	í	í	í	í	..15
Í	í	í	í	í	í	í	í	..15
sí	í	í	í	í	í	í	í	..6.35
iC	í	í	í	í	í	í	í12.7
reí	í	í	í	í	í	í	í0.8

Figura 7 Descripción de la herramienta DNMG 15 06 08-MM 2035.

Esta es una plaquita de geometría romboidal con rompe-viruta, dos caras, longitud de arista de 15mm, espesor de 6.3mm, radio de punta de 0.8mm, y ángulo de incidencia 0°. Destinada para un régimen de corte de desbaste medio. De calidad 2035 la cual se caracteriza por ser fabricada de metal duro recubierta con tres capas de TiN, Ti(C,N) y TiN. Contiene propiedades de resistencia al desgaste y reducción del filo de aportación. Ver figura 7.

La elevada cantidad de calor generada en el proceso de corte así como la dificultad para extraerlo desde la parte cortante de la herramienta hace que la

temperatura en esa zona sea alta lo cual reduce la vida útil de la herramienta. Para lograr que los experimentos se aproximen a las condiciones más difíciles propias de los talleres industriales, sobre todos las térmicas, es necesario que la herramienta corte de forma continua la mayor cantidad de tiempo posible condición que se cumple durante el cilindrado.

Es habitual durante el maquinado de los metales atenuar con algún agente externo las difíciles condiciones que se generan en el maquinado con arranque de viruta. Una de las variantes más efectiva y menos costosas es el uso de líquidos refrigerantes. El refrigerante debe reducir el contacto íntimo entre los pares de fricción herramienta-viruta y herramienta-material disminuyendo así las fuerzas requeridas para el corte del metal, protegiendo la herramienta lo mejor posible de las altas temperaturas, evitando el filo de aportación y el desgaste de la herramienta, arrastrar las partículas del material cortado de la zona de corte. Además debe tener un precio razonable. Para cumplir todas estas funciones el líquido refrigerante debe cumplir las siguientes condiciones.

- Baja viscosidad: Tener Moléculas pequeñas que permitan una difusión rápida y penetración en la interfase Herramienta . Viruta desarrollando la acción lubricante.
- Alto calor específico para que no se evapore por la acción del calor generado en el proceso de corte.
- Elevada conductibilidad térmica para evacuar el calor generado en el proceso de corte.
- Reducir el coeficiente de rozamiento de manera que permita el deslizamiento de la viruta sobre la cara anterior de la herramienta.

En base a las consideraciones anteriores se seleccionó el Aceite emulsionable en agua a una proporción de un litro de aceite por 10 litros de agua.

2.3 Selección de las variables independientes con valores variables.

Los aceros inoxidable, como ya se explico antes, tienen aplicaciones limitadas pero son insustituibles donde predominan ambientes corrosivos u oxidantes así como antisépticos.

Los aceros inoxidable se clasifican en Austeníticos, Ferríticos y Martensíticos con clara diferencia en su estructura cristalina. Dentro de cada grupo existen una gran variedad de materiales con diferencias considerables en sus propiedades mecánicas, pero los fabricantes de plaquitas recomiendan regimenes de cortes similares para todos los materiales que forman parte de un mismo grupo lo cual constituye una razón mas que justifica el encontrar los valores de los parámetros de corte para cada material dentro de cada grupo.

Teniendo en cuenta los argumentos anteriores se decidió usar tres tipo de acero de un mismo grupo Esto evitará además variaciones en los resultados causados por diferentes tipos de estructura cristalinas.

Además el material debe ser un acero inoxidable de uso común en gran variedad de piezas de aplicaciones industriales, de difícil mecanización para reproducir en el experimento las condiciones de trabajo reales de los talleres metal mecánico.

En base a lo dicho se debe seleccionar para el desarrollo de los experimentos un acero inoxidable Austenítico.

En el tabla 1 se muestran los tres materiales seleccionados y sus principales propiedades mecánicas.

Tabla 1 Materiales seleccionados y sus principales propiedades mecánicas.

MATERIALES UTILIZADOS EN EL EXPERIMENTO		
ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS NORMA AISI	LIMITE ELASTICO N/mm ²	DUREZA HB
309S	210	215
304	230	190
316	240	200

Por su relación directamente proporcional con la generación de calor, el desgaste de la herramienta y la productividad los parámetros del régimen de corte V_c , a_p y f deben ser seleccionados cuidadosamente para obtener los resultados deseados. Afortunadamente estos parámetros han sido estudiados detenidamente por los fabricantes de herramientas entre los que se destaca la firma Sandvik.

La sección de la viruta S es una función de los parámetros de corte a_p y f . La expresión matemática que los relaciona es:

$$S = a_p \times f \quad (9)$$

Esta variable tiene gran influencia en los valores de los esfuerzos de corte y por tanto en la vida útil de la herramienta.

Los valores de la Velocidad de avance, Velocidad de corte y profundidad de corte deben ser diferentes a los propuestos por el fabricante de plaquitas y además se debe aplicar una gradación de dichos valores que permita apreciar la influencia de cada variable independiente en cada variable dependiente

En la tabla 2 se observa los valores del régimen de corte propuesto por el fabricante para la plaquita seleccionada para los aceros inoxidables austeníticos con una operación de mecanizado medio.

Tabla 2 Valores del régimen de corte propuesto por el fabricante.

Tipo De plaquita	Material	Profundidad de corte(a_p) mm	Avance (f) mm/rev	Velocidad de corte (V_c) m/min
DNMG 15 06 08-MM 2035	Austenítico	3	0.25	165

Tomando como referencia las recomendaciones del fabricante y la experiencia de otros trabajos de esta naturaleza se seleccionaron los valores para cada variable.

Ver tabla 3.

Tabla 3 valores para cada variable.

Profundidad de corte(a_p) mm	Avance (f) mm/rev	Velocidad de corte (V_c) m/min
2 . 4	0.1 . 0.4	145 . 155 . 175 . 185

La probeta para este tipo de ensayo debe cumplir los siguientes requisitos:

- Poseer un centrado para montarse en el torno entre plato y centro punto para evitar vibraciones por la esbeltez.
- Contar con un apoyo para evitar que se desplace entre las mordazas por la acción de la fuerza de corte.
- Tener la suficiente longitud para garantizar un tiempo mínimo adecuado de contacto entre la herramienta de corte y el material a fin de producir condiciones de corte exigentes al igual que en los trabajos productivos sin que se refrigere la herramienta.
- El diámetro de la probeta debe ser tal que garantice estabilidad antes las vibraciones.

En base a las consideraciones expresadas sobre la forma y dimensiones la probeta se tomó del trabajo de investigación de Amorin [1]. Es una probeta de forma particular no normalizada que se ajusta adecuadamente a los requerimientos del presente trabajo la cual se aprecia en la figura 8.

El escalón de diámetro 50 mm por 30 mm de largo se ajustara al plato de manera que se apoye en el escalón de diámetro 60 mm por 20 mm. La ranura de diámetro 20 mm por 5 mm de ancho servirá para la salida de la herramienta. Se realizaran los mecanizados sobre el diámetro de 50 mm por 150 mm de largo hasta el diámetro de 20 mm. En la medida que la vida útil de la herramienta aumenta es necesario variar las dimensiones de la probeta manteniendo las mismas proporciones entre las partes de la misma.

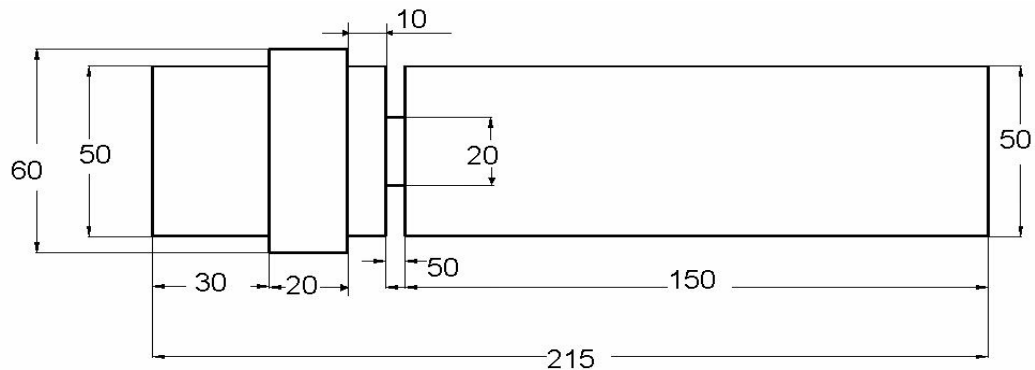


Figura 8. Probeta para ensayo de Torneado.

El torno utilizado debe garantizar:

- Velocidad de corte constante
- Correctores de desgaste:
- Programación de entrada y salida de la contra punta:
- Cambio automático de herramienta:
- El torno además debe ser lo suficientemente rígido y con la suficiente potencia para soportar la fuerza de corte generada por la combinación del máximo avance con la máxima profundidad de corte y la máxima velocidad planificados para el experimento.
- Se requiere que el torno este perfectamente nivelado, con el cabezal principal perfectamente alineado con el contrapunto y en perfecto paralelismo con las guías de la bancada

En base a las consideraciones manifestadas se seleccionó entre las maquinas existente un Torno Okuma LB 15.

- Con las siguientes características:
- Distancia entre centros 500 mm

- Máxima Rpm 4000
- Máximo Diámetro a torneear 250 mm
- Numero de herramientas 12
- Potencia 11 . 7.5 KW

Como instrumento para medir la rugosidad superficial se utilizara un Rugosímetro que garantice una capacidad de apreciar rugosidades entre 1.5 mm y 30 mm. Se cuenta con un rugosímetro Airtronics Metrosurf 181 el cual tiene la capacidad de medir las rugosidades estudiadas en el experimento. Ver anexo 3. La medición de la rugosidad superficial en tiempo real puede hacerse de forma relativamente sencilla con un dinamómetro para registrar los incrementos de los esfuerzos de corte los cuales tienen una estrecha relación con los valore de R_a . Existen otros sistemas ópticos pero resultan de difícil adquisición.

Para la verificación de la exactitud de fabricación se utiliza un Micrómetro Mitutoyo con apreciación de 0,001 mm con capacidad de medir diámetros de 25 a 50 mm con base para su sujeción durante las mediciones.

En la tabla 4 se muestra un resumen de las variables, instrumentos y maquinas que se proponen.

A partir de los valores seleccionados el experimento queda diseñado en base al siguiente arreglo de dos factores, Sección de viruta y Velocidad de Corte, con cuatro niveles y cuatro replicas para un total de sesenta y cuatro corridas para cada material como se muestra en la Tabla 5.

En la tabla 6 aprecian los valores de rugosidad máxima permitida para los avances y el radio de herramienta utilizados en el experimento.

Tabla 4 Resumen de las variables, materiales y equipos participantes en el experimento.

Variables Independientes	fijas	Herramienta de corte	DNMG 15 06 08-MM 2035 Sandvik
		Tipo de operación	Cilindrado
		Refrigerante	Aceite emulsionable en agua
	variables	Material de la pieza	309S, 304 y 316 según AISI
		Sección de la Viruta	0.2, 0.4, 0.8 y 1,6 mm ²
		Velocidad de corte	145,155,175 y 185 m/min
Variables dependientes	Rugosidad superficial	¿?	
	Vida útil herramienta	¿?	
	Exactitud dimensional	¿?	
Probeta	Según investigaciones de Amorin		
Torno	Torno <u>Okuma</u> LB 15		
Rugosímetro	<u>Airtronics</u> <u>Metrosurf</u> 181		
Micrómetro	Micrómetro Mitutoyo de 25-5		

Tabla 5. Arreglo general del experimento para cada tipo de material y datos a recopilar.

MATERIAL 316L							
Corrida N°	V _c	F	p	S _v	Rugosidad	Vida Útil	Exactitud
1	145	0.1	2	0.2			
2	145	0.1	4	0.4			
3	145	0.4	2	0.8			
4	145	0.4	4	1.6			
5	155	0.1	2	0.2			
6	155	0.1	4	0.4			
7	155	0.4	2	0.8			
8	155	0.4	4	1.6			
9	175	0.1	2	0.2			
10	175	0.1	4	0.4			
11	175	0.4	2	0.8			
12	175	0.4	4	1.6			
13	185	0.1	2	0.2			
14	185	0.1	4	0.4			
15	185	0.4	2	0.8			
16	185	0.4	4	1.6			

Tabla 6 Valores de rugosidad máxima permitidos para los avances y el radio de herramienta utilizados en el experimento.

Radio : 0,8mm	Avance	Rugosidad Max	Rugosidad diseño
	mm/rev	mm R_{max}	mm R_a
	0,1	1,95	0,4
	0,4	2,5	5,8

Para mejor comprensión de la metodología propuesta se muestra un esquema conceptual del diseño de los experimentos en la figura 9. En dicho esquema se detallan los siguientes elementos:

V_U = Tiempo Vida útil de herramienta

CV_U = Costo Vida Útil

QV_C = Material desalojado durante la vida útil

$R_{ad.}$ = Rugosidad de diseño

R_{ar} = Rugosidad Real.

Se trata de mecanizar las probetas tomando medidas de la rugosidad hasta que se verifique que la rugosidad de diseño se igual o mayor que la rugosidad medida.

Se registra V_U , CV_U , QV_C se calcula el cociente QV_C / CV_U , cuando este valor es máximo indica que el régimen de corte es el económico. Se introduce este criterio en la base de datos para seleccionar las variables del régimen de corte

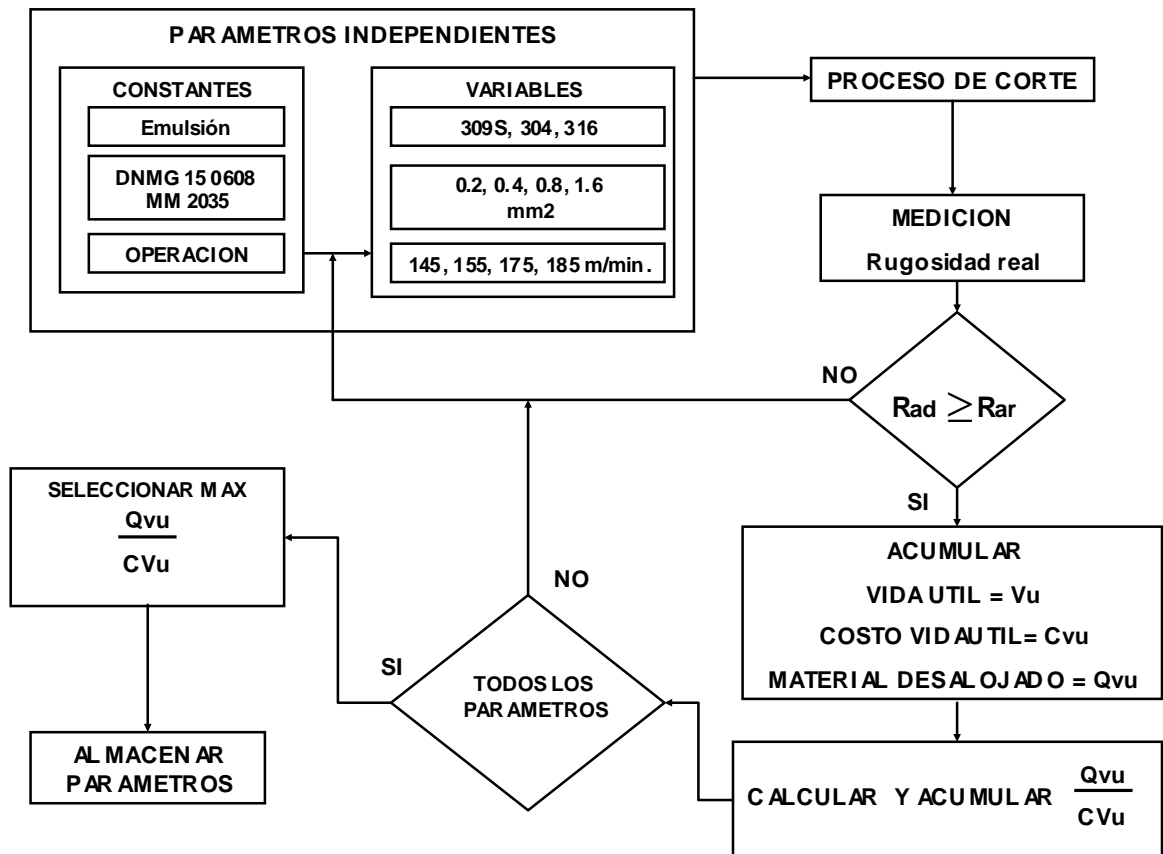


Figura 9. Esquema conceptual de la metodología del diseño de los experimentos.

Conclusiones Capítulo II

- 1.- Se determinaron las variables para el desarrollo de la fase experimental.
- 2.- Se determinó los equipos, instrumentos y herramientas necesarios para el desarrollo del experimento.
- 3.- Se estableció una metodología para llevar a cabo los ensayos de maquinabilidad con la finalidad de obtener vida útil de la herramienta y parámetros de régimen de corte económicos para el mecanizado de acero inoxidable.



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

CAPITULO 3

**METODOLOGIA PARA EL DISEÑO DE UNA APLICACIÓN INFORMATICA
PARA EL CALCULO DE REGIMEN DE CORTE ECONOMICO DE TORNEADO
DE ACERO INOXIDABLE.**

3 METODOLOGIA PARA EL DISEÑO DE UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA PARA EL CALCULO DE REGIMEN DE CORTE ECONÓMICO DE TORNEADO DE ACERO INOXIDABLE.

En los capítulos anteriores se justificó la necesidad de una herramienta informática que permita al tecnólogo proyectar los cálculos relacionados con el régimen de corte del acero inoxidable a fin de obtener la mayor vida útil de las herramientas con buenos índices de productividad. Se seleccionó para el estudio el material de acero inoxidable debido a las dificultades existentes para el cálculo del régimen de corte económico por su baja maquinabilidad y su utilidad en la industria manufacturera actual.

Básicamente la aplicación que se propone debe cumplir dos tareas:

- Seleccionar la herramienta de corte correspondiente al tipo de material. La automatización de esta tarea es una gran ayuda al tecnólogo ya que generalmente se realiza consultando manuales y tablas de gran contenido y de difícil manipulación.
- Presentar varias opciones del régimen de corte para que el usuario seleccione la más favorable según las condiciones del proceso de fabricación.

Para cumplir con estas tareas se recurre a los sistemas de bases de datos. Mediante este tipo de sistemas es posible relacionar las características de los materiales de la pieza a fabricar con las características de las herramientas de

corte y partir de esta relación se obtiene la información relacionada con los regimenes de corte.

Se parte de lo que se denomina el diseño conceptual de la base de datos. Se trata de un esquema semántico y un conjunto de normas que permiten definir los datos y su interacción de una forma precisa para luego representarlos gráficamente. Entonces a partir de este esquema se inicia el trabajo con el software de bases de datos Access.

La base de datos desarrollada en el presente trabajo esta formada por la entidad Herramienta, la entidad Materiales y la relación denominada Ensayos.

La Entidad Herramienta, ver tabla 7 posee un grupo de características denominadas atributos que la describe, cada una de estas características constituye una unidad de información posible de procesar. Específicamente de la entidad herramienta se seleccionaron los siguientes atributos:

- **Forma:** Se refiere a un polígono que representa la figura de la herramienta. Existe una variedad de formas: cuadrada, triangular, romboidal entre otras, La forma influye directamente en los ángulos de corte de la herramienta y estos a su vez influyen directamente en las características del tipo de mecanizado que se realizara, por lo que es un tipo de dato importante para precisar el régimen de corte.
- **Radio de punta de la herramienta:** Se refiere al valor del radio ubicado en la arista de la herramienta que hace contacto directo con el material durante el mecanizado. Este radio influye directamente en la rugosidad de la superficie de la pieza y la rugosidad es una variable de la presente investigación.

- **Angulo de incidencia:** Es el ángulo formado por la superficie principal de la herramienta y la superficie de la pieza. Este Angulo influye directamente en el rendimiento de la herramienta y la calidad superficial obtenida.
- **Calidad de la herramienta:** Se refiere a un código aplicado a la herramienta por la empresa fabricante para clasificar las herramientas de corte según la aplicación de la herramienta a las distintas condiciones de mecanizado.
- **Código Herramienta:** Atributo asignado para identificar a la entidad. Se le denomina llave principal y permite establecer la relación con la entidad material.
- **Geometría:** Característica de la herramienta que determina su aplicación para el acabado, el desbaste o el mecanizado medio. Influye directamente en el régimen de corte.

Tabla 7 Entidad Herramienta.

	CODHER	GEOMETRIA	CALIDAD	RADIO	FORMA	ANGUINC
	+ 001	MF	2015	0,8	ROMBOIDAL	0
	+ 002	MM	2025	1,2	ROMBOIDAL	0
	+ 003	QR	4035	1,6	ROMBOIDAL	0
	+ 004	MF	2025	0,8	ROMBOIDAL	0
	+ 005	MM	2035	1,2	ROMBOIDAL	0
	+ 006	QR	235	1,6	ROMBOIDAL	0
	+ 007	-23	H10A	0,8	ROMBOIDAL	0
	+ 008	QM	H13A	1,2	ROMBOIDAL	0
	+ 009	-23	H13A	0,8	ROMBOIDAL	0

De la misma manera el material de la pieza esta representado en la Entidad Material ver tabla 8 con los siguientes atributos:

Código Material: Atributo asignado para identificar a la entidad. Se le denomina llave principal y permite establecer la relación con la entidad herramienta.

Norma Aisi: Es la identificación del material según el instituto del hierro y del acero americano (**American Iron and Steel Institute**) se utiliza en la base para identificar el material. Se seleccionó esta norma debido a que su uso en Venezuela es muy común.

Dureza y Limite Elástico: Son Propiedades del material que influyen directamente en su maquinabilidad. Se utiliza en la base para obtener relaciones de estas propiedades con los regimenes de corte.

% de Carbón, % de Cromo, % Níquel. Son los aleantes más importantes en los aceros inoxidable. Se incluyen en la base de datos para detectar relaciones de cada uno de estos aleantes con los regimenes de corte.

Tabla 8 Entidad Material.

MATERIAL : Tabla							
	CODMAT	NORMA_AISI	ELASTICIDAD	DUREZA HB	%CARBON	%CROMO	%NIQUEL
	+ 001	304LN	205	200	0,03	19	10
	+ 002	316	240	200	0,05	17	12
	+ 003	316Ti	240	200	0,06	16,5	11
	+ 004	309S	210	215	0,08	24	15
	+ 005	430	260	180	0,08	17,5	0

La Relación Ensayos ver tabla 9 representa los posibles regímenes de corte que pueden llevarse a cabo mediante una combinación determinada de herramienta y material, asocia la entidad material y la entidad herramienta tiene los siguientes atributos:

Código de ensayo: Código que se asigna a cada régimen de mecanizado que puede establecerse en una combinación determinada de herramienta y material

específicos. Constituye la llave principal de la tabla y se utiliza para relación con la entidad de Material y la entidad Herramienta.

Código Herramienta y Código de Material: Se incluyen en la relación para poder establecer las combinaciones de un determinado material con una determinada herramienta.

Rugosidad: Es una atributo que surge al relacionar una herramienta de un determinado radio con cuando mecaniza un determinado material un determinado avance. Y uno de los objetivos de este estudio identificar el régimen de corte para obtener una determinada rugosidad

Velocidad: Es la velocidad a la cual se detectó la vida útil.

Profundidad: Profundidad para la vida útil.

COS-VID_UTIL: Costo del proceso de maquinado para la vida útil (CV_u).

Mat_DES: Es el material desalojado para la vida útil (QV_u).

Vida_Util: Es el tiempo de maquinado en cual se detectó que la rugosidad R_a es mayor $R_{ar}(V_u)$.

COEF_ ECONÓMICO. Es el factor que permite seleccionar el régimen de corte más económico. Se obtiene dividiendo la cantidad de material desalojado (QV_u) entre el costo del proceso de maquinado para una vida útil determinada (CV_u).

Tabla 9 Relación ensayos.

	CODREG	CODMAT	COD HER	RUGOSIDAD	AVANCE	VELOCIDAD	PROFUNDIDAD	COEF_ECO	COST_VID_UTIL	MAT_DES	VIDA UTIL
▶	001	001	001	0,32	0,2	250	4	0,41	49	20	10
	002	001	002	0,22	0,3	230	4	0,13	69	9	13
	003	001	003	0,2	0,1	175	4	0,32	40	12	11
	004	001	001	1,24	0,4	250	4	0,89	55	49	16
	005	001	002	0,8	0,2	210	4	0,75	60	45	12
	006	001	003	0,65	0,4	150	4	0,31	35	11	9
	007	001	001	2,98	0,3	230	3	0,45	29	13	11
	008	001	002	1,91	0,1	180	3	0,32	50	16	10
	009	001	003	1,4	0,1	150	3	0,51	35	18	11
	010	001	001	5,85	0,1	210	3	0,28	60	17	15
	011	001	002	3,62	0,2	150	3	0,38	52	20	17
	012	001	003	2,5	0,3	135	3	0,5	34	17	11

El diseño conceptual en Access queda representado mediante las relaciones que se aprecian en la figura 10:

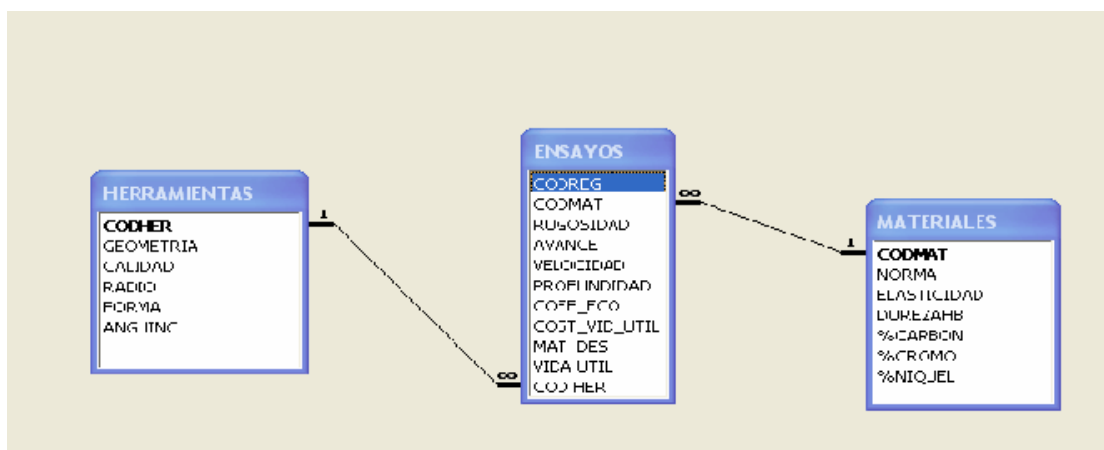


Figura10. Relación entidad Materia con la entidad Herramienta y la relación Ensayos.

Se aprecia en la Figura 10 la entidad **Material**, la entidad **Herramientas** y la relación Ensayos con sus respectivos atributos. Es importante destacar que la relación se establece mediante los atributos principales de cada tabla denominados llaves. El tipo de relación es de uno a muchos. Esto significa que un

material puede ser mecanizado por varios tipos de herramientas y una herramienta puede mecanizar varios materiales.

Se realiza una consulta a la base de datos para determinar la calidad de herramienta adecuada para cada tipo de mecanizado para cada herramienta y se obtiene la tabla 11.

Tabla 11 Consulta de la relación ensayos.

	CODMAT	CODHER	CALIDAD	NORMA	RADIO	RUGOSIDAD	AVANCE	VELOCIDAD	PROFUNDIDAD	COST_VID_UTIL	MAT_DES	VIDA UTIL
▶	001	001	2015	304LN	0,8	5,85	0,1	210	3	60	17	15
	001	001	2015	304LN	0,8	2,98	0,3	230	3	29	13	11
	001	001	2015	304LN	0,8	1,24	0,4	250	4	55	49	16
	001	001	2015	304LN	0,8	0,32	0,2	250	4	49	20	10
	001	002	2025	304LN	1,2	3,62	0,2	150	3	52	20	17
	001	002	2025	304LN	1,2	1,91	0,1	180	3	50	16	10
	001	002	2025	304LN	1,2	0,8	0,2	210	4	60	45	12
	001	002	2025	304LN	1,2	0,22	0,3	230	4	69	9	13
	001	003	4035	304LN	15	2,5	0,3	135	3	34	17	11
	001	003	4035	304LN	15	1,4	0,1	150	3	35	18	11
	001	003	4035	304LN	15	0,65	0,4	150	4	35	11	9
	001	003	4035	304LN	15	0,2	0,1	175	4	40	12	11
*												

Se puede apreciar en esta última tabla que el material identificado con el código 001 es el correspondiente a la norma AISI 304LN. Este material puede ser cortado por la herramienta identificada en la columna CALIDAD. Esta última tabla es la que se utiliza para el desarrollo de la aplicación. Además se identifica la velocidad, la profundidad y el avance para mecanizar el material especificado.

Mediante el software Visual Basic se crea un programa capaz de abrir y leer dicha tabla de manera que el usuario pueda identificar la herramienta adecuada para cada tipo de material y el régimen de corte correspondiente.

En la figura 11 se aprecia una vista de la interfase de la aplicación. En ella el usuario podrá seleccionar el tipo de material, el valor máximo de la rugosidad de diseño aceptado y además tendrá la opción de sugerir una vida útil de la herramienta en caso de que se vea restringido por la variable del tiempo de

mecanizado. Luego el sistema permitirá seleccionar entre varias opciones de régimen de corte adecuado.



The dialog box is titled "SELECCION DE REGIMEN DE CORTE" and contains the following elements:

- SELECCIONE EL MATERIAL SEGUN LA NORMA AISI:
- SELECCIONE LA RUGOSIDAD MAXIMA:
- SELECCIONE LA VIDA UTIL:
- SELECCIONE UNA OPCION DE REGIMENES DE CORTE:
- VELOCIDAD DE CORTE:
- PROFUNDIDAD DE CORTE:
- VIDA UTIL:
- Buttons: LIMPIAR, Aceptar, Cancelar

Figura 11 Interfase usuario de la base de datos

CONCLUSIONES CAPITULO 3

Se diseñó una base de datos para automatizar la selección de los parámetros de régimen corte económico para el torneado de acero inoxidable a partir valores obtenidos mediante ensayos de maquinabilidad.

Se presentó la interfase de la aplicación en la que el usuario introduce las variables de entrada y obtiene la posibilidad de seleccionar el régimen de corte.

CONCLUSIONES

- 1.- Se establecieron los criterios y condiciones para desarrollar ensayos de maquinabilidad en tornos control numérico computarizado indicando la selección de equipos, máquinas y materiales.
- 2.- Se desarrolló una metodología que permitirá obtener valores de un régimen de corte económico para el mecanizado de aceros inoxidables mediante una herramienta de corte determinada en una operación específica.
- 3.- Esta metodología podrá ser aplicada con otro tipo de material, otro tipo de herramienta y otro tipo de operación lo que permitirá ampliar la base de datos progresivamente y obtener valores de regímenes de corte adecuados a la dinámica económica de los países en desarrollo.
- 4.- Esta metodología puede ser aplicada en distintas empresas a fin de obtener valores de regímenes de corte adecuados a sus condiciones.
- 5.- Se estructuró una base de datos para manipular los valores del régimen de corte obtenido de los ensayos y permitir la selección del régimen según el tipo de material.

RECOMENDACIONES

1. Aplicar la metodología de ensayos de maquinabilidad presentada en esta investigación en distintas condiciones de torneado con la finalidad de consolidar la base de datos.
2. Desarrollar estudios a fin de verificar si la metodología es aplicable en otros tipos de maquinas tales como fresadoras y centros de mecanizado de control numérico.



*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

ANEXOS

PREGUNTAS OPONENTE

1.- Usted cita la utilización de métodos de optimización. Explique si aplicó algún tipo de optimización en el trabajo presentado.

En relación con este tema se citaron las siguientes investigaciones

Sardiña (2004) establece un modelo fundamentado en la teoría de redes neuronales, el cual optimiza una función multiobjetivo para mejorar las condiciones de corte de metal en las operaciones de torneado.

Rico, Díaz, Estrada, Molina (2005) En el ámbito de la aplicación de las redes neuronales y la optimización multiobjetivo a la predicción de la rugosidad.

Suresh, PVS, Rao PV, Deshmukh SG. 2002. A Genetic algorithmic approach for optimization of surface roughness prediction models. International Journal of machine tools & Manufacture. 675-680.

Zuperl U. 2003. Optimization of cutting conditions during cutting by using neural networks. Robotics and Computer integrated Manufacturing. 19: 189 -193.

Con la finalidad de Cumplir con el objetivo número 1 de esta tesis el cual consiste en Caracterizar el estado de las investigaciones basadas en el estudio de la relación del régimen de corte con la vida útil de la herramienta y la exactitud dimensional.

Se detectó una marcada tendencia hacia la aplicación de métodos de optimización en el área de mecanizado con la finalidad de predecir la influencia de las variables de corte en la calidad de las piezas.

Específicamente en este trabajo se desarrollo un método para obtener los valores máximos del cociente entre la cantidad de material desalojado sobre el costo del proceso de corte durante la vida útil de la herramienta, el cual permitirá de determinar cuales son los parámetros del régimen de corte que permiten obtener una vida útil económica de la herramienta.

2. ¿Qué debe hacer el usuario del sistema cuando no utilice algunas de las variables definidas?

La aplicación diseñada está basada en una base de datos. Este tipo de herramienta trabaja con variables discretas lo que para el objetivo de la aplicación es una desventaja. En futuras investigaciones relacionadas con la aplicación de la metodología se podrá obtener funciones que relacionen los parámetros de corte con la rugosidad y la exactitud dimensional lo que permitirá a la aplicación informática trabajar con variables continuas evaluadas dentro del rango donde exista la función. Mediante este tipo de función se podrá entonces mediante la aplicación de trabajar con cualquier variable.

3. ¿Cómo se justifica la utilización de máquinas CNC, sino se pueden explotar a su máxima capacidad de regímenes de corte?

Las maquinas cnc entre otras tienen las siguientes ventajas:

- **Mecanizado de formas complejas imposibles de obtener con máquinas convencionales.**
- **Repetibilidad.**
- **Potencia superior a las maquinas convencionales**
- **Reducción de tiempos de mecanizado**
- **Reducción de tiempos de maniobra auxiliar**

Si bien es cierto que por motivos de reducción de gastos por conceptos de herramientas de corte no se obtiene todo el provecho de la máquina, se



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

aprovecha de todas las otras ventajas entre ellas la posibilidad de desarrollar regimenes de corte superiores a los obtenidos por las maquinas convencionales