



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INSTRUMENTACIÓN PARA EL MONITOREO DEL PROCESO DE TALADRADO EN MAQUINAS
HERRAMIENTA.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO EN INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS

PRESENTA

ALEJANDRO MONDRAGÓN LUNA

DIRIGIDA POR:

DR. GILBERTO HERRERA RUIZ.

SANTIAGO DE QUERETARO, QRO. DICIEMBRE DEL 2004.

BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

No. Adq. H69522

No. Título _____

Clas. TS

621.952

M741i

DEDICATORIA:

Dedico este trabajo a la persona que estuvo a lo largo de estos 5 años a mi lado apoyándome en todo momento, cuando las cosas salían bien y cuando todo se me complicaba.

A ti nena: Regina Susana Rayas Rodríguez.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Gilberto Mondragón Miranda mi papá y Ma. De la Luz Luna Soto mi mamá, por todo el esfuerzo que hicieron para que yo terminara este sueño. Yo se que tuvimos momentos muy difíciles a lo largo de todos estos años que estuve estudiando, hasta llegar a la meta, otros no tanto, pero hoy quiero darles un millón de gracias por todo.

A tu familia nena, que siempre me tendió la mano cuando más lo necesitaba, les agradezco todo su apoyo.

Al Dr. Gilberto Herrera Ruiz quiero agradecerle todo lo que aprendí de el, quiero decirle Dr. Que es una persona que admiro mucho, es un excelente profesor, una buena persona y que me sentí honrado que haya dirigido este proyecto.

Le agradezco al Ing. Wbaldo Leal Tafolla jefe de Ingeniería de la empresa CARDANES S.A. de C.V. por haberme permitido desarrollar este proyecto en la empresa a la que el pertenece.

INDICE

	No. DE PAGINA
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	
1.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.	2
1.2. OBJETIVO DEL PROYECTO.	2
CAPITULO II. INTRODUCCIÓN AL PROCESO DE TALADRADO	
2.1.QUE ES EL TALADRADO.	3
2.2.TALADRADO CON BROCAS HELICOIDALES.	3
2.3. CONDICIONES DE CORTE EN EL TALADRADO.	6
2.4.PROPORCIÓN DE REMOCIÓN DE MATERIAL.	8
2.5.FUERZAS DE EMPUJE Y TORQUE.	8
2.6.MATERIALES Y TAMAÑOS DE BROCAS.	9
2.7.OPERACIONES RELACIONADAS CON EL TALADRADO.	10
2.8.TALADRO PRENSA.	11
2.9.MEDICIÓN DE LA VIDA DE LA BROCA.	14
CAPIYULO III. TÉCNICAS DE MONITOREO EN EL PROCESO DE TALADRADO.	
3.1.METODOS DE MONITOREO.	15
3.2.SENSORES DE MONITOREO.	15
3.3.VARIADORES DE FRECUENCIA.	17
CAPITULO IV ESTRUCTURA EXPERIMENTAL	
4.1.ESTRUCTURA Y CONDICIONES DEL EXPERIMENTO.	21
4.2.SISTEMA DE ADQUISICIÓN.	25
4.3.CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE.	30
4.4.FILTRADO DE SEÑALES.	40
4.5.RESULTADOS.	45
CONCLUSIONES	47

ANEXOS

1.	IMAGEN DE LA MAQUINA MONITOREADA.	48
2.	BROCA UTILIZADA PARA LA PRUEBA.	48
3.	OTRA PERSPECTIVA DE LA BROCA UTILIZADA.	48
4.	BROCA DE PRUEBA.	48
5.	LA IMAGEN ILUSTR A EL MAQUINADO DE LA PIESA.	49
6.	LA IMAGEN MUESTRA LA PIESA DE TRABADO NOTE EL DIÁMETRO INICIAL.	49
7.	EL REFRIGERANTE ES IMPORTANTE PARA LA VIDA UTIL DE LA HERRAMIENTA.	49
8.	MOMENTO EN EL QUE LA MAQUINA HA TERMINADO LA OPERACIÓN.	49
9.	LA PIEZA HA SIDO MAQUINADA. NOTE EL DIÁMETRO FINAL.	50
10.	IMAGEN DEL MOTOR DE AC DEL HUSILLO DEL TALADRO.	50
11.	TABLERO ELÉCTRICO DEL TALADRO DE PRUEBA.	50
12.	VARIADOR DE FRECUENCIA DE DONDE FUE SENSADA LA CORRIENTE DEL MOTOR DEL HUSILLO.	50
13.	EQUIPO UTILIZADO PARA LA ADQUISICIÓN DE LOS DATOS.	51
14.	INSTANTES EN LOS QUE SE ESTA LLEBANDO A CABO EL MUESTREO.	51
15.	EVOLUCIÓN DEL DESGASTE DE LA BROCA.	51
16.	INFORMACIÓN TÉCNICA DE LA BROCA.	53
17.	INFORMACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL DE LA PIEZA DE TRABAJO.	54

BIBLIOGRAFÍA

56

INTRODUCCIÓN

Durante años se han desarrollado investigaciones buscando técnicas y métodos que permitan monitorear en línea, el desgaste de herramientas en los procesos de maquinado. Estos estudios se han realizado a raíz de que en la industria se requiere de prevenir los daños que se producen en las piezas, consecuencia del mal estado en el que se encuentra la herramienta.

Este proyecto abordará la instrumentación para el monitoreo en el proceso de taladrado en máquinas-herramienta. Se describirán generalidades abordando los conceptos que describen este proceso, así como el desarrollo de un experimento el cual nos llevara a determinar resultados y en consecuencia obtener conclusiones que aporten formas de determinar el estado físico de la herramienta.

A través del desarrollo de esta investigación se describirá cada uno de los conceptos que intervienen en el proceso de taladrado así como los alcances que se pretenden alcanzar y el objetivo de este trabajo. Los factores más relevantes que se deben considerar como condiciones de mayor importancia en el taladrado son las condiciones de corte, el material y geometría de la broca. En las condiciones de corte es muy importante la velocidad así como la dureza del material a remover. Cada tipo de material tiene condiciones de velocidad y avance distintas que se deben tomar en cuenta para aumentar la vida útil de la broca, para determinar la velocidad y al avance debemos conocer las fuerzas de empuje y torque que también serán descritas. El tipo de material de la broca y tamaño son condiciones que también tomaremos en cuenta ya que el tipo de material que se utiliza en taladrado son normalmente aceros de alta velocidad, otros factores importantes es el tipo de operación que se este realizando ya que existen diferentes operaciones que se relacionan con el proceso de taladrado y que también debemos tomare en cuenta.

Considerando cada uno de los factores que intervienen en el proceso de taladrado y el objetivo de esta investigación, se analizaran los sensores que pueden ser utilizados para monitorear el desgaste de la herramienta así como el software y sistema de adquisición para procesar las señales de las cuales obtendremos la información necesaria para deducir resultados.

Los resultados que se obtengan estarán en función de las señales que se obtengan y del detallado análisis de la deformación de la señal, producto del desgaste que va teniendo la herramienta a lo largo de su vida útil.

CAPITULO I.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

El desgaste de brocas en el proceso de taladrado es un tema de interés para la industria, ya que si se puede medir la vida útil de la herramienta se pueden evitar costos que se generan al tener que retrabajar las piezas. Por esta razón se han realizado investigaciones ideando técnicas y metodologías que permitan diagnosticar el estado físico de la herramienta y así tomar acciones preventivas. Como consecuencia de los problemas que el desgaste de las herramientas causan a la industria he tomado este tema con la finalidad de aportar alguna estrategia que permita un diagnostico en las herramientas en el proceso de taladrado. En el estado de Querétaro que se caracteriza por ser un estado industrial, existen muchas empresas las cuales pueden ser beneficiadas al desarrollar proyectos útiles para solucionar problemas. La investigación que se hace en nuestro país abordando estos temas es muy escasa por lo que este proyecto abordara un campo de investigación muy poco estudiado y donde existe una oportunidad para aportar cosas nuevas.

1.2. OBJETIVO DEL PROYECTO.

El objetivo de este proyecto es determinar de manera experimental que las señales de corriente del motor de corriente alterna (AC) del husillo en un taladro prensa, se vuelve asimétrica en función del desgaste de la herramienta. De tal forma que se pueda tener información acerca de las condiciones físicas de la herramienta en el proceso de taladrado en línea.

CAPITULO II.

INTRODUCCIÓN AL PROCESO DE TALADRADO.

2.1. TALADRADO.

El taladrado es una operación de maquinado que se usa para crear agujeros redondos en una parte de trabajo. El taladrado se realiza por lo general con una herramienta cilíndrica rotatoria, llamada *broca*, que tiene dos bordes cortantes en su extremo. La broca avanza dentro de la parte de trabajo estacionaria para formar un agujero cuyo diámetro está determinado por el diámetro de la broca. El taladrado se realiza con un taladro prensa, aunque otras máquinas herramienta puedan ejecutar esta operación.

2.2. TALADRADO CON BROCAS HELICOIDALES.

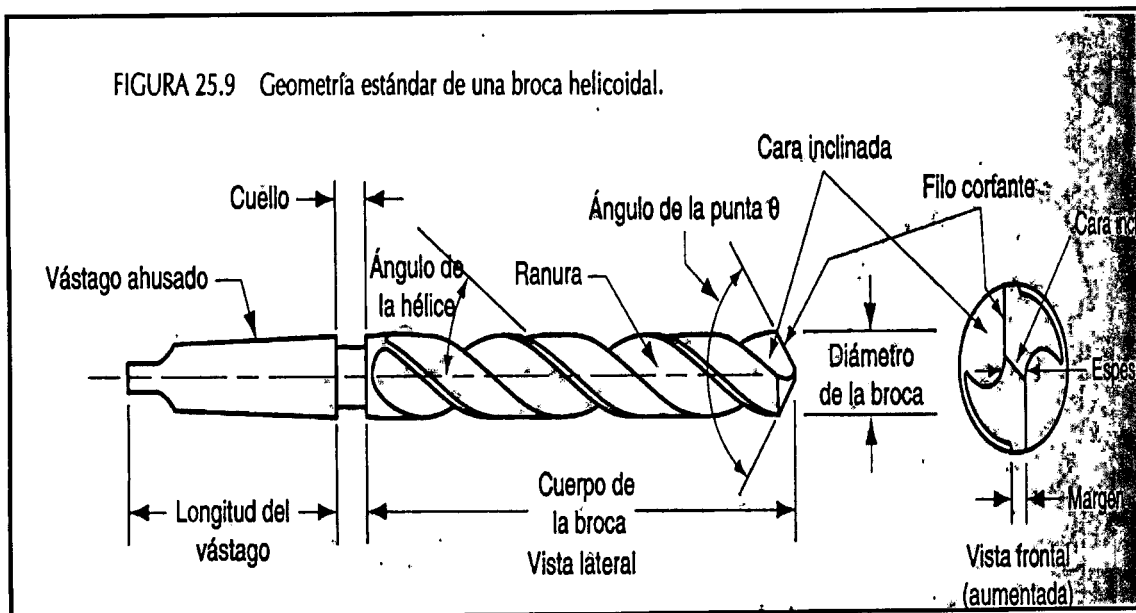
Hay disponibles varias herramientas de corte para hacer agujeros, pero la broca helicoidal es con mucho la más común. Sus diámetros fluctúan desde 0.0006 pulg. (0.15mm) hasta brocas tan grandes como 3.0 pulg. (75mm). Las brocas helicoidales se usan ampliamente en la industria para producir agujeros en forma rápida y económica. La geometría estándar de la broca helicoidal se ilustra en la *figura*. El cuerpo de la broca tiene dos ranuras o canales helicoidales (de la hélice deriva el nombre de broca helicoidal). El ángulo de las ranuras helicoidales se llama ángulo de la hélice, un valor típico tiene alrededor de 30° . Durante la operación, las ranuras actúan como canales de extracción de la viruta del agujero. Aunque es deseable que la abertura de las ranuras sea grande para proveer el claro máximo de la viruta, el cuerpo de la broca debe ser soportado sobre su longitud. Este soporte lo provee el alma o núcleo, que es el espesor de la broca entre las ranuras.

La punta de la broca tiene la forma general de un cono. Un valor típico para el ángulo de la punta es de 118° , la punta se puede diseñar de varias formas, pero el diseño más común es el borde de cincel, como se muestra en la *figura*. Conectadas con el filo del cincel hay dos bordes cortantes (algunas veces llamadas labios) que conducen hacia las ranuras. La porción de cada ranura adyacente al borde cortante actúan como la cara inclinada de la herramienta.

La acción de corte de la broca helicoidal es compleja. La rotación y el avance de la broca producen un movimiento relativo entre los filos cortantes y la pieza de trabajo que forma la viruta. La velocidad de corte en cada filo cortante varía en función de la distancia al eje de rotación. Por consiguiente, la eficiencia de la acción de corte varía, y es más eficiente en el diámetro exterior de la broca que en el centro. De hecho, la velocidad relativa en la punta de la broca es cero, por tanto no hay corte. En su lugar, el borde del cincel de la punta de la broca empuja el

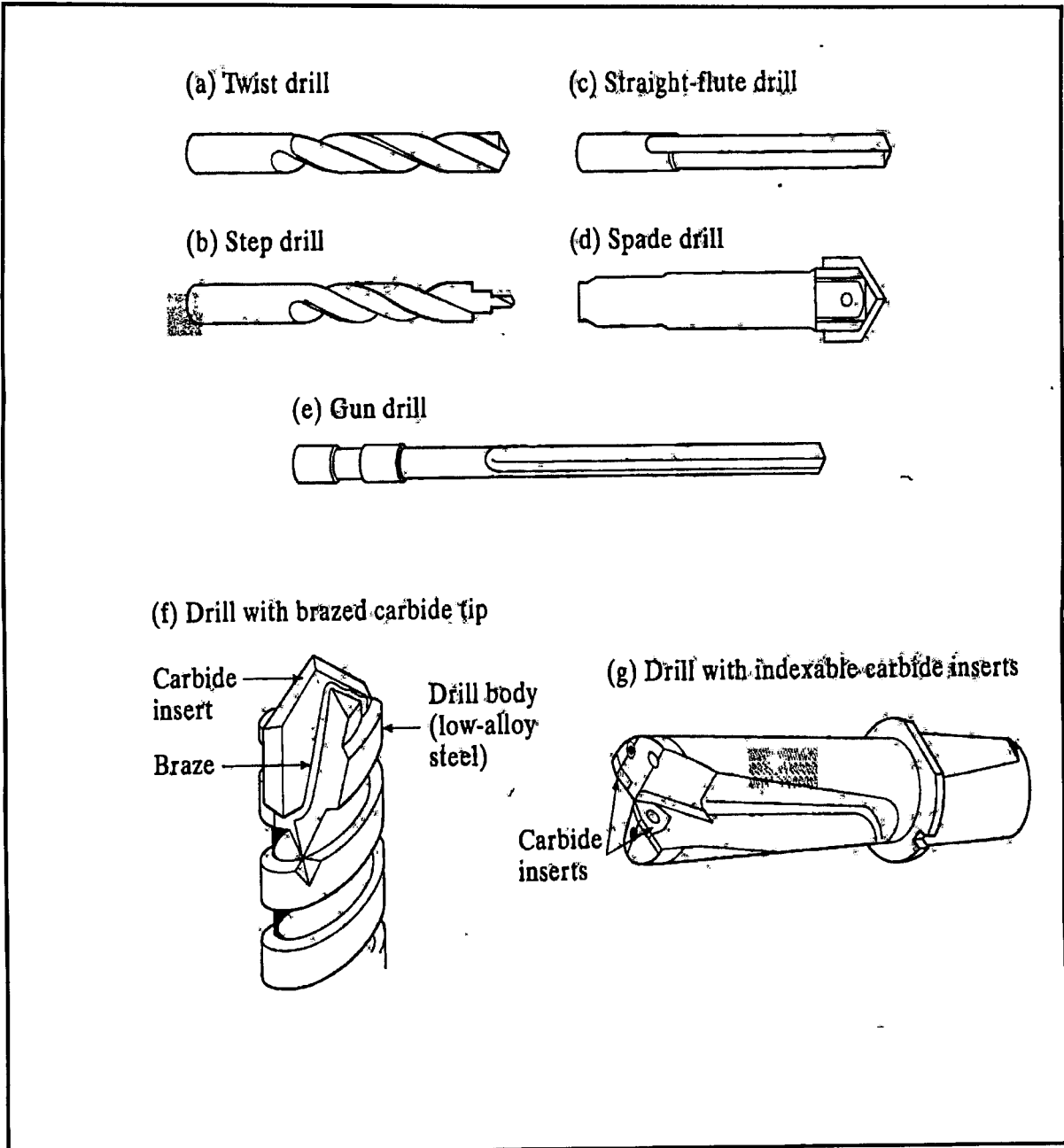
material del centro hacia los lados cuando penetra dentro del agujero; se requiere una gran fuerza de corte para conducir la broca helicoidal hacia el agujero. Al principio de la operación, el borde de cincel rotatorio tiende a deslizarse sobre la superficie de la parte de trabajo y causa la pérdida de precisión posicional. Para resolver este problema se han desarrollado nuevos diseños de puntas.

La remoción de la viruta puede ser un problema en la operación de taladrado. La acción de corte tiene lugar dentro del agujero, y las ranuras deben proveer el claro suficiente a lo largo de la longitud de la broca para permitir que salga la rebaba del agujero. Al formarse la viruta, se mueve a través de las ranuras hacia la superficie de trabajo. La fricción complica la operación de dos formas. Además de la fricción usual el corte de metales entre la viruta y la cara inclinada del corte cortante, también hay fricción por el roce entre el diámetro exterior de la broca y el agujero recientemente formado. Esto genera calor que eleva la temperatura de la broca y del trabajo. La adición de un fluido de corte a la punta del taladro para reducir la fricción y el calor se dificulta debido a que la viruta fluye en dirección opuesta. Debido a la remoción de viruta y al calor, la profundidad del agujero que puede hacer una broca está limitada a no más de cuatro veces el diámetro. Algunas brocas helicoidales tienen conductos internos longitudinales, a través de los cuales se puede bombear un fluido dentro del agujero cerca de la punta de la broca. Una aproximación alternativa con las brocas helicoidales que no tienen conductos para el fluido es el uso de un procedimiento de "picoteo" durante la operación de taladrado. En este procedimiento la broca sale periódicamente del agujero para limpiar la viruta antes de volver a entrar.



La figura muestra la geometría estándar de una broca helicoidal.

Las brocas se hacen normalmente de acero de alta velocidad. Su geometría se fabrica antes del tratamiento térmico y el exterior (bordes de corte y superficie de fricción) se endurece, mientras retiene un núcleo interno relativamente tenaz. El esmerilado se usa para afilar los filos de corte y la forma de la punta.



Varios tipos de brocas.

2.3. CONDICIONES DE CORTE EN EL TALADRADO.

La velocidad de corte en una operación de taladrado es la velocidad superficial en el diámetro exterior de la broca. Se especifica de esta forma por conveniencia, aunque casi todo el corte se realiza a las velocidades más bajas cercanas al eje de rotación.

Para fijar la velocidad deseada de corte en taladrado es necesario determinar la velocidad de rotación de la broca por su diámetro. Si N representa las rev/min del husillo, entonces:

$$N = \frac{v}{\pi D}$$

Donde v = velocidad de corte pulg/min (mm/min); y D = diámetro de la broca, pulg(mm). En algunas operaciones de taladrado, superficie de la pieza gira sobre una herramienta en reposo, pero se aplica la misma fórmula.

En el taladrado, el avance f se especifica en pulg/rev (mm/rev). Las revoluciones recomendadas son aproximadamente proporcionales al diámetro del taladro; los avances más altos se logran con brocas de diámetro grande. Como generalmente existen dos bordes de corte en la punta de la broca, el espesor de la viruta no cortada (carga de viruta) que se toma en cada borde de corte es la mitad del avance. El avance puede convertirse a la velocidad de avance si utilizamos la misma ecuación que en el torneado:

$$f_r = Nf$$

Donde f_r = velocidad de avance, pulg/min(mm/min).

Los agujeros taladrados pueden ser agujeros completos o agujeros ciegos, como se muestra en la figura. En los agujeros completos, la broca sale en el lado opuesto al trabajo; en los agujeros ciegos no es así. El tiempo de maquinado requerido para taladrar un agujero completo se puede determinar con la siguiente fórmula.

$$T_m = \frac{t + A}{f_r}$$

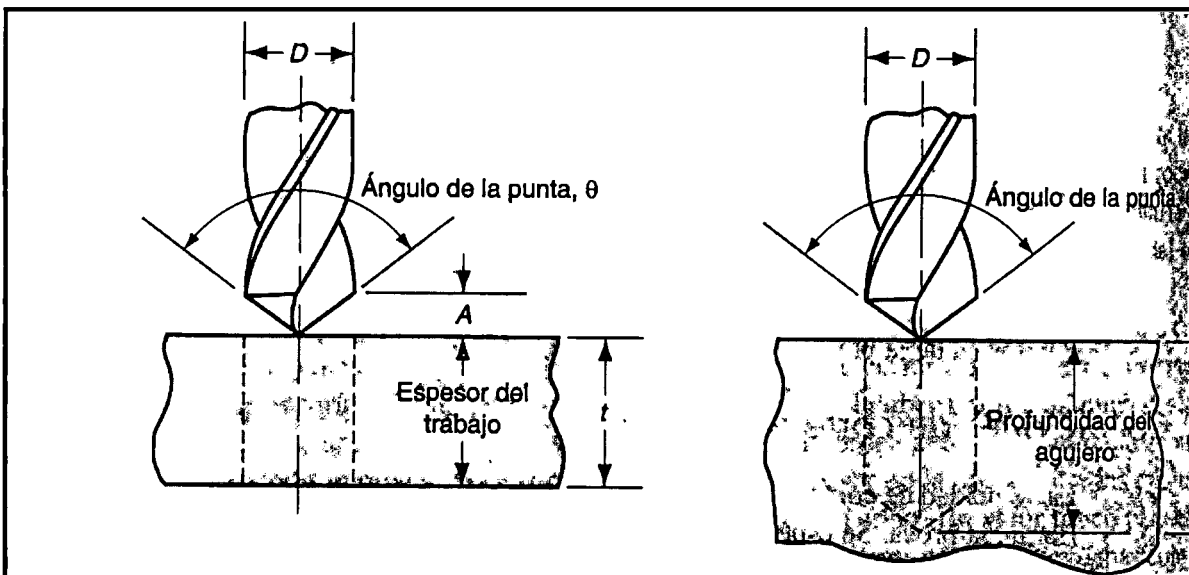
Donde T_m = tiempo de maquinado(taladrado), min; t = espesor del trabajo, pulg(mm); f_r = velocidad de avance, pulg/min(mm/min); A = tolerancia de aproximación que toma en cuenta el ángulo de la punta de la broca, y representa la distancia que la broca debe avanzar dentro del trabajo antes de alcanzar el diámetro completo como se vera en la figura. Dicha tolerancia estará determinada por:

$$A = 0.5D \tan\left(90 - \frac{\theta}{2}\right)$$

Donde A = tolerancia de aproximación, pulg(mm); θ = ángulo de la punta de la broca.

En el agujero ciego la profundidad d se define como la distancia entre la superficie de trabajo y el punto más profundo del agujero, se ilustra en la figura. Por esta definición el ángulo de tolerancia de la punta de la broca no afecta el tiempo para taladrar el agujero. Entonces el tiempo de maquinado para un agujero ciego esta dado por:

$$T_m = \frac{d}{fr}$$



Dos tipos de agujeros: (a) agujero completo y (b) agujero ciego.

La velocidad de remoción de metal en el taladrado se determina como el producto de la sección transversal de la broca y de la velocidad de avance:

$$N = \frac{v}{\pi D}$$

Esta ecuación es válida solo después de que la broca alcance el diámetro completo y excluye la aproximación de la broca al trabajo.

2.4. PROPORCIÓN DE REMOCIÓN DE MATERIAL.

El rango de remoción de material en el taladrado es el volumen removido por la broca en la unidad de tiempo. Para una broca con diámetro D , el área de la sección transversal del agujero es $\pi D^2/4$. la velocidad perpendicular de la broca a la pieza de trabajo es el producto del avance (distancia de penetración por revolución) y la velocidad de rotación N donde $N=V \pi$. Así:

$$MRR = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) (f)(N)$$

2.5. FUERZA DE EMPUJE Y TORQUE.

La fuerza de empuje en el taladrado es perpendicular al eje del agujero; si esta fuerza es excesiva, esto puede ser causa de que la broca se doble o se rompa. Una excesiva fuerza de empuje solo puede distorsionar la pieza de trabajo, particularmente si no tiene suficiente dureza (por ejemplo, si la estructura es una hoja de metal delgado), esto puede ocasionar que se fisure el área donde se realiza el agujero en la pieza de trabajo.

El rango de la fuerza de empuje para brocas pequeñas es bajo, así como para brocas grandes que puede ser 100kN (22.5klbs), esto depende también del tipo de materiales. Similarmente, a esto puede ser el rango de torqué alto que puede ser 4000 N*m (3000 lb-ft). La fuerza de empuje depende de factores tales como, (a) la fuerza del material de la pieza de trabajo, (b) avance, (c) velocidad de rotación, (d) diámetro de la broca, (e) geometría de la broca y (f) fluidos de corte. El cálculo exacto de la fuerza de empuje en la broca es complicado. Sin embargo, los datos experimentales están determinados en el diseño y uso de las brocas y equipo de taladrado.

El conocimiento de la magnitud del torqué en el taladrado es esencial para estimar la energía requerida. Un torqué excesivo puede distorsionar la pieza de trabajo u causarle fisuras. El torqué durante el taladrado es difícil de calcular, pero pueden ser obtenidos de tablas. Nótese que la energía disipada durante el taladrado es el producto del torqué y la velocidad de rotación. Por consiguiente, el torqué en el taladro puede ser calculada, calculando primero la proporción de remoción de material.

Ejemplo: Calcular la proporción de remoción de material y el torque en un taladrado.

Se realiza un agujero en un bloque de aleación de Magnesio con una broca de 10 mm de diámetro, a una velocidad de corte de 0.2 mm/rev, siendo la velocidad del husillo N=800rpm. Calcular la proporción de remoción de material y el torque en la broca.

Solución: Se calcula primero la proporción de remoción de material.

$$MRR = \left(\frac{\pi 10^2}{4} \right) (0.2)(800) = 12,570 \text{ mm}^3 / \text{min} = 210 \text{ mm}^3 / \text{s}.$$

De tablas se obtuvo el factor que se debe aplicar en función del tipo de material para el calculo de la energía a suministrar. Por consiguiente la energía requerida es:

$$\text{Power} = (210)(0.5) = 105 \text{ W}.$$

La energía requerida es el producto del torque en la broca y la velocidad rotacional, para este caso es $(800)(2\pi)/60=83.8$ radianes por segundo. Note que $W = J/S$ y $J = N * m$, tenemos:

$$T = \frac{105}{83.8} = 1.25 \text{ N} * \text{m}$$

2.6. MATERIALES Y TAMAÑOS DE BROCAS.

Las brocas son hechas usualmente de aceros de alta velocidad (M1, M2 y M10) y muchas ahora son cubiertas de nitrato de titanio aumentado la resistencia de uso. Las brocas son utilizadas para trabajar hierros, aceros, metales duros de alta temperatura, y materiales abrasivos, tales como concreto y ladrillo (brocas de albañilería), y materiales compuestos con fibras abrasivas reforzadas, tales como vidrio y grafito.

Los tamaños estándar de la broca helicoidal consisten de la siguientes series:

1. Numérica
2. Carta.
3. Fraccional
4. Milimétrica.

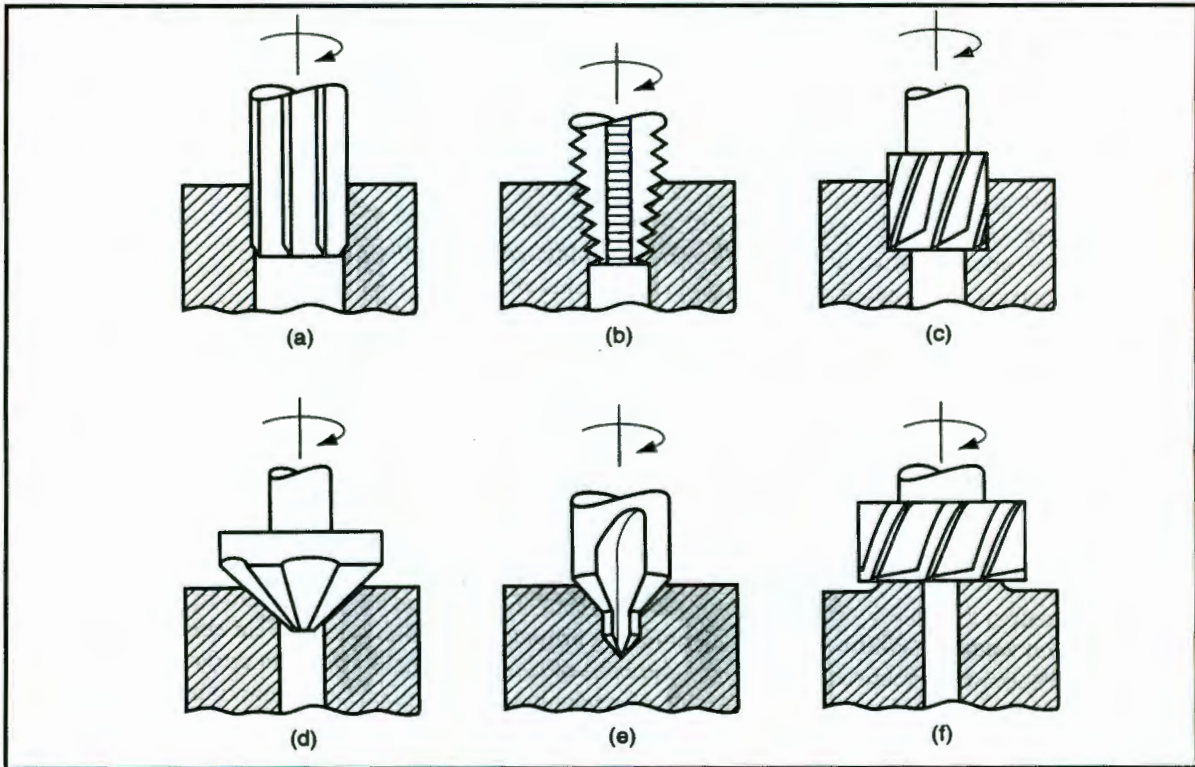
2.7. OPERACIONES RELACIONADAS CON EL TALADRADO.

- a) **Escariado.** Se usa para agrandar ligeramente un agujero, suministrar una mejor tolerancia en su diámetro y mejorar su acabado superficial. La herramienta se llama escariador el cual tiene por lo general ranura rectas.
- b) **Roscado interior.** Esta operación se realiza por medio de un machuelo y se usa para cortar una rosca interior en el agujero existente.
- c) **Abocardado.** En el abocardado se realiza un agujero escalonado en el cual un diámetro más grande sigue a un diámetro más pequeño parcialmente dentro del agujero. Se usa un agujero abocardado para asentar las cabezas de los pernos dentro de un agujero de manera que no sobresalgan de la superficie.
- d) **Avellanado.** Es una operación similar al abocardado salvo que el escalón en el agujero tiene forma de cono para tornillos y pernos de cabeza plana.
- e) **Centrado.** También llamado taladrado central. Esta operación taladra un agujero inicial para establecer con precisión el lugar donde se taladrará el siguiente agujero. La herramienta se llama mecha centradora.
- f) **Refrentado.** Es una operación similar al fresado que se usa para suministrar una superficie maquinada plana en la parte de trabajo en un área localizada.

TABLE 22.10 General Recommendations for Drill Geometry for High-Speed Twist Drills

Workpiece material	Point angle	Lip-relief angle	Chisel-edge angle	Helix angle	Point
Aluminum alloys	90-118	12-15	125-135	24-48	Standard
Magnesium alloys	70-118	12-15	120-135	30-45	Standard
Copper alloys	118	12-15	125-135	10-30	Standard
Steels	118	10-15	125-135	24-32	Standard
High-strength steels	118-135	7-10	125-135	24-32	Crankshaft
Stainless steels, low strength	118	10-12	125-135	24-32	Standard
Stainless steels, high strength	118-135	7-10	120-130	24-32	Crankshaft
High-temp. alloys	118-135	9-12	125-135	15-30	Crankshaft
Refractory alloys	118	7-10	125-135	24-32	Standard
Titanium alloys	118-135	7-10	125-135	15-32	Crankshaft
Cast irons	118	8-12	125-135	24-32	Standard
Plastics	60-90	7	120-135	29	Standard

Recomendaciones generales de geometría para brocas helicoidales para alta velocidad.



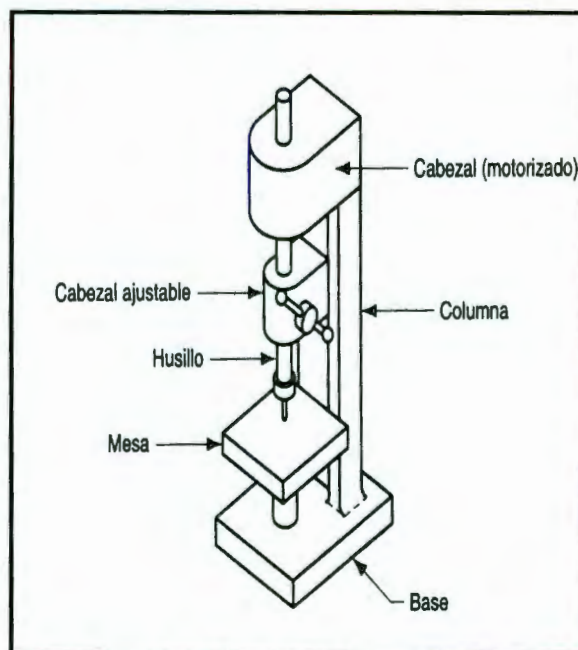
Operaciones de maquinado relacionadas con el taladrado: (a) escariado, (b) roscado interior, (c) abocardado, (d) avellanado, (e) centrado y (f) refrentado.

2.8. TALADROS PRENSA.

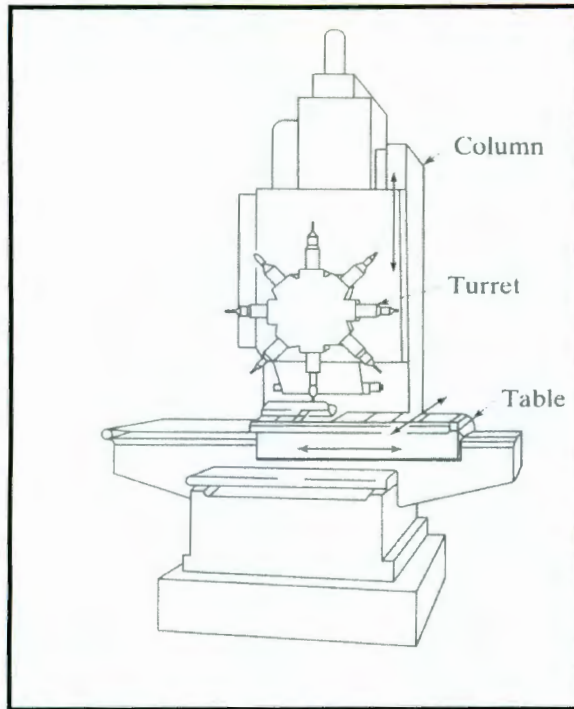
El taladro prensa es la maquina estándar para taladrar. Hay varios tipos de taladros prensa, de los cuales el básico es el vertical(ver la figura). El taladro vertical se mantiene sobre el piso y esta formado por una mesa para sostener la parte del trabajo, un cabezal del taladro con un husillo mecanizado para la broca, y una base y columna para soporte. Una prensa similar, pero más pequeña es el taladro de banco, el cual se monta sobre una mesa o un banco en lugar de pararse sobre el piso.

El taladro radial es un taladro prensa diseñado para cortar agujeros en partes grandes. Tiene un brazo radial a lo largo del cual se puede mover y ajustarse el cabezal del taladro. Por tanto, el cabezal puede ponerse en posición a lo largo del brazo en lugares que son significativamente distantes de la columna, lo cual permite acomodar piezas de traba grandes.

Un taladro múltiple es un taladro prensa que consiste básicamente en una serie de dos a seis taladros verticales conectados en un arreglo en línea. Cada husillo se acciona y opera en forma independiente, pero comparten una mesa de trabajo común. De manera que se pueden realizar operaciones relacionadas con el taladro en serie (por ejemplo, centrado, taladrado, escariado y roscado interior) deslizando simplemente la parte de trabajo sobre la mesa de trabajo de un husillo al siguiente. Una maquina relacionada es el taladro de husillos múltiples, en el cual están conectados varios husillos para taladrar múltiples agujeros simultáneamente en una parte de trabajo.



Taladro prensa vertical.



Taladro múltiple

TABLA GENERAL DE RECOMENDACIONES DE AVANCE Y VELOCIDAD PARA EL TALADRADO.

TABLE 22.12 General Recommendations for Speeds and Feeds in Drilling

Workpiece material	Surface Speed		Feed, mm/rev (in./rev) Drill diameter		Rpm	
	m/min	ft/min	1.5 mm (0.060 in.)	12.5 mm (0.5 in.)	1.5 mm	12.5 mm
Aluminum alloys	30-120	100-400	0.025 (0.001)	0.30 (0.012)	6400-25,000	800-3000
Magnesium alloys	45-120	150-400	0.025 (0.001)	0.30 (0.012)	9600-25,000	1100-3000
Copper alloys	15-60	50-200	0.025 (0.001)	0.25 (0.010)	3200-12,000	400-1500
Steels	20-30	60-100	0.025 (0.001)	0.30 (0.012)	4300-6400	500-800
Stainless steels	10-20	40-60	0.025 (0.001)	0.18 (0.007)	2100-4300	250-500
Titanium alloys	6-20	20-60	0.010 (0.0004)	0.15 (0.006)	1300-4300	150-500
Cast irons	20-60	60-200	0.025 (0.001)	0.30 (0.012)	4300-12,000	500-1500
Thermoplastics	30-60	100-200	0.025 (0.001)	0.13 (0.005)	6400-12,000	800-1500
Thermosets	20-60	60-200	0.025 (0.001)	0.10 (0.004)	4300-12,000	500-1500

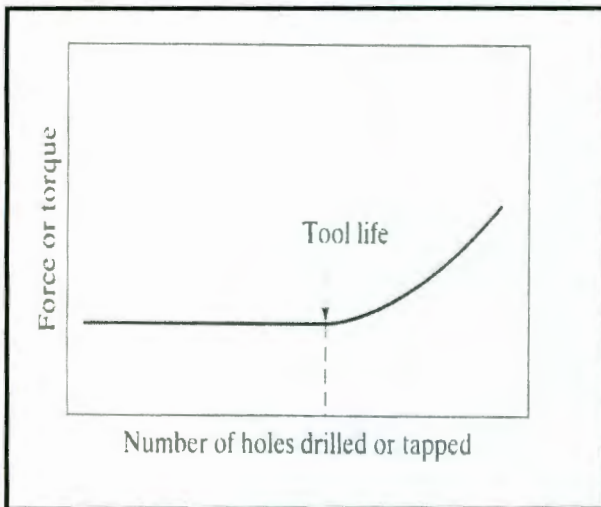
Note: As hole depth increases, speeds and feeds should be reduced. Selection of speeds and feeds also depends on the specific surface finish required.

2.9. MEDICIÓN DE LA VIDA DE LA BROCA.

El desgaste y reemplazo de brocas es importante, particularmente en la producción automatizada. El desgaste de las brocas es inexacto debido a las fuerzas, que causan daños en la superficie y se producen agujeros inexactos. **La vida de las brocas, así como de los insertos, es medida por el número de agujeros que realiza.**

El procedimiento de prueba consiste en clampear un bloque de material sobre un dinamómetro o transductor de fuerza y taladrar un número de agujeros, mientras se graba el torque o fuerza durante cada operación sucesiva, después de un cierto número de agujeros que han sido taladrados. El torque y la fuerza empiezan a aumentar porque la herramienta está sufriendo desgaste.

La vida de la broca está definida con el número de agujeros taladrados hasta que inicia la transición. Otras técnicas, tales como **monitoreo de vibraciones y emisiones acústicas** pueden ser utilizadas para determinar la vida de la broca. Estas técnicas son particularmente importantes en operaciones controladas por computadora.



La grafica describe el desgaste de la broca en función del aumento de la fuerza de torque y el número de agujeros.

CAPITULO III.

TÉCNICAS DE MONITOREO EN EL PROCESO DE TALADRADO.

El monitoreo en línea del desgaste y reemplazo es importante en los procesos de manufactura totalmente automatizados. Se han desarrollado importantes técnicas para prevenir el daño en las herramientas de corte en máquinas herramientas y las piezas trabajadas. Muchas investigaciones han buscado las técnicas con las que se pueda llevar a cabo las mediciones en línea. Una gran variedad de sensores se pueden usar para darse cuenta de las condiciones de la herramienta.

3.1. METODOS DE MONITOREO.

Con el afán de desarrollar las técnicas de monitoreo que mejores resultados se puedan obtener se han dividido en dos tipos de metodologías: **Métodos directos** y **métodos indirectos**. El método directo nos pone en desventaja ya que solo se puede aplicar mientras la herramienta no esta en contacto con la pieza de trabajo. Con los métodos indirectos podemos obtener una relación del desgaste de la herramienta a través de las señales que pueden ser: Fuerza, emisiones acústicas, vibración, vibraciones ultrasónicas o corriente. Para estimar el desgaste de herramientas se han realizado amplias investigaciones. Entre los sensores más utilizados por las diversas investigaciones son aquellos que nos permiten sensar la corriente que demanda el motor durante la operación.

Las metodologías más usuales han sido midiendo la corriente del motor del husillo y la corriente del motor de avance para estimar el torque estático y la fuerza de empuje, de esta manera monitorean las condiciones de la herramienta.

3.2. SENSORES MONITOREO.

Los sensores utilizados para medir torque y fuerza de empuje más sofisticados son sensores que aplican los principios de las corrientes de hedí. Estos son colocados a una distancia que oscila entre los 0.2 - 0.5 mm, son desarrollos hechos en Alemania.

Para medir las vibraciones y sonido se utilizan los acelerómetros como elemento sensor.

Las emisiones acústicas y vibraciones ultrasónicas se miden con transductores de frecuencia.

El monitoreo de corriente en los motores del husillo y del avance es a partir de inversores para motores de corriente alterna (AC).

Las investigaciones que se han hecho y publicado a partir del monitoreo de señales de las corrientes del motor del husillo y del motor del avance han sido encaminadas a relacionar el desgaste de la herramienta directamente con la amplitud de la onda. La relación que existe entre el desgaste de la herramienta y la amplitud esta sujeta a varias condiciones en las que se pueden mencionar el tamaño de la herramienta, velocidad de corte, dureza de la pieza de trabajo, por lo que determinar el desgaste de la herramienta en función de la amplitud de la onda resulta un tanto complejo debido a los factores que intervienen.

Otras manera de determinar el desgaste de las herramientas y particularmente en el proceso de taladrado es en la simetría de la onda. La forma de onda se vuelve asimétrica en función del desgaste de la herramienta por lo que a partir de estas características podemos tomar decisiones.

En propósito de este estudio es el de determinar de manera experimental que la simetría de la forma de onda en la señal de corriente obtenida del motor de corriente alterna (AC) del husillo esta directamente relacionada con el desgaste de la broca.

Como elemento sensor se utilizara la corriente del motor del husillo, esta se mide a través del variador de frecuencia que controla la velocidad del husillo, que es el instrumento con el cual se puede tener control de los motores de corriente alterna (AC). Estos dispositivos que cuentan con una tecnología electrónica muy sofisticada y confiable nos dan la opción de obtener señales analógicas de corriente que es de donde se acoplara el sistema de adquisición de datos para su captura y análisis.

Los variadores de frecuencia utilizados en la industria son dispositivos programables que nos permiten programar las señales analógicas y digitales que nos puedan ayudar a obtener información acerca del consumo de energía que esta demandando el motor al realizar trabajo mecánico a través de puntos de prueba que están disponibles de manera física como puntos de prueba.

3.3. VARIADORES DE FRECUENCIA.

En los últimos años el **manejador de frecuencia variable** (VFD) se ha convertido en uno de los más efectivos controladores de motores de inducción, frecuentemente llamados inversores o controladores de velocidad ajustable lo cual resulta incorrecto.

Los VFD también son denominados controladores de frecuencia ajustable, debido a que son el único manejador que controla la velocidad de un motor de inducción de corriente alterna (AC) por medio del cambio de frecuencia y voltaje.

El controlador del motor basado en microprocesador incorpora una sección de control electrónico, una sección de energía y componentes típicos utilizados en controladores estándar para motores, su rango esta entre 1/3 de Hp a decenas de Hp.

El motor es una de las partes más importantes en la operación de los VFD; su principio de operación esta muy relacionada con la teoría básica del motor. El motor industrial más utilizado en la actualidad es el motor de inducción trifásico jaula de ardilla el cual convierte la energía eléctrica en energía mecánica giratoria.

La velocidad síncrona de un motor de inducción de corriente alterna (AC) depende del número de polos en el estator y de la frecuencia de la línea de energía aplicada, la ecuación básica es la siguiente:

$$\text{velocidad} = (120 \times \text{Frecuencia}) / \text{Número de polos}$$

Cuando un VFD proporciona energía a un motor de corriente alterna (AC); esta máquina tiene la capacidad de recibir un voltaje con una frecuencia que va de menos de 1 Hz alrededor de 120 Hz. Como resultado la velocidad del motor quedará determinada por la ecuación anterior.

Es importante que la amplitud del voltaje sea proporcional a la frecuencia para asegurar la correcta relación Volts/Hz.

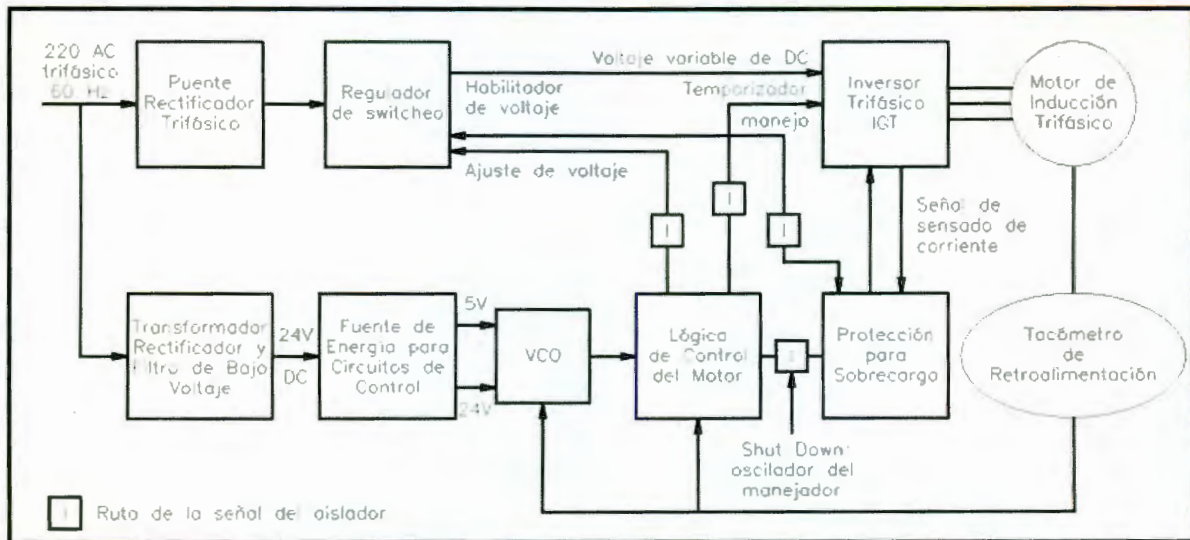


FIGURA No. 1 DIAGRAMA A BLOQUES DE LOS PRINCIPIOS DE OPERACIÓN DE UN VARIADOR PARA MOTORES DE AC

Basándose en los requerimientos del diseño del motor el par de salida es determinado por el nivel de voltaje aplicado al motor a una frecuencia dada. Algunas causas que afectan la relación Volts/Hz son: el par del motor, la temperatura, velocidad, ruido y flujo de corriente.

La diferencia entre la velocidad síncrona del estator y la velocidad del rotor es llamada Slip. La velocidad real del motor es la velocidad síncrona menos el porcentaje de slips a carga completa.

Los VFD son altamente confiables debido a que son diseñados con dispositivos de estado sólido, ayudan en el ahorro de energía, mejoran el desempeño del equipo, tienen bajos costos de mantenimiento siendo altamente confiables y accesibles. Esto es importante en aplicaciones de precisión como las bobinadoras empleadas en la industria del papel, en las que es imprescindible un nivel de enrollado preciso y consistente.

Los motores polifásicos controlados por VFD de estado sólido son utilizados comúnmente en bombas, bandas transportadoras, máquinas de herramientas y aplicaciones de robótica. El método de control específico podría ser de 6 pasos o de modulación de ancho de pulsos.

La figura 1 define un diagrama a bloques de un manejador. Un rectificador trifásico convierte los 220 Volts de corriente alterna (AC) a corriente directa (DC); el regulador de switcheo varía el voltaje de salida del inversor. A la salida del regulador un filtro completa la fuente de voltaje del inversor.

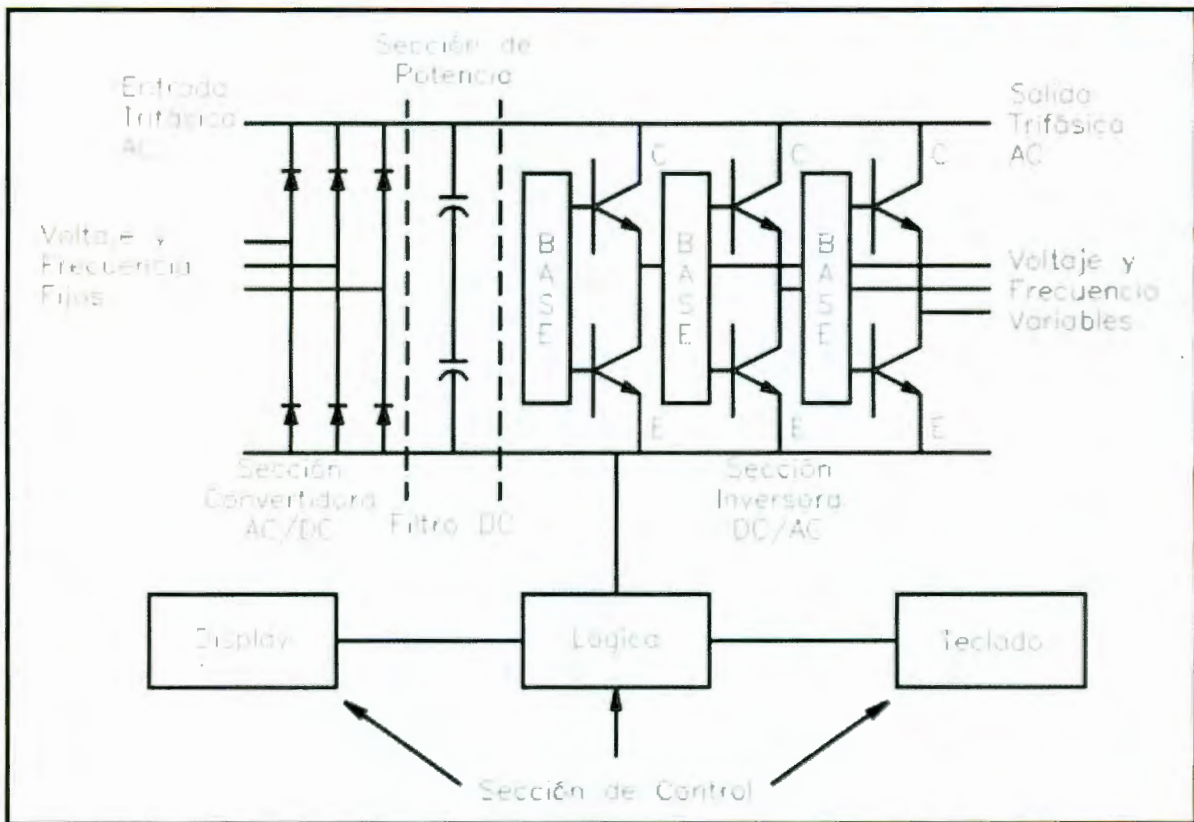
Se puede cambiar la velocidad del motor variando la frecuencia del inversor. Cuando la frecuencia se incrementa, el flujo de vacío de aire del motor disminuye reduciendo la capacidad del par desarrollado. Se puede mantener el flujo a un nivel constante (Como en un motor de SHUNT de DC) si se varia el voltaje de manera que la relación V/F se mantenga constante.

En la figura 1, el regulador de switcheo varia la salida del inversor controlando su entrada de corriente directa (DC), el oscilador controlado por voltaje (VCO) ajusta la frecuencia de switcheo del inversor variando de este modo la frecuencia de salida. El VCO también maneja la lógica trifásica que proporciona adecuadamente los pulsos de salida hacia el piezo acoplador que maneja directamente el IGT. Sensando la corriente de DC en el lado negativo e inhibiendo la señal de compuerta se protege el IGT de condiciones de sobrecarga y conducción simultánea. Si la falla continua presente por un periodo apreciable la inhibición del switcheo regulador causa el apagado del inversor.

Todos los VFD operan a un voltaje fijo y una frecuencia de entrada generando un voltaje variable y una frecuencia requeridas por el motor para mantener la correcta relación Volts/ Hz requeridas por el motor, este es un proceso de dos pasos el VFD convierte el voltaje de la línea de corriente alterna (AC) en voltaje de corriente directa (DC) y lo invierte obteniendo un voltaje de polaridad alternante para el motor.

La sección del Convertidor en el VFD rectifica el voltaje de corriente alterna (AC) de entrada, proporcionando voltaje de corriente directa (DC). El VFD utiliza voltaje de corriente directa (DC) internamente por que es más fácil para generar la frecuencia variable de salida requerida de una fuente de voltaje no alternante: Dependiendo del tipo de tecnología utilizada este voltaje de corriente directa (DC) puede ser fijo o variable.

La mayoría de los manejadores utilizados son de ancho de pulso modulado (PWM) los cuales son diseñados y manejados por medio de un bus de voltaje de corriente directa (DC) fijo el cual utiliza diodos de potencia y un bus de corriente directa (DC) variable el cual utiliza rectificadores de silicio controlados (SCR), el voltaje de corriente directa (DC) del VFD es más alto que el voltaje de corriente alterna (AC) de entrada y son iguales al voltaje pico de la línea de energía de corriente alterna (AC).



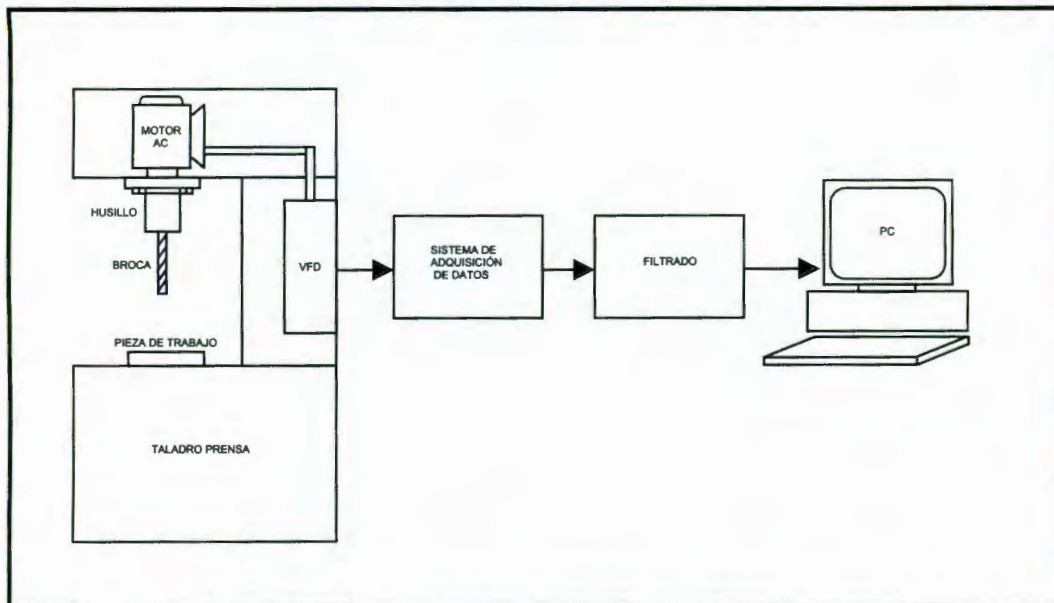
La figura muestra un diagrama con las secciones de entrada y salida del VFD.

CAPITULO IV.

ESTRUCTURA EXPERIMENTAL.

4.1. ESTRUCTURA Y CONDICIONES DEL EXPERIMENTO.

El diagrama de bloques que se describirá mostrara la manera en que se hizo el monitoreo de la señal de corriente del motor del husillo a partir del variador de frecuencia, este muestreo se realizo en un **taladro prensa** que cuenta con un motor de corriente alterna (AC). Así también se describirán con la tabla las condiciones del experimento.



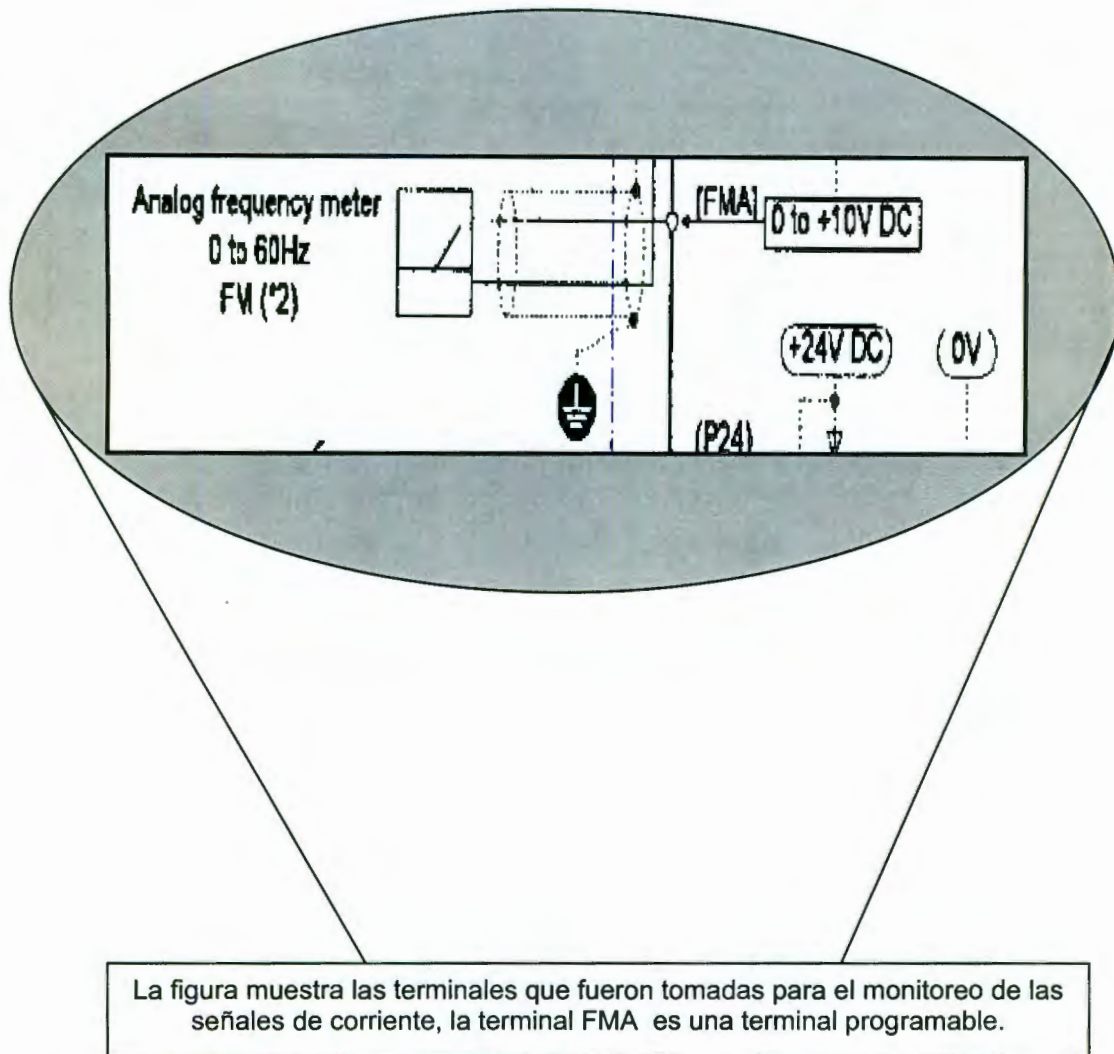
CONDICIONES DEL EXPERIMENTO	
HERRAMIENTA	<ul style="list-style-type: none">▪ ACERO: HSS N2▪ DIÁMETRO: 2.1454"
CONDICIONES DE CORTE	<ul style="list-style-type: none">▪ VELOCIDAD DEL HUSILLO 94.5 RPM▪ CON REFRIGERANTE
MATERIAL DE LA PIEZA DE TABAJO	<ul style="list-style-type: none">▪ HIERRO DUCTIL

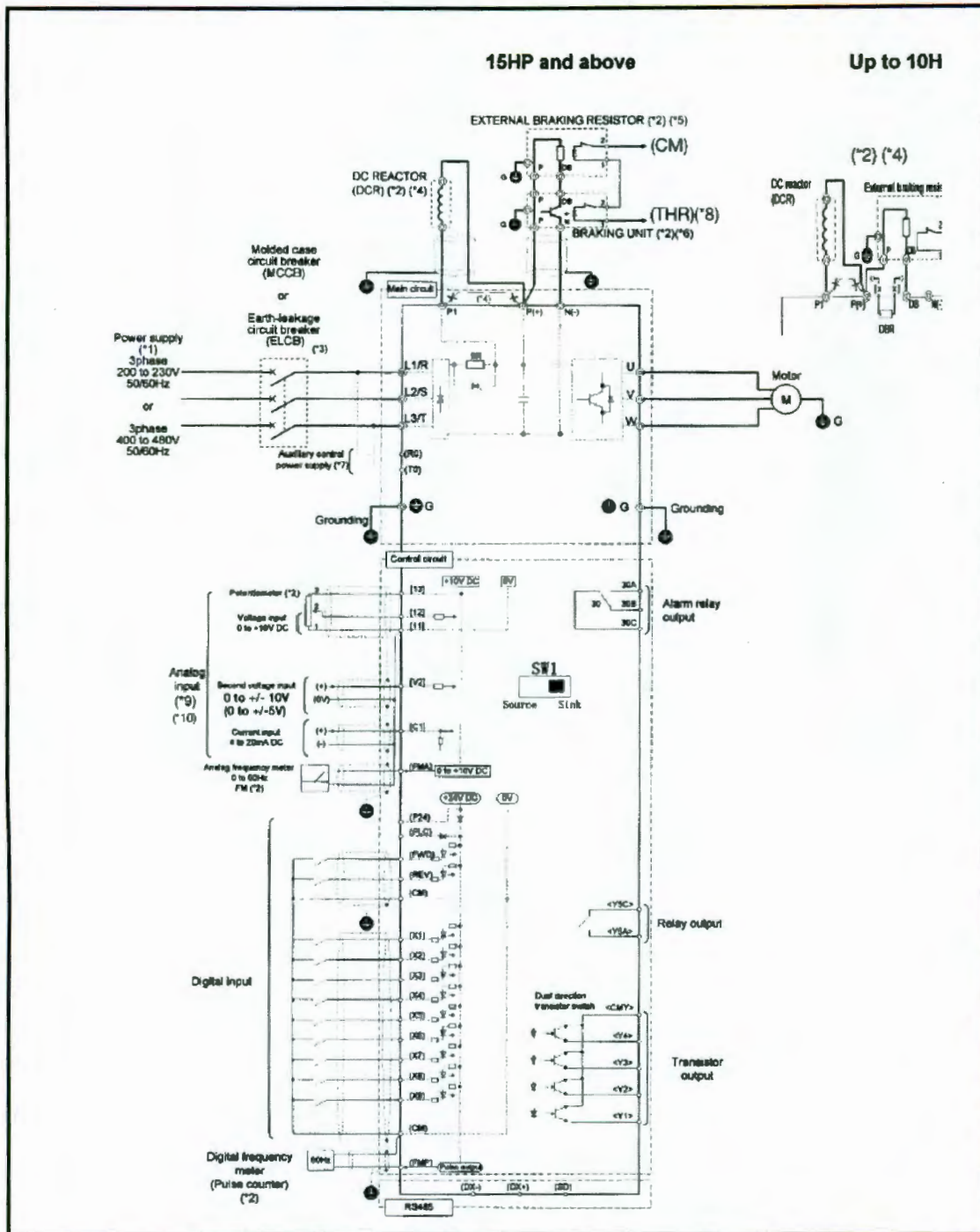
1ª. ETAPA.

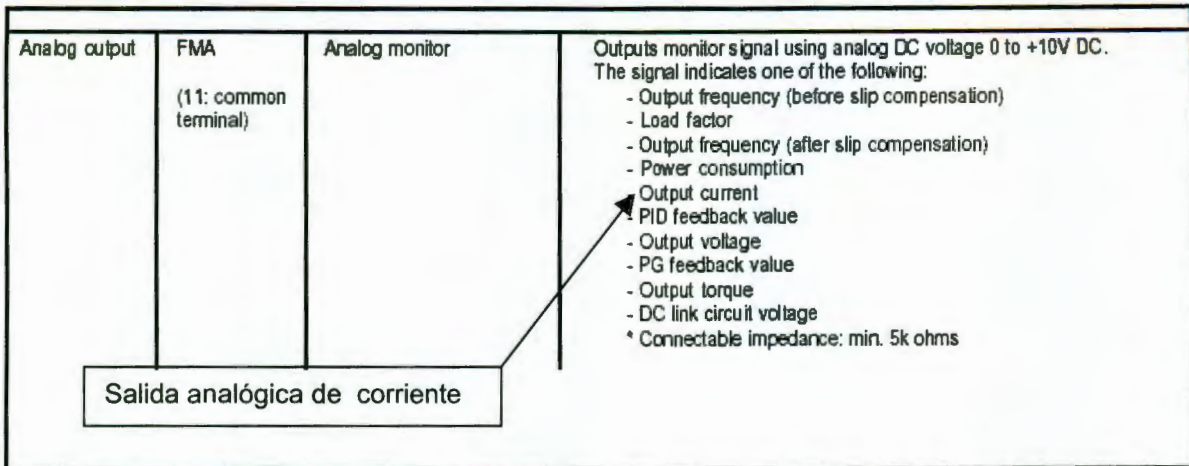
En la primera etapa del muestreo se obtuvo la información del variador, así como sus diagramas eléctricos y la forma de programar las salidas analógicas.

El muestreo de las señales fueron obtenidas a partir del variador, a través de un sistema de adquisición, pasando estos datos por un filtro para después analizar las formas de onda en la computadora.

A continuación se mostrara un diagrama interno del variador donde se mostraran las terminales que fueron utilizadas para el monitoreo. Estas terminales son determinadas por el fabricante y la modalidad de entradas/salidas se programa.







La grafica anterior muestra los parámetros que pueden ser monitoreados en la terminal FMA (esta terminal internamente describe una función). Esta terminal es programada para adquirir los niveles de voltaje de corriente directa (DC) que son proporcionales a cada un de los parámetros que describe la función.

Al programar el variador en la función F31 inciso 2 nos da la salida análoga de corriente.

F 3 1 F M A F U N C		
This function selects the monitor item to be output to Terminal FMA.		
Value	Monitor Item	100% Monitor Amount
0	Output frequency 1 (before slip compensation)	Maximum output frequency
1	Output frequency 2 (after slip compensation)	Maximum output frequency
2	Output current	2x rated output current of drive
3	Output voltage	230V series: 250V 460V series: 500V
4	Output torque	2x rated motor torque
5	Load rate	2x rated load of motor
6	Output	2x rated drive output
7	PID feedback amount	Feedback amount at 100%
8	PG feedback amount (only when option is installed)	Synchronous speed at maximum frequency
9	DC link circuit voltage	230V series: 500V 460V series: 1,000V
10	Universal AO	Output from RS485 or Bus option

Al acceder a la función F31 del variador corresponde a la terminal FMA que anida a 10 parámetros que pueden ser monitoreados como salidas análogas, para el caso de monitoreo de corriente tenemos F31 en su valor numero 2.

4.2. SISTEMA DE ADQUISICIÓN.

2ª. ETAPA.

Después de que se identifico físicamente la terminal FMA y se programo su bloque de función se acoplo el sistema de adquisición de datos. El sistema de adquisición consta de una tarjeta electrónica que realiza la función de interfase entre el variador (nivel de voltaje de corriente directa DC) y la computadora (valores digitales correspondientes a los valores de voltaje), además la tarjeta cuenta con un software grafico que nos permite configurar un circuito para llevar a cabo la adquisición de datos. La información correspondiente a la tarjeta se describirá a continuación.

La razón por la que se decidió a usar esta tarjeta es por su calidad en la circuitería electrónica y el software, tiene la capacidad de darnos información muy cercana a la realidad, esto es, comparando los resultados con un osciloscopio que es un dispositivo analógico.

La DAQP tarjeta esta acondicionada para un conector de 32 pines. Como lo ilustra la imagen.

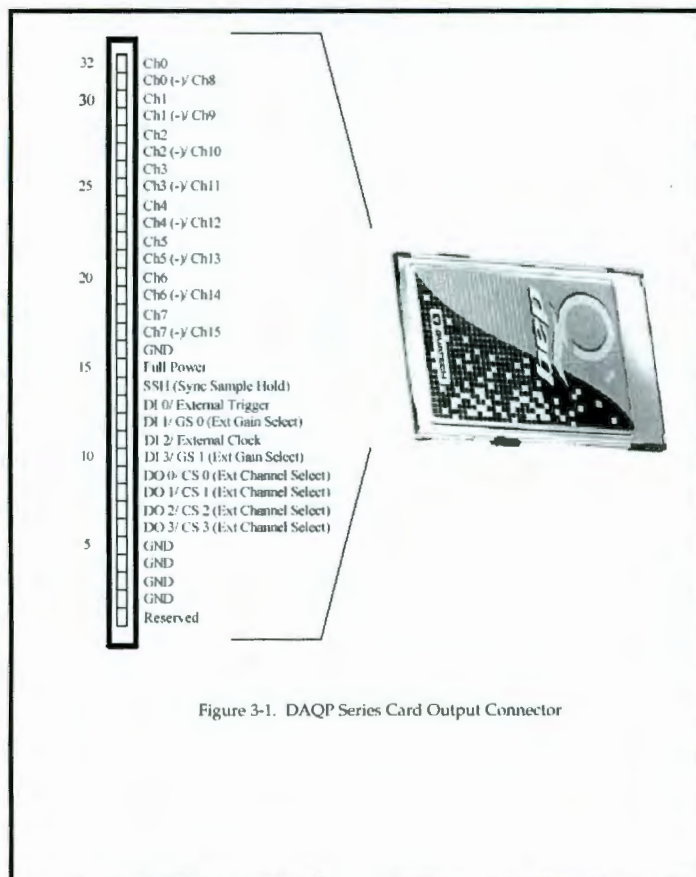
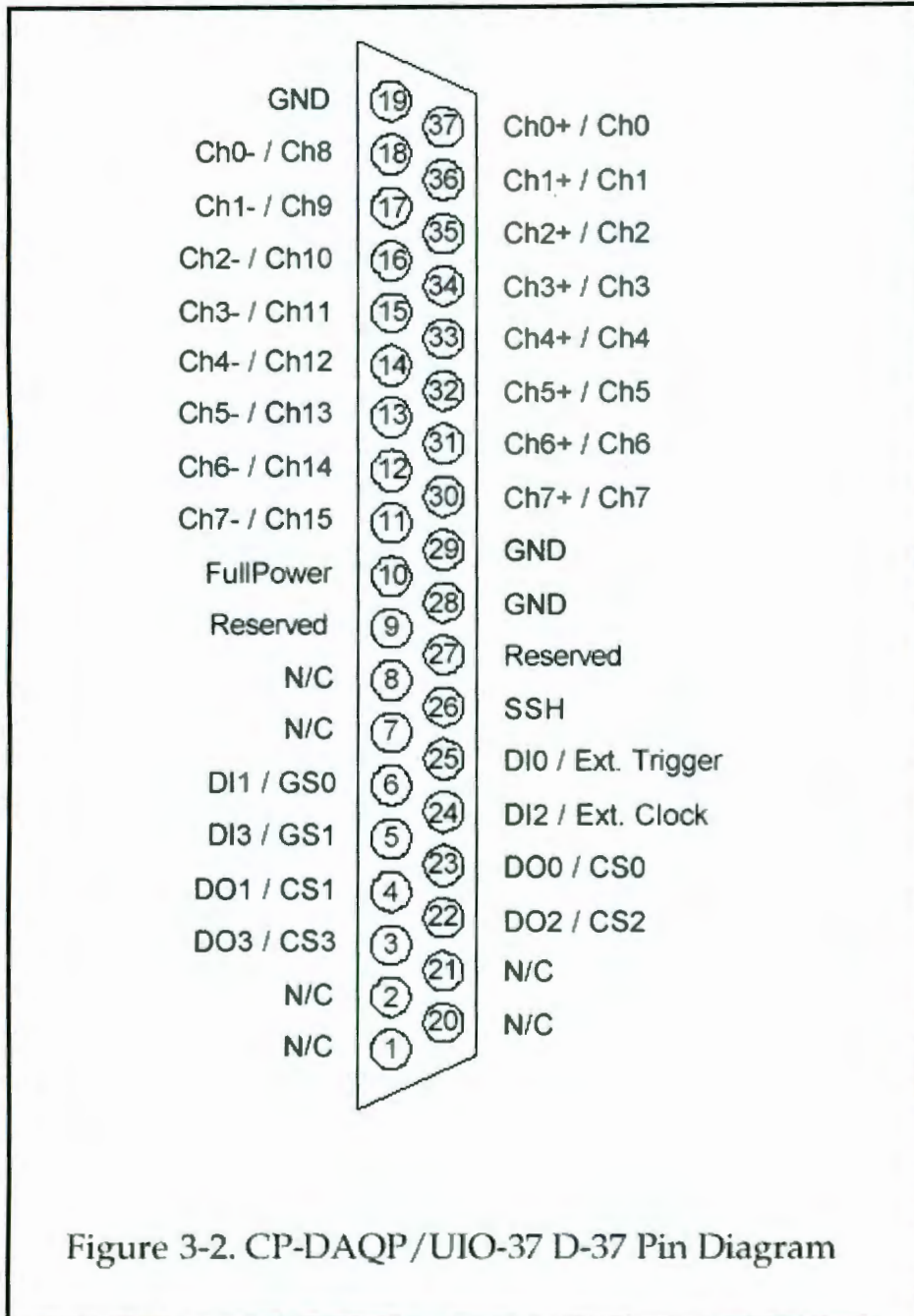


Figure 3-1. DAQP Series Card Output Connector

La figura muestra el conector D37 donde llegan los pines de salida de la tarjeta, en este conector se conectan los cables que están sensando la corriente del husillo. Para la prueba se utilizaron los pines 37 y 29. El pin 37 la señal y el pin 29 la referencia.



La tabla muestra la configuración del conector D37 y la descripción de cada uno de los pines.

Table 3-1. DAQP Series Card Cable Mapping

Hirose-32	D-37	Name		Description
32	37	Channel 0 (+)		Channel 0
31	18	Channel 0 (-)	Channel 8	A/D input, differential / single-ended
30	36	Channel 1 (+)	Channel 1	A/D input, differential / single-ended
29	17	Channel 1 (-)	Channel 9	A/D input, differential / single-ended
28	35	Channel 2 (+)	Channel 2	A/D input, differential / single-ended
27	16	Channel 2 (-)	Channel 10	A/D input, differential / single-ended
26	34	Channel 3 (+)	Channel 3	A/D input, differential / single-ended
25	15	Channel 3 (-)	Channel 11	A/D input, differential / single-ended
24	33	Channel 4 (+)	Channel 4	A/D input, differential / single-ended
23	14	Channel 4 (-)	Channel 12	A/D input, differential / single-ended
22	32	Channel 5 (+)	Channel 5	A/D input, differential / single-ended
21	13	Channel 5 (-)	Channel 13	A/D input, differential / single-ended
20	31	Channel 6 (+)	Channel 6	A/D input, differential / single-ended
19	12	Channel 6 (-)	Channel 14	A/D input, differential / single-ended
18	30	Channel 7 (+)	Channel 7	A/D input, differential / single-ended
17	11	Channel 7 (-)	Channel 15	A/D input, differential / single-ended
16	29	GND		A/D input, differential / single-ended
15	10	FullPower (org. D/A 0 ref. in)		1/0 : Full power / Power down
14	26	SSHI (org. D/A 1 ref. in)		Synchronous Sample Hold
13	25	Digital in bit 0 (shared)		External trigger (same as in DAS-16)
12	6	Digital in bit 1 (normal mode)		External gain, LSB (expansion mode)
11	24	Digital in bit 2 (shared)		External clock (org. DAS-16 Ctr 0 Gate)
10	5	Digital in bit 3 (normal mode)		External gain, MSB (expansion mode)
9	23	Digital out bit 0 (normal mode)		External channel bit 0 (expansion mode)
8	4	Digital out bit 1 (normal mode)		External channel bit 1 (expansion mode)
7	22	Digital out bit 2 (normal mode)		External channel bit 2 (expansion mode)
6	3	Digital out bit 3 (normal mode)		External channel bit 3 (expansion mode)
5	28	GND		
4	28	GND		
3	19	GND		
2	19	GND		
1	27	Reserved		D/A output channel 1

El bloque UIO-37 terminal de tornillo.

Para aplicaciones que requieren conexiones de la instalación eléctrica discretas, el UIO-37 bloque terminal mostrado en la figura siguiente(3-3), proporciona una manera simple de signos que une a la tarjeta de DAQP. El conector D37 está disponible en macho o hembra y tiene dos filas de terminales de tornillo.

La primera fila se numera de la terminal 1 a la 19 y la segunda fila de la terminal 20 a la 37.

Figure 3-4 ilustra la tarjeta de DAQP con accesorios.



Figure 3-3. UIO-37 Terminal Block

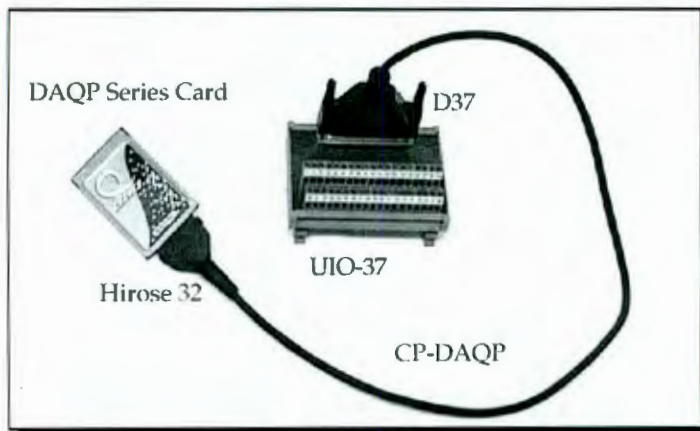


Figure 3-4. DAQP Card with Accessories

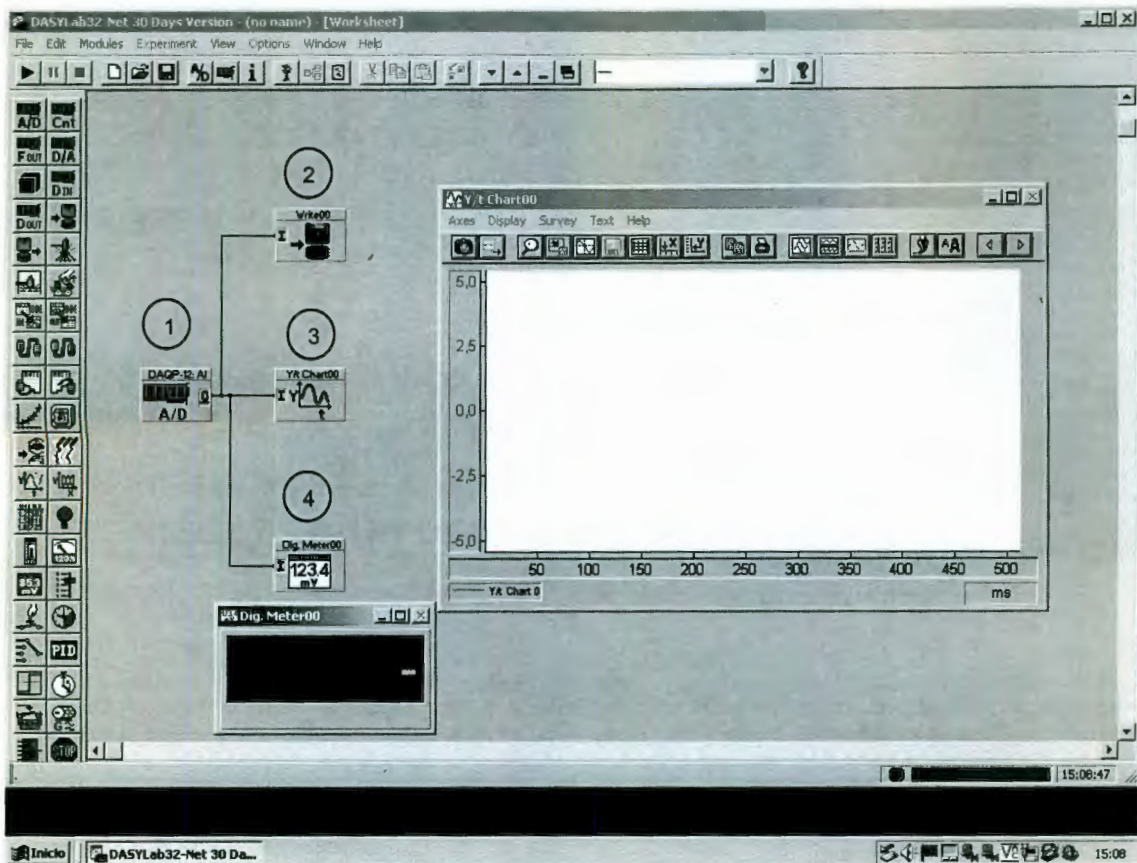
Datos de la tarjeta

Funcionalmente la tarjeta DAQP consiste de los siguientes componentes: una fuente DC/DC, un multiplexor de entrada analógico, un amplificador de control con ganancia programable, datos FIFO, búsqueda de lista FIFO, circuito de control de disparo, reloj, interruptor y estado de los registros, circuitos de control asociados a los registros de entradas/ salidas digitales.

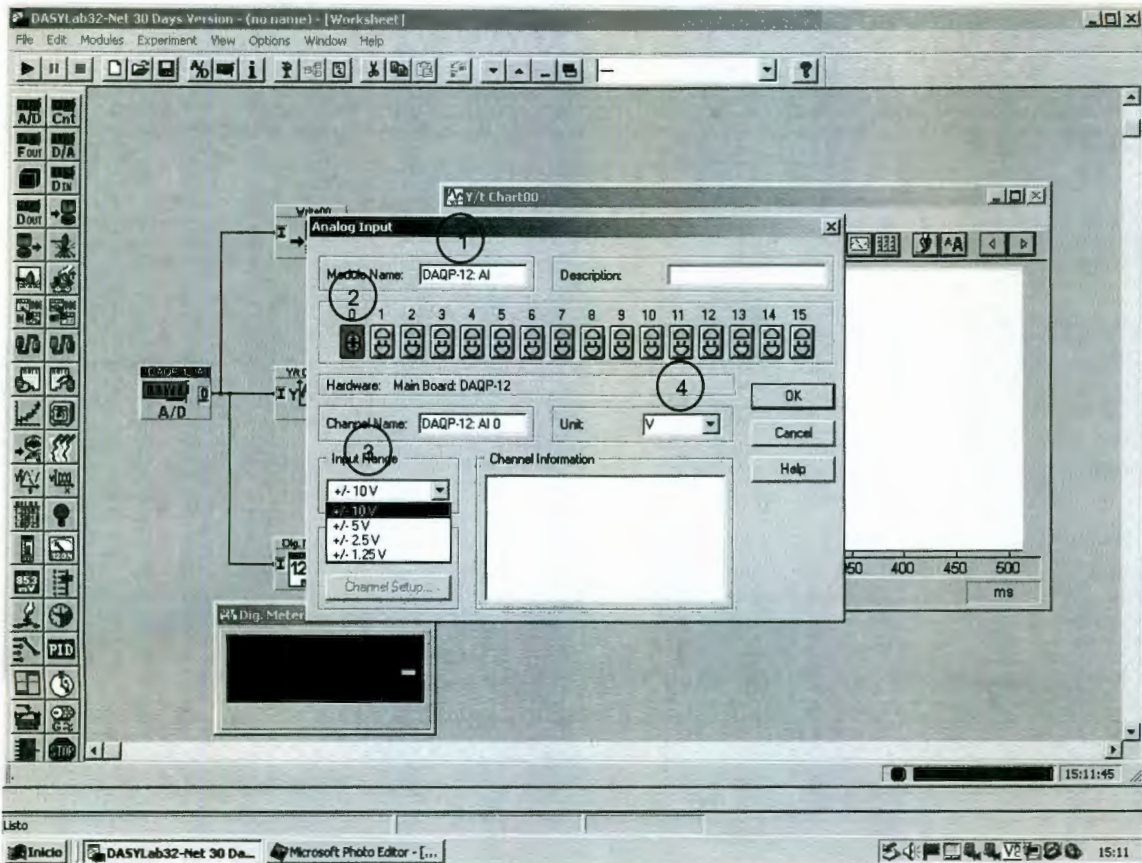
Un convertidor analogi/codigital de 12 bits con una velocidad de muestreo de 100,000 muestras por segundo, (10 ms por muestra).

4.3. CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE.

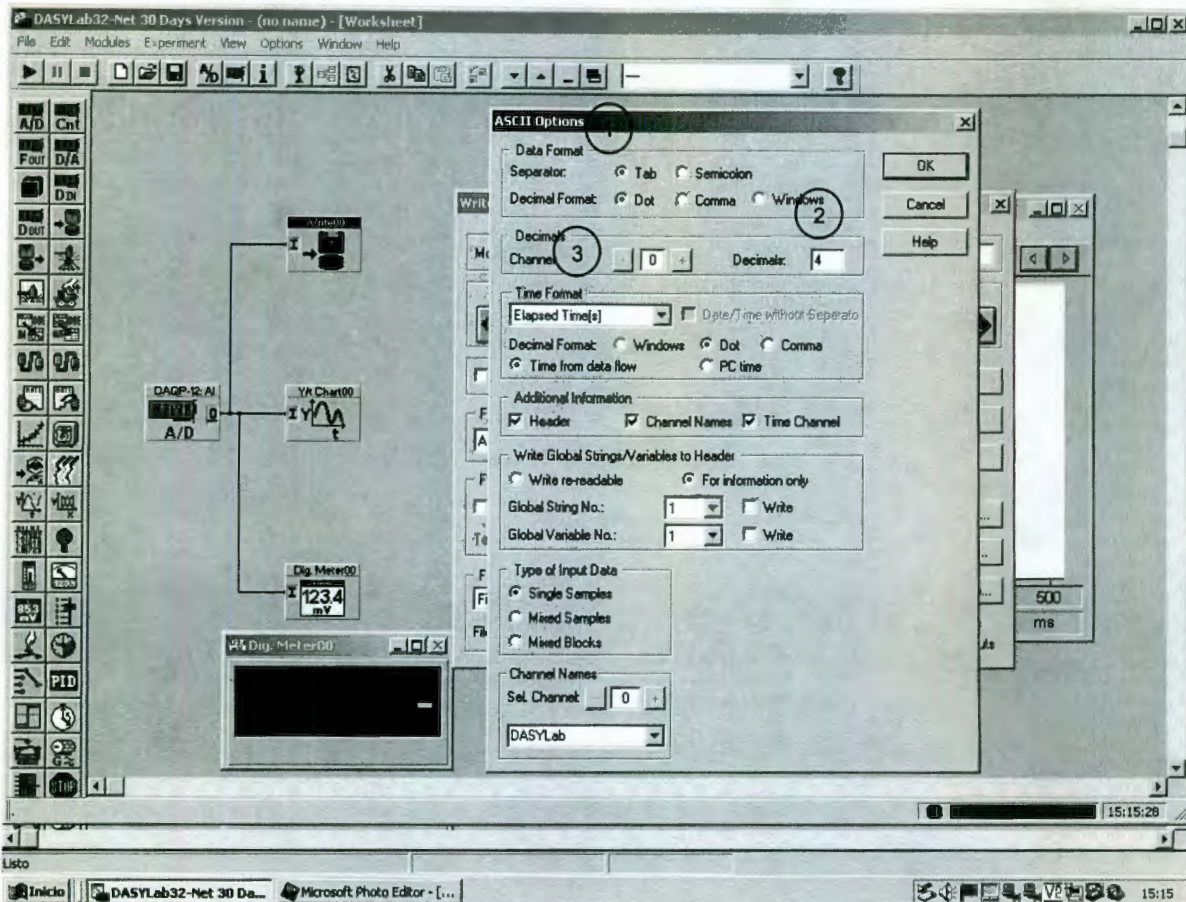
A continuación se ilustra la manera en que se configuro el circuito de adquisición, a través del software.



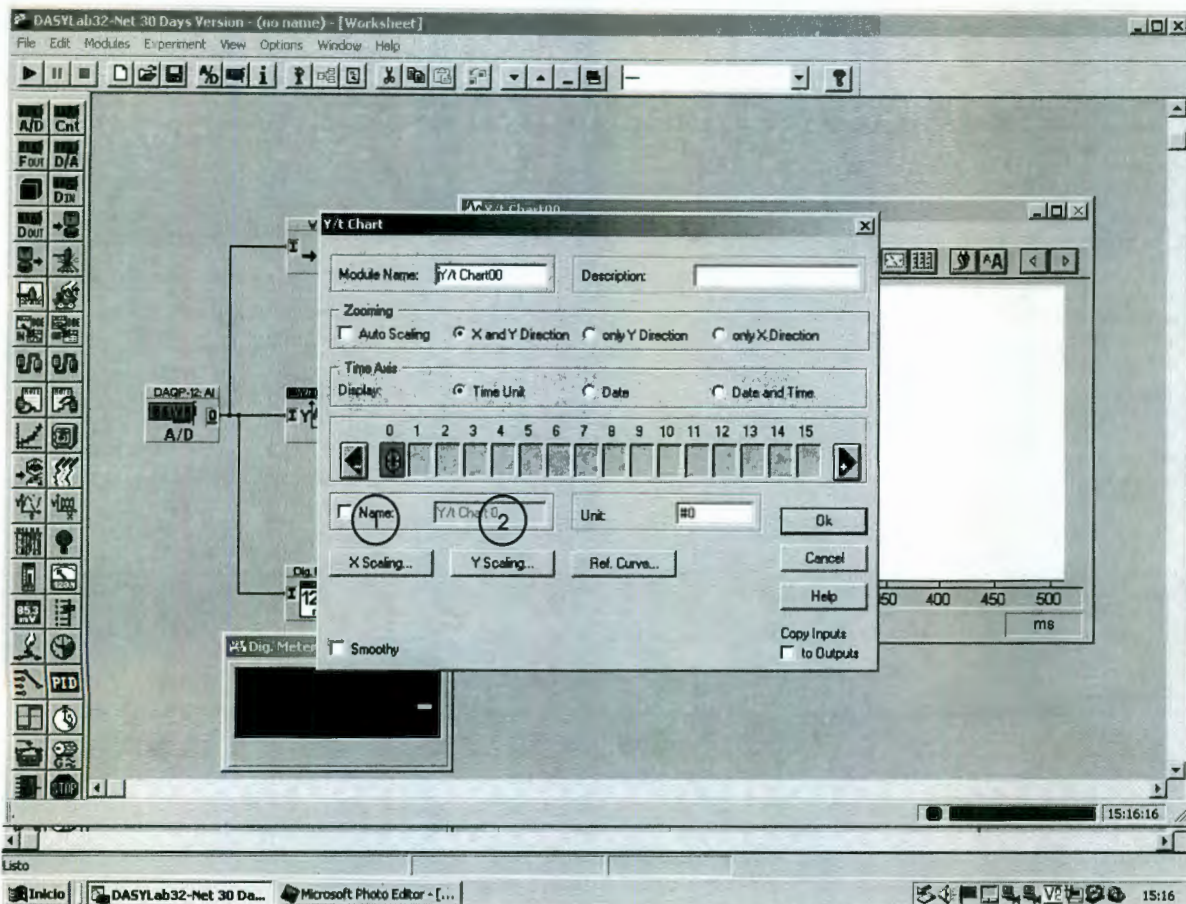
Esta primera imagen muestra los bloques que constituyen el circuito de adquisición de datos. 1). Convertidor analógico/digital, 2). Bloque que graba los datos, 3). Graficador, 4). Voltmetro.



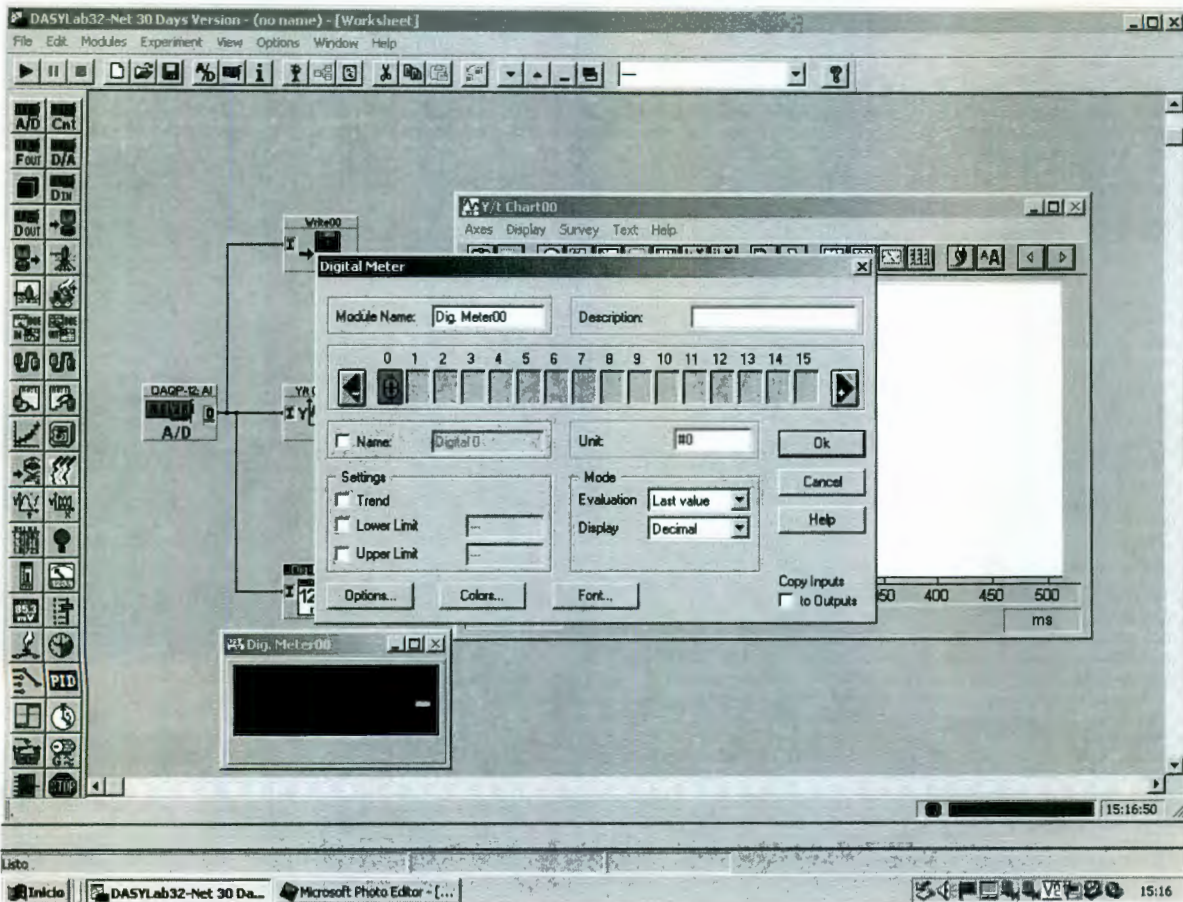
La figura muestra la configuración de del convertidor analógico/digital. Dentro de esta ventana se configuran los siguientes parámetros: 1). El nombre del modulo(nombre de la tarjeta), 2).el canal de adquisición,3). Rango de la entrada de voltaje,4).Las unidades de ingeniería.



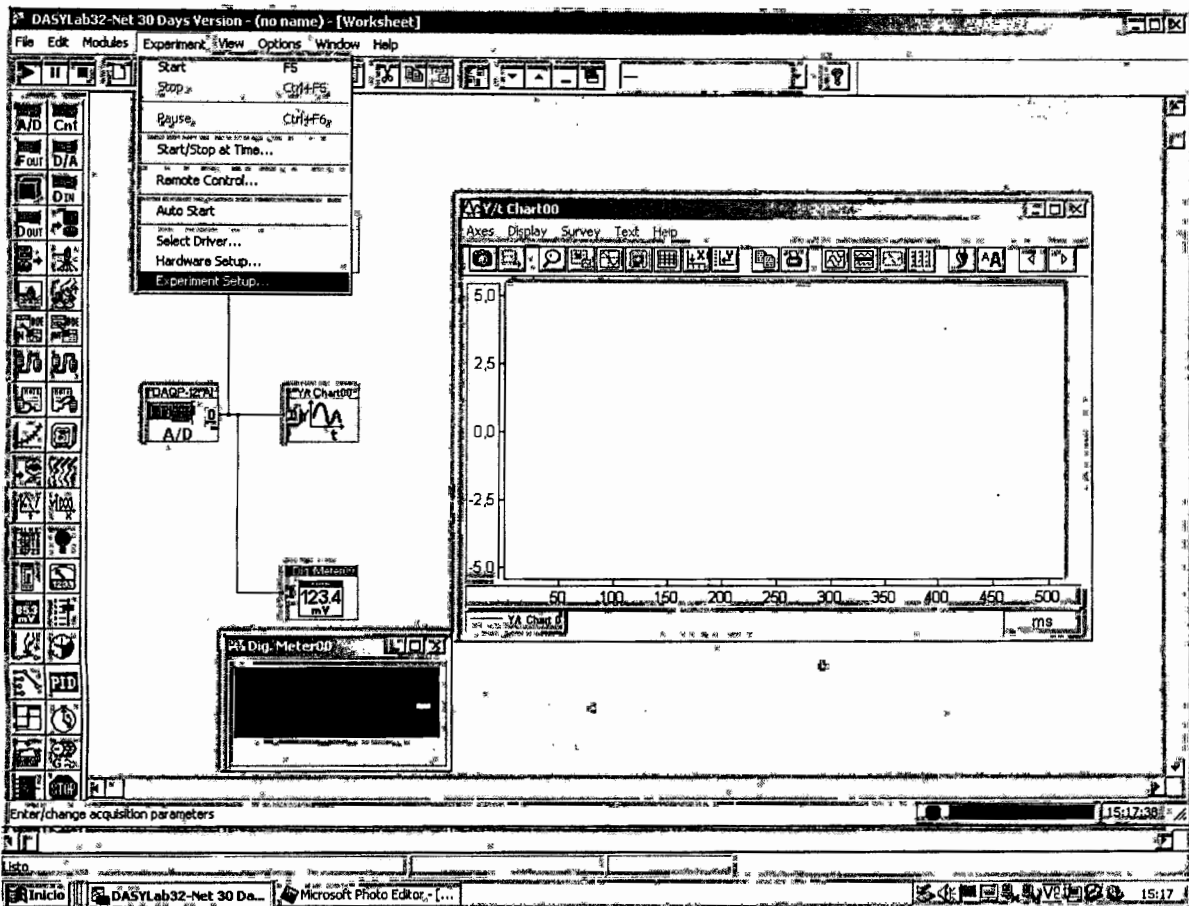
Después de elegir el formato del archivo se debió de configurar las opciones que tiene este formato. 1). Formato de datos, 2). Numero de decimales que deseamos obtener, 3). Formato del tiempo en que se va a realizar el experimento.



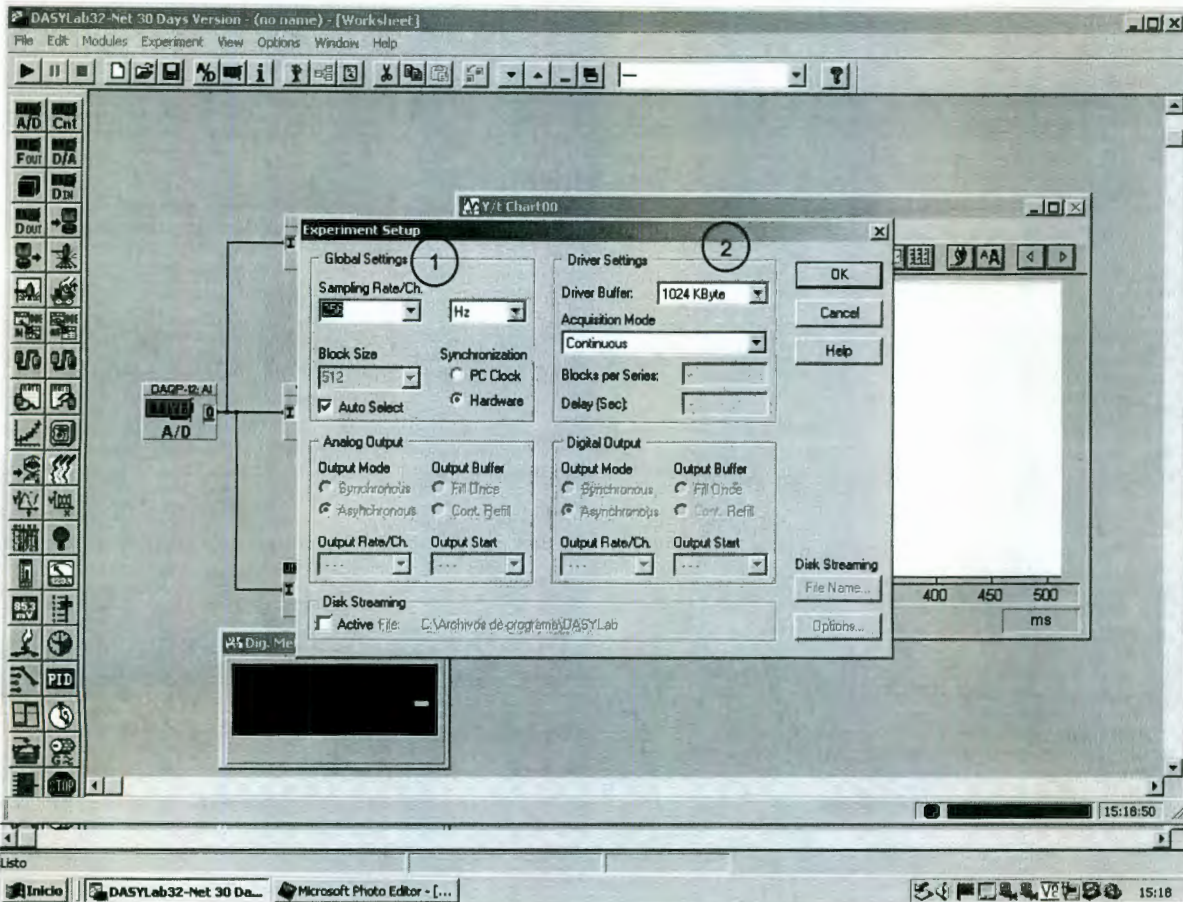
En la configuración se configuran las escalas del los ejes X,Y. 1). Escala en X, 2). Escala en Y. El graficador muestra la grafica de los niveles de voltaje que están siendo obtenidos.



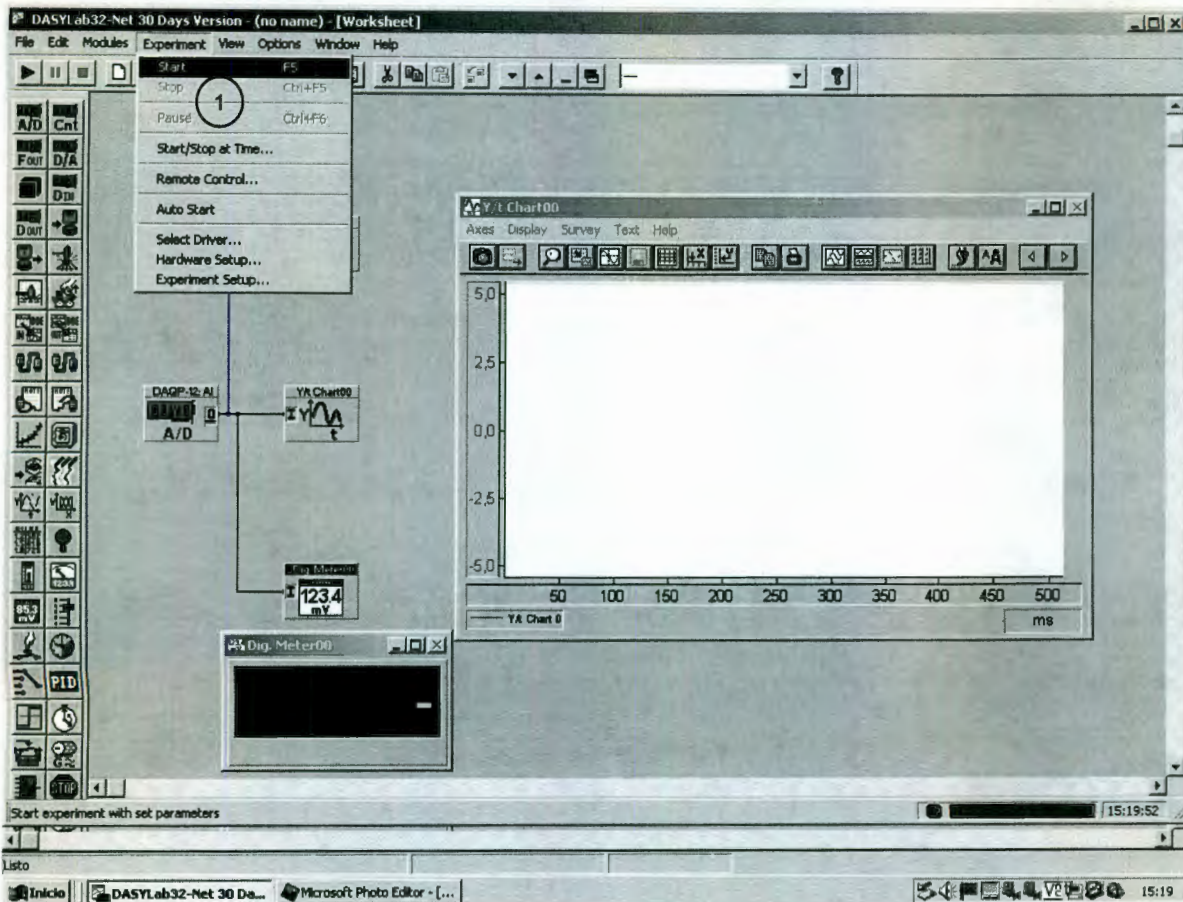
La imagen muestra la ventana de configuración del volmetro. En este paso se dejó la configuración definida por el programa.



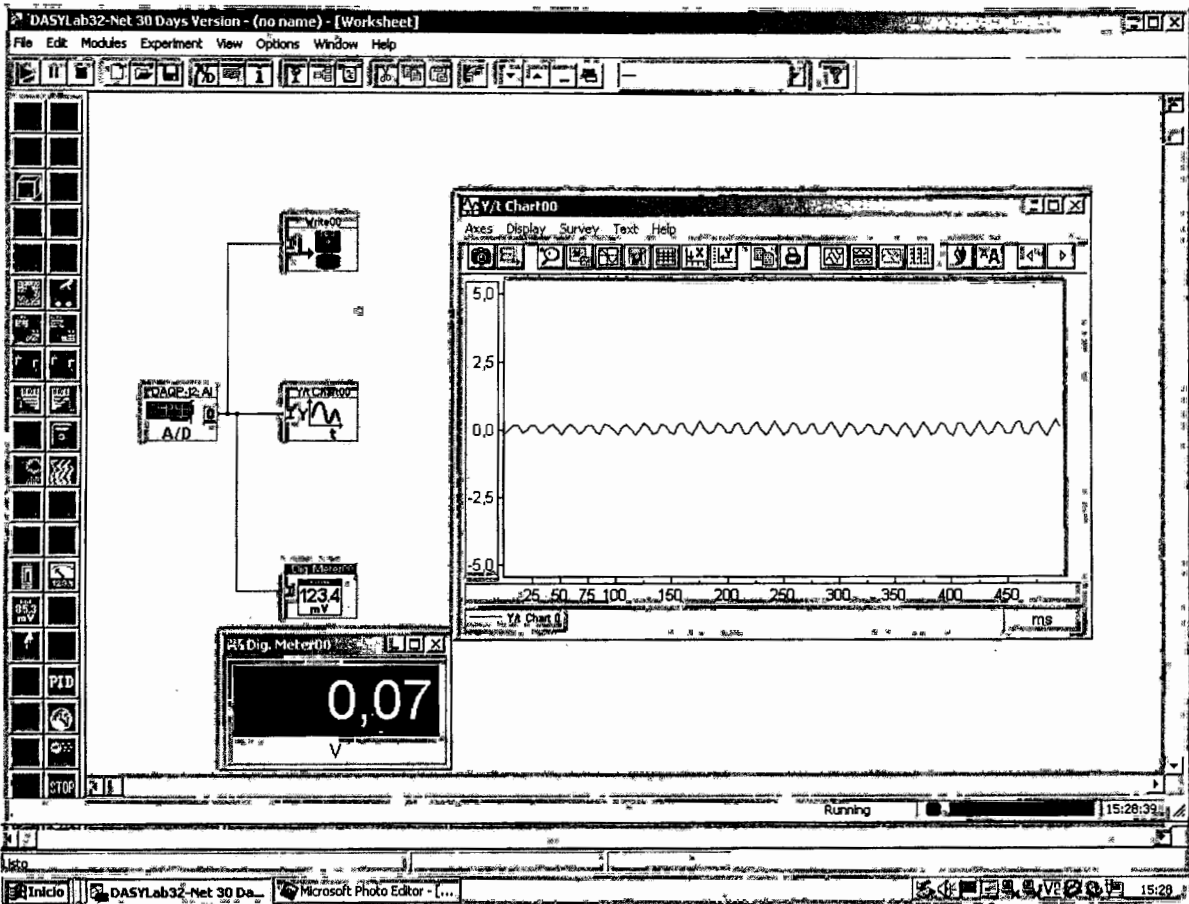
Cuando se configuraron cada uno de los módulos que integraron el circuito, en el menú de EXPERIMENTO se configuran los parámetros de la prueba.



La imagen muestra los parámetros que se configuraron para la prueba. 1). Frecuencia de muestreo, 2). Capacidad del buffer.



Cuando se configuraron los módulos y parámetros de la prueba, las condiciones estaba listas para inicial el muestreo en línea del la corriente del motor del husillo. 1). Iniciar la prueba.



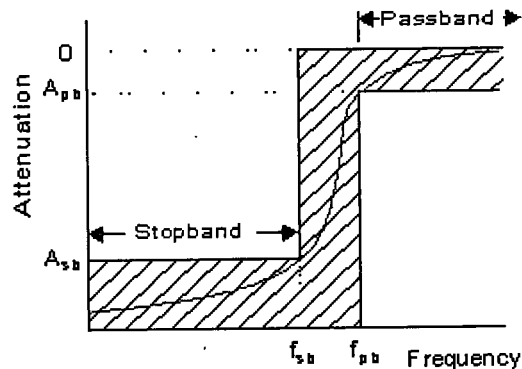
La muestra esta siendo capturada

4.4. FILTRADO DE SEÑALES.

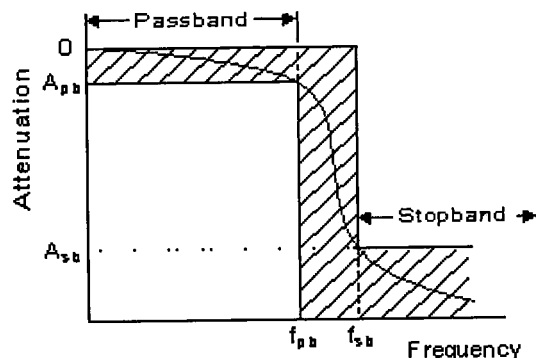
Como ya se sabe, entre las características que determinan a una señal eléctrica se encuentra la frecuencia. En muchos casos, en la práctica, a través de un circuito, puede pasar más de una señal eléctrica, es decir, pueden pasar señales eléctricas con distinta frecuencia; sin embargo, se puede dar el caso de que en determinadas circunstancias solo interesa única y exclusivamente una de las señales que pueden circular por el circuito. Esta "selección" de una señal eléctrica según la frecuencia que tenga es lo que hacen los filtros.

Existen básicamente cuatro tipos de filtros, que son: filtros pasa-bajas, pasa-altas, pasa-banda y filtros supresores de frecuencias o rechaza-banda.

1. **Filtro pasa-altas (HIPASS).** Son aquellos que **dejan** pasar las frecuencias altas pero **NO** las bajas.

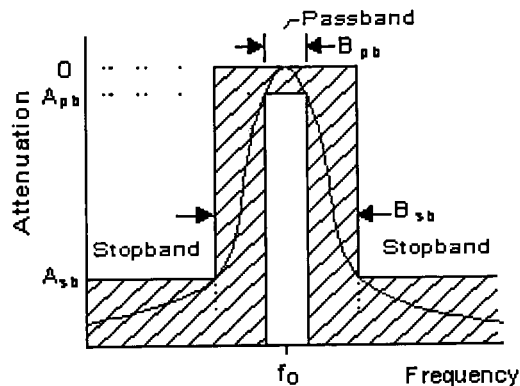


2. **Filtro pasa-bajas (LOWPASS).** Son aquellos que **dejan** pasar las frecuencias bajas pero **NO** las altas

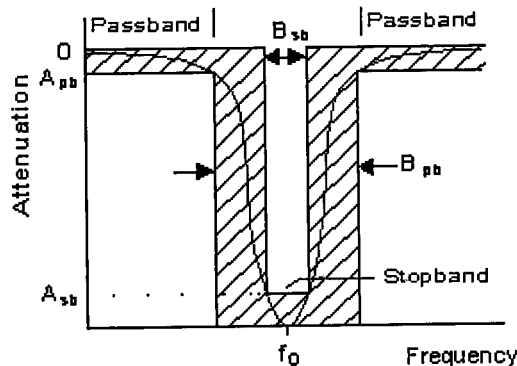


3. **Filtro pasa-banda (BANDPASS).** Son aquellos que **dejan** pasar ciertas frecuencias comprendidas entre un f_{min} y una f_{max} y frecuencia centrada en f_0 .

Aquí aparece el concepto de ancho de banda del filtro $BW = f_{\max} - f_{\min}$ y el factor de calidad del filtro Q . Que se relacionan con la frecuencia central del filtro con $f_0 = BW \cdot Q$. Hay filtros con una Q pequeña, que son poco selectivos y se llaman filtros **pasa-banda**, los hay también con un Q grande y muy selectivos y se llaman filtros **resonantes** o de **banda angosta**.



4. Filtro de banda eliminada (BANDREJ). Son aquellos que **NO** dejan pasar ciertas frecuencias entre un f_{\min} y una f_{\max} y frecuencia centrada en f_0 . Aquí también hay factor de calidad Q como el filtro anterior



Para el experimento se utilizó un filtro digital pasa-bajas el cual nos permitirá el análisis de las señales.

FILTRÒ PASA-BAJAS

La definición del filtro ideal pasa-bajas, es un concepto importante tanto en la teoría y práctica de filtros eléctricos como en el análisis y procesamiento de señales. Son capaces de suprimir o permitir el paso de determinado rango de frecuencias, estos filtros modifican la magnitud de la señal.

El filtro pasa-bajas sólo permite el paso de las frecuencias inferiores a la frecuencia de paso o de corte f_c y atenúa o suprime todas las frecuencias superiores a la frecuencia de corte.

El filtro utilizado en la prueba fue un filtro pasa-bajas digital elaborado con Matlab, este lenguaje de programación cuenta con funciones definidas que nos permiten desarrollar una rutina que permita el filtrado de las muestras, como se muestra en las líneas de código propias de Matlab.

El código del programa que describe el filtro pasa-bajas es el siguiente.

```
clear;
fc = 50;           % frecuencia de corte en Hz
fs = 70;           % frecuencia de paro
Sp = 0.002;        % atenuación de rizo en banda de paso
Ss = 0.001;        % atenuación de rizo en banda de rechazo

Ap = -20*log10(1-Sp); % atenuación en dB
As = -20*log10(Ss);
Wp = 2*pi*fc/8000;  % frecuencias normalizadas
Ws = 2*pi*fs/8000;

[N, Wn] = ellipord(Wp, Ws, Ap, As);

[b, a] = ellip(N, Ap, As, Wn);

w = 0:pi/255:pi;
h = freqz(b, a, w);
gain = 20*log10(abs(h));
figure(1);
plot(w/pi, gain);
axis([0 1 -200 5]);
xlabel('frecuencia normalizada (w/pi)');
ylabel('ganancia en dB');
grid;

% carga de datos del taladro

load ciclo01.ASC;
datos = ciclo01(:,2);

figure(2);
subplot(411);
plot(datos(256*50:256*60));
xlabel('Datos originales con desgaste');
ylabel('Datos fresadora');
grid;

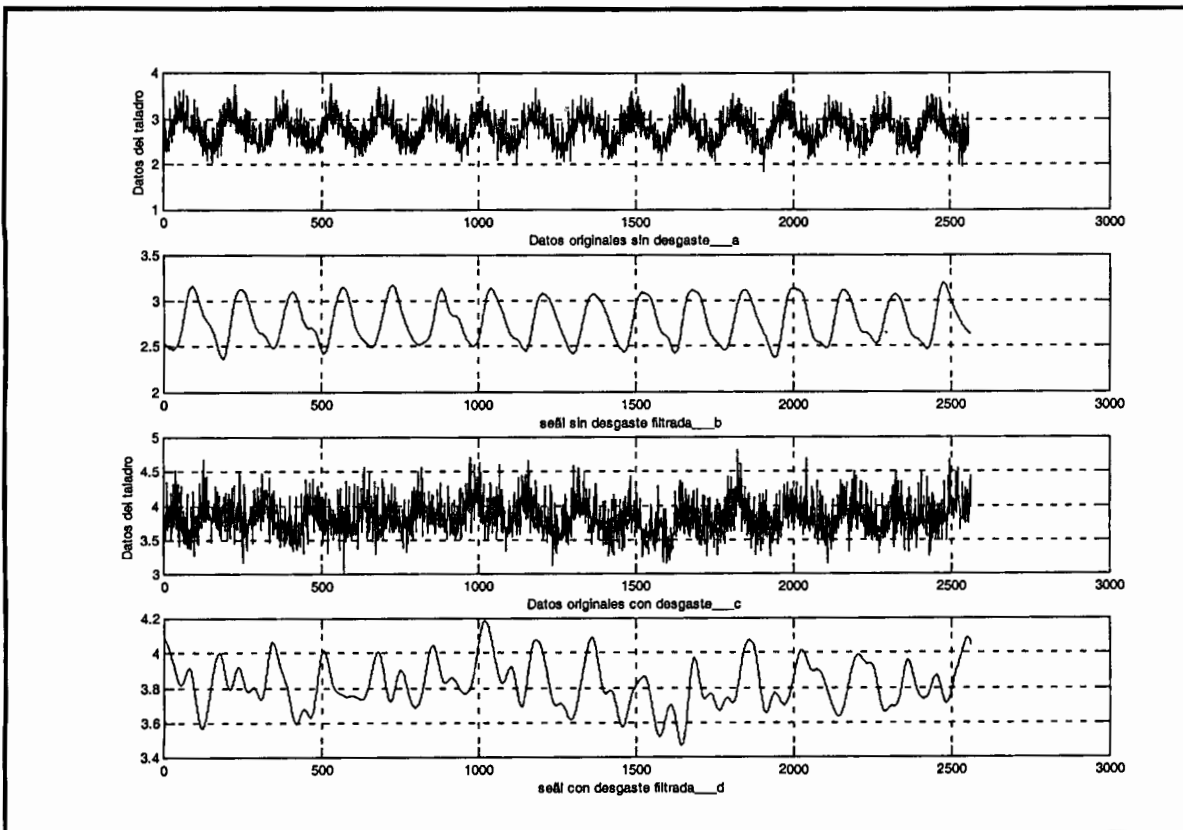
y = filter(b, a, datos);
subplot(412);
plot(y(256*50:256*60));
xlabel('señal con desgaste filtrada');
grid;

load ciclo12.ASC;
datos = ciclo12(:,2);

figure(2);
subplot(413);
plot(datos(256*50:256*60));
xlabel('Datos originales con desgaste');
ylabel('Datos fresadora');
grid;

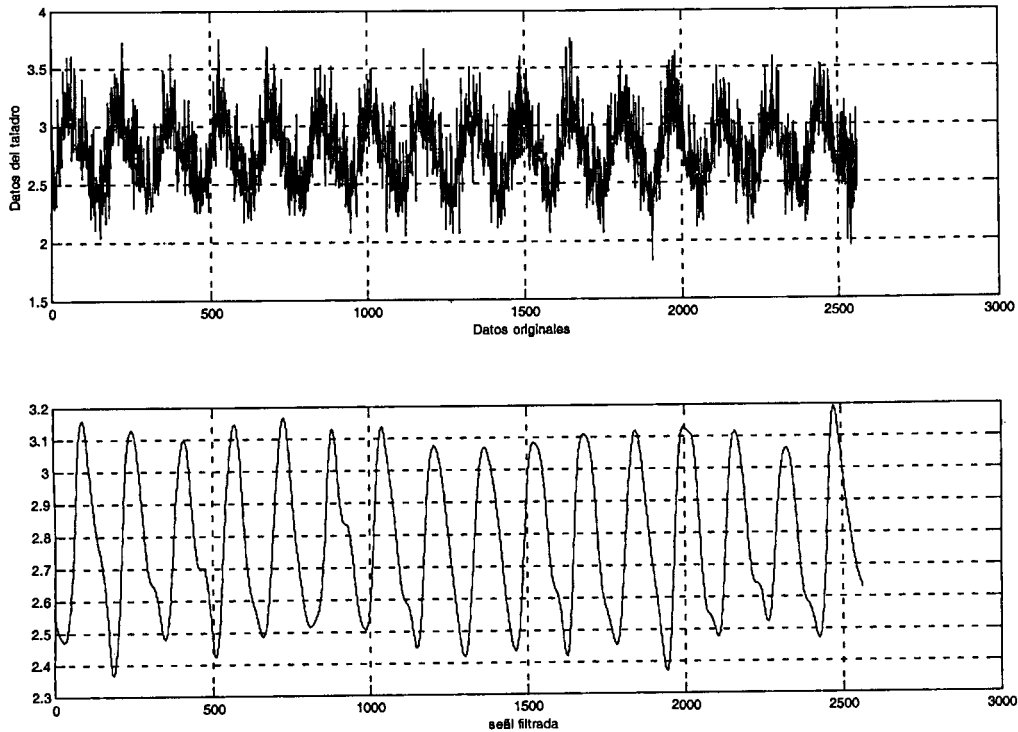
y = filter(b, a, datos);
subplot(414);
plot(y(256*50:256*60));
xlabel('señal con desgaste filtrada');
grid;
```

El resultado del proceso del filtrado se ilustra en las graficas siguientes. a). Grafica de los datos sin filtrar, la herramienta en condiciones de operación b). Grafica de la señal filtrada, con la herramienta sin desgaste c). Grafica de los datos sin filtrar, con la herramienta con desgaste d). Grafica de los datos filtrados, la herramienta en este momento fue cambiada.

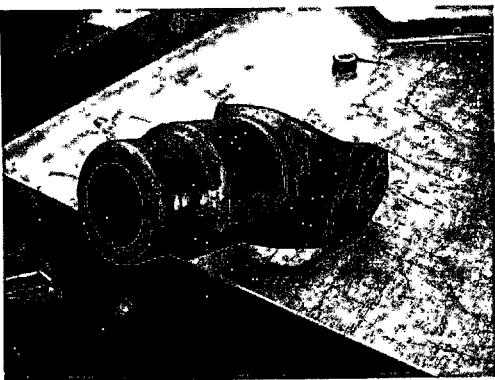


En la grafica anterior podemos ver los resultados de la investigación realizada, observando y concluyendo que es posible determinar el desgaste de herramientas en máquinas herramientas a partir de la instrumentación para el sensado de las señales de corriente del motor de corriente alterna (AC) del husillo.

4.5. RESULTADOS



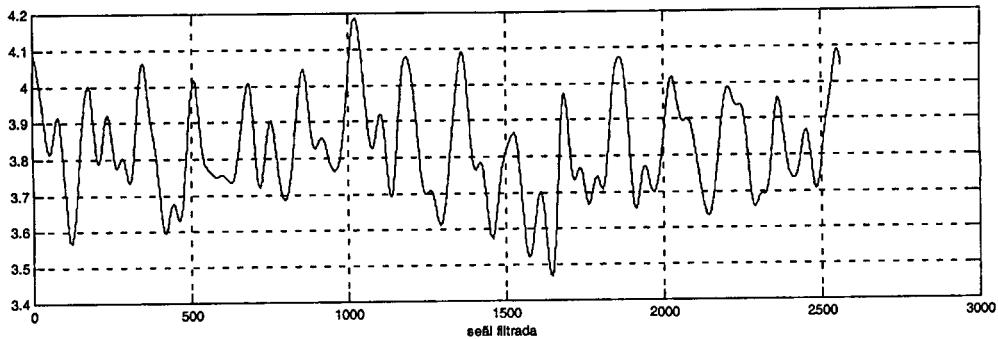
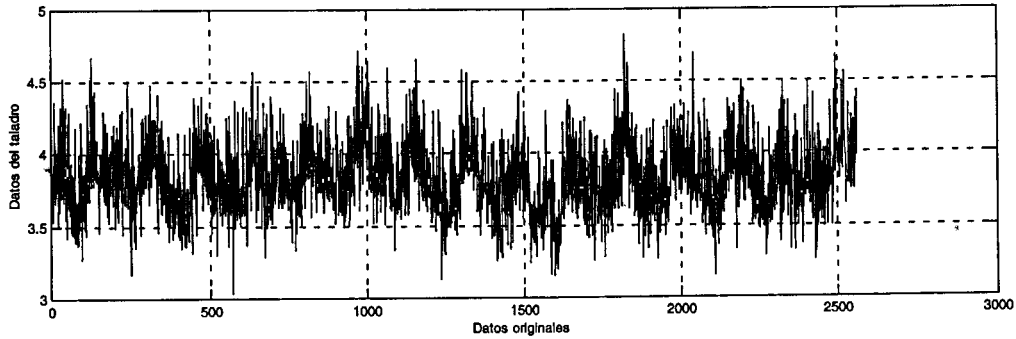
En la grafica podemos observar que los niveles de corriente en cada revolución son casi iguales, esto es porque los filos de la broca están en buen estado y cada uno de ellos corta la cantidad de material que le corresponde.



Las condiciones de la pieza son óptimas, ha cumplido con el diámetro requerido, determinado por un calibrador patrón, así como la prueba de superficie. Esta pieza es la primera que se produjo con la herramienta recién afilada.



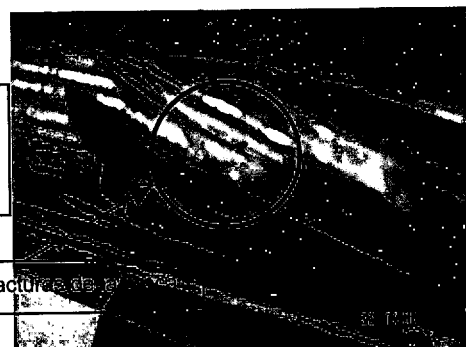
En la imagen se observa la herramienta que se utilizó para la prueba. Estas son las condiciones de la broca antes de iniciar el primer ciclo.



Observando la grafica anterior nos podemos dar cuenta que la forma de onda se vuelve completamente asimétrica en la medida en que la herramienta va sufriendo desgaste. Es correspondiente a que los filos de la broca ya no están en condiciones optimas de corte, alguno de los filos ya no tiene el filo necesario y es por eso que los niveles de corriente aumentan y disminuyen drásticamente ya que el material que no es removido por el filo que no esta en buenas condiciones lo remueve el que aun tiene vida útil.



La pieza esta rallada debido al desgaste de la broca. Esta pieza será retrabajada.



Note las fracturas de la herramienta.

La herramienta es removida cuando la pieza ha sufrido daños, en este momento la pieza tiene que ser retrabajada, lo cual genera costos adicionales.

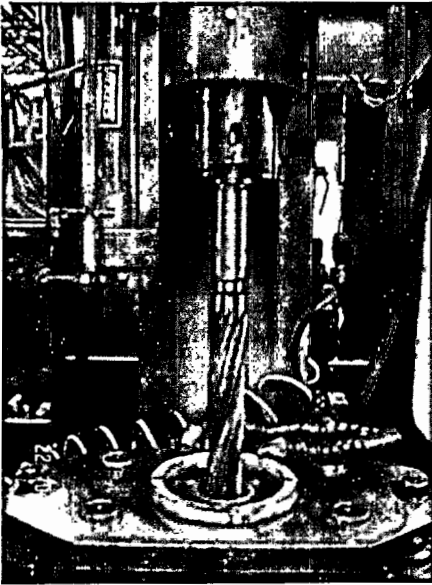
En esta imagen se observa los defectos de la herramienta, a partir de las señales de corriente podemos determinar el desgaste de la herramienta y de esta manera dar acciones de corrección antes de que la pieza sea lastimada y por consecuencia retrabajada.

CONCLUSIONES

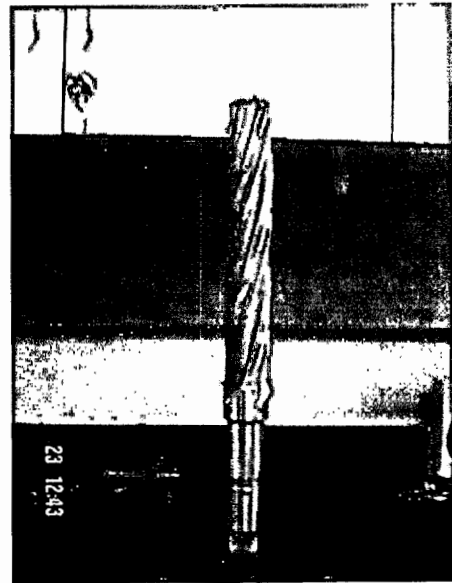
A partir de la investigación y desarrollo experimental que se llevo a cabo en este trabajo se pueden observar los resultados, los cuales dan información suficiente y necesaria para demostrar que es posible determinar el desgaste de herramientas en máquinas-herramienta a partir de la instrumentación que se debe llevar a cabo para el monitoreo de la corriente del motor de corriente alterna (AC) que da el giro al husillo.

El experimento se baso en la corriente obtenida del inversor que maneja el husillo de la máquina, esta señal fue necesario filtrar debido a la gran cantidad de ruido que lleva inmersa en la misma, una vez filtrada se pudo observar que a diferentes condiciones de la herramienta, como por ejemplo astillamiento de un filo es posible observar que el comportamiento de la corriente, esta aumenta o disminuye en función del desgaste de los filos de la broca.

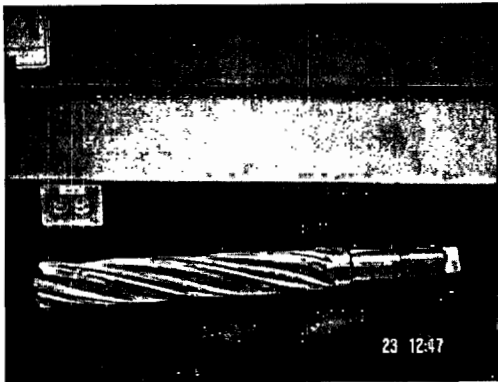
En México la investigación sobre este tema es escasa, se propuso este trabajo obteniendo resultados, los cuales son una alternativa para la detección del desgaste en línea de los procesos de maquinado totalmente automatizados, estos resultados también ofrecen un amplio camino en el área tecnológica, ya que a partir de estos se puede implementar algún sistema que reciba los datos y en base a esto enviar acciones de control. La implementación física de algún sistema de detección en línea puede ser a partir de algoritmos estadísticos o de inteligencia artificial.



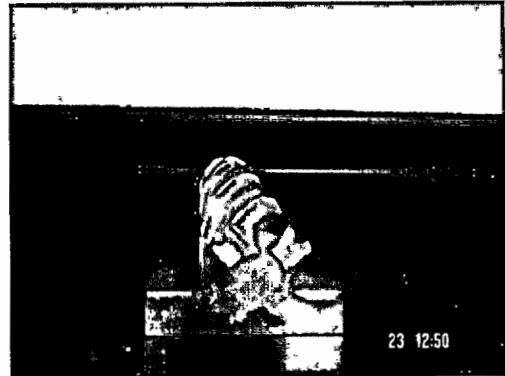
ANEXO 1. IMAGEN DE LA MAQUINA MONITOREADA, PROPIEDAD DE CARDANES S.A. de C.V.



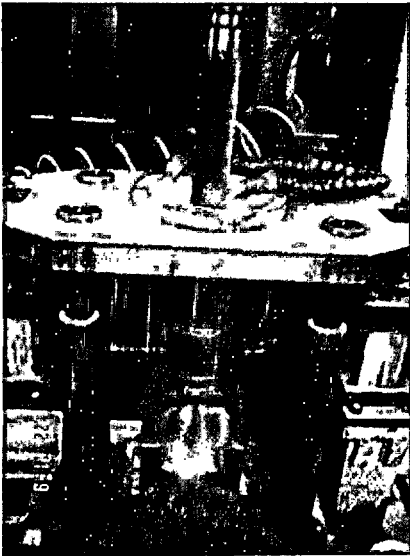
ANEXO 2. BROCA UTILIZADA PARA LA PRUEBA



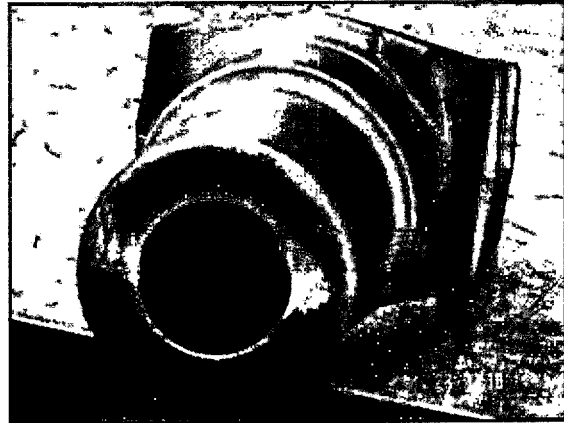
ANEXO 3. OTRA PERSPECTIVA DE LA BROCA UTILIZADA.



ANEXO 4. BROCA DE PRUEBA.



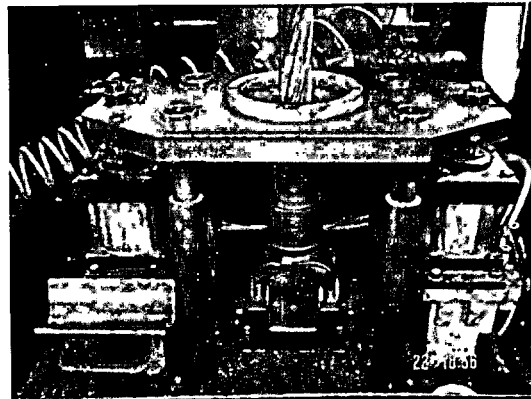
ANEXO 5. LA IMAGEN ILUSTRA EL MAQUINADO DE LA PIESA.



ANEXO 6. LA IMAGEN MUESTRA LA PIESA DE TRABADO. NOTE EL DIÁMETRO INICIAL.



ANEXO 7. EL REFRIGERANTE ES IMPORTANTE PARA LA VIDA UTIL DE LA HERRAMIENTA.



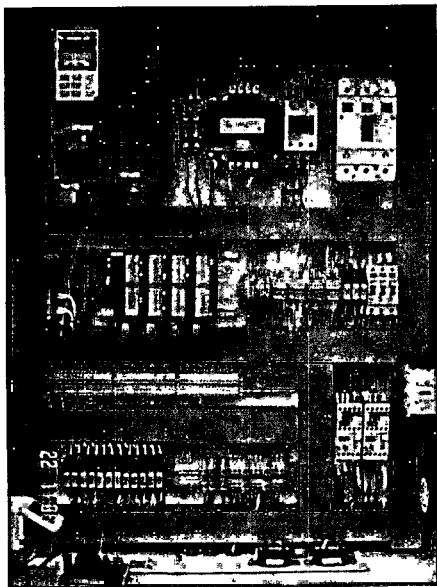
ANEXO 8. MOMENTO EN EL QUE LA MAQUINA HA TERMINADO LA OPERACIÓN.



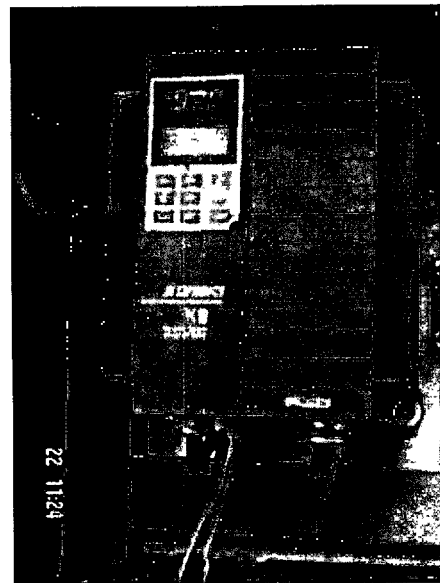
ANEXO 9. LA PIEZA HA SIDO MAQUINADA. NOTE EL DIÁMETRO FIAL.



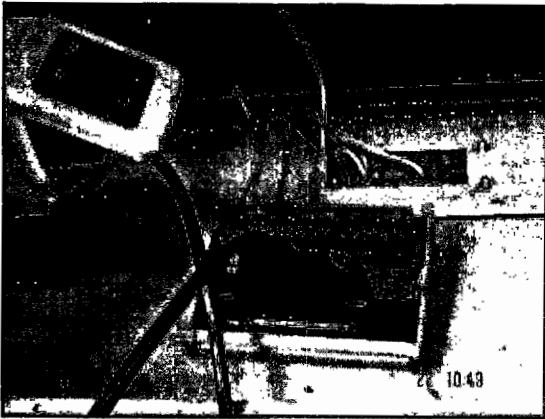
ANEXO 10. IMAGEN DEL MOTOR DE AC DEL HUSILLO DEL TALADRO.



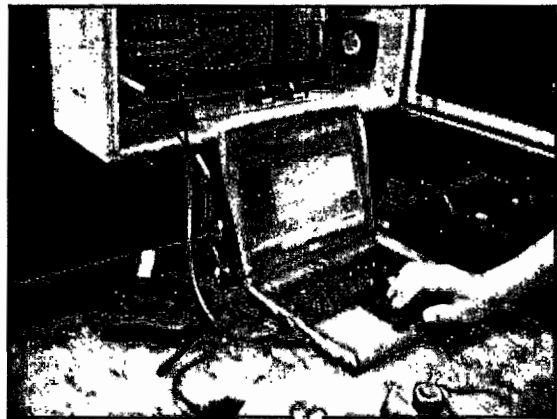
ANEXO 11. TABLERO ELECTRICO DEL TALADRO DE PRUEBA.



ANEXO 12. VARIADOR DE FRECUENCIA DE DONDE FU SENSADA LA CORRIENTE DEL MOTRO DEL HUSILLO.

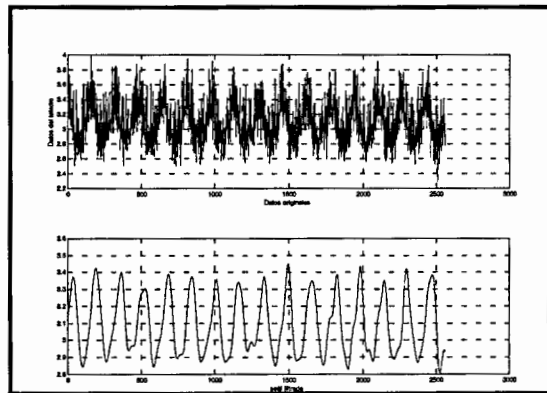
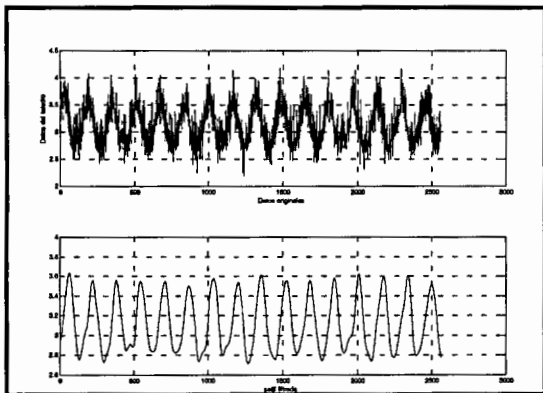


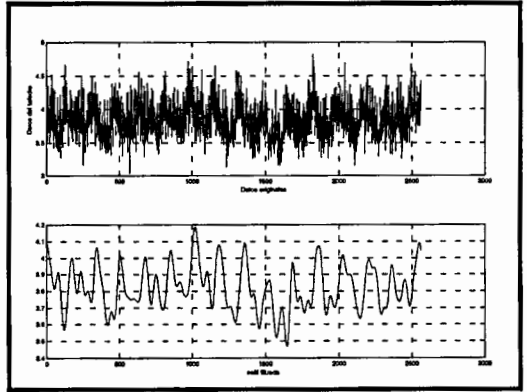
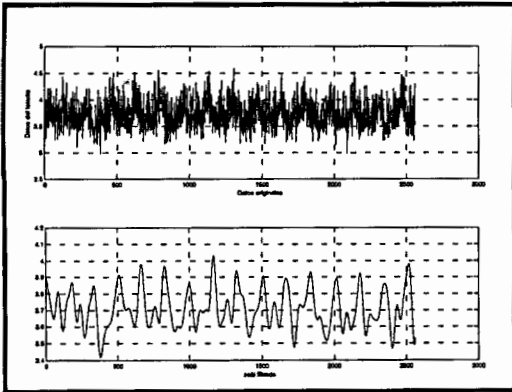
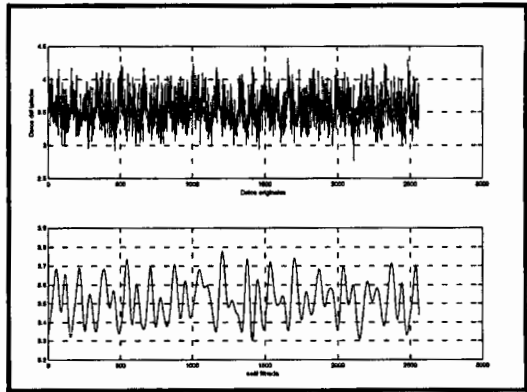
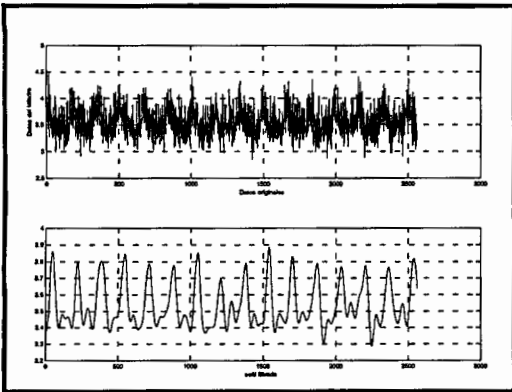
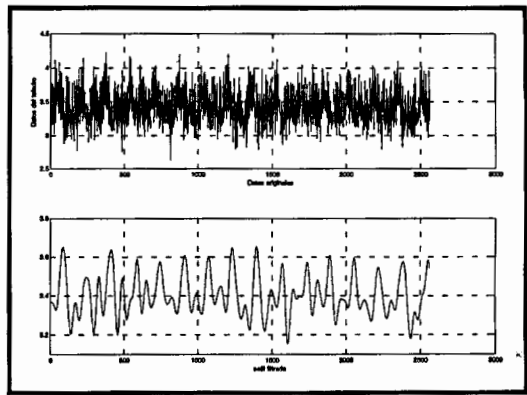
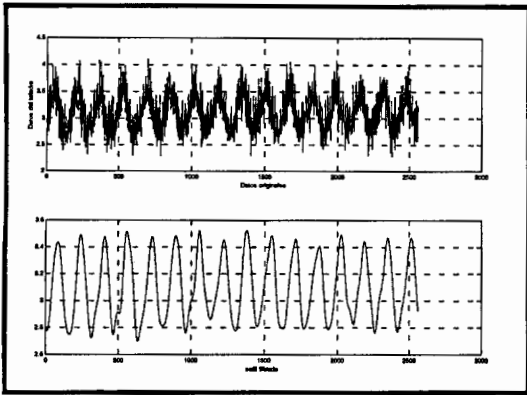
ANEXO 13. EQUIPO UTILIZADO PARA LA ADQUISICIÓN DE LOS DATOS.



ANEXO 14. INSTANTES EN LOS QUE SE ESTA LLEBANDO A CABO EL MUESTREO.

Anexo 15. Las siguientes imagines muestran la evolución del desgaste en la herramienta.





L.	ZONA	CAMBIO	DIB	APP	FECHA
A	C	2 SE AGREGA	R.L.	H.R.	SEP-86
B	C	5 SE AGREGA	R.L.	H.R.	SEP-86
C	2	ERA 1.7066/1.7080	RD	CG	JUN/89
D	2	ERA 1.4753/1.4730	RD	CG	JUN/89
E	2	ERA 2.3465/2.3440	RD	CG	JUN/89
F	B	NOTA AGREGADA	RC	CG	JUN/90
G	C	3 SE ACTUALIZA DT	R.L.	C.G.	AGO 99

NOTAS:

A.-ESTA HERRAMIENTA DEBERA SER FABRICADA EN ACERO HSS M2 (O EQUIVALENTE)

B.-LA DUREZA EN EL AREA DE TRABAJO (PILDS CORTANTES DEBERA SER 63-65 RC.)

C.-LA DUREZA EN EL CONO DE ARRASTRE DEBERA SER DE 42-46 Rv.

D.-LA CONICIDAD INVERTIDA DEBERA SER DE 0.0003"/0.0004" POR PLG. AL DIAMETRO DESPUES DE 3 PULGADAS DE LONG.

E.-LAS DIMENSIONES NO MOSTRADAS DEBERAN SER DE MANUFACTURA STANDARD.

DRAGA SUBLIMO (4-1)

MELICE DERECHA 24"

CORTE DEPENDIENDO

○ PUNTO DE VERIFICACION

DET. No.	No. DE REF.	COND. MZREA No.	A	B	C	D	E	F	G	H	Db	Dr	No. PARTE
1	440301062	4	1.700	18.00	25.00	3.00	58°	0.174	1.25	0.40	1.5360 1.5363	1.7080 1.7095	3-3-2221
3	440301061	5	1.145	16.50	23.80	7.00	58°	0.386	1.00	0.45	1.4170 1.4162	1.4730 1.4754	E-4-1721
2	440301080	5	2.313	18.50	23.50	7.00	70°	0.245	1.00	0.50	2.3186 2.3120	2.3480 2.3455	E-3-4-3021
1	440301099	5	0.113	18.00	25.00	3.00	58°	0.253	1.25	0.50	2.1090 2.1086	2.1430 2.1426	E-3-3431

ND. DE REF.: 440301062

<p>FLANJISMO</p> <p>RECTO</p> <p>ANGULAR</p> <p>PERPENDICULAR</p> <p>PARALELISMO</p> <p>PERFIL DE LINEA</p>	<p>REBOLLOS GEOMETRICOS</p> <p>REDONDEZ</p> <p>CONCENTRICO</p> <p>POSICION VERDAD</p> <p>DIAMETRO</p> <p>COND. MAX. MATL.</p> <p>PERFIL DE SUP.</p>	<p>DESIGNACION DIMENSA</p> <p>OLIMPRICO</p> <p>SMETRICO</p> <p>IDENTIF. DE DATO</p> <p>ZONA DE TOL. PROJEC.</p>	<p>ALABED</p> <p>ALABED TOTAL</p> <p>DAR BARRIDO</p> <p>CAJA FREIADA</p> <p>PROFUNDIDAD</p>
---	---	---	---

<p>DESIGNACION: DRAGA SUBLIMO (4-1)</p> <p>PROYECTISTA: H. RUIZ</p> <p>FECHA: JUN/89</p> <p>NO. DE PLANO: HRI3900101</p>	<p>TOLERANCIAS NO ESPECIFICADAS PLC</p> <p>±X ± 0.060</p> <p>±XX ± 0.006</p> <p>±XX ± 0.020</p> <p>ANGULOS ± 1°</p>
--	---

CONFIDENTIAL

U.S.A. INT'L

INTRODUCTION.

THIS SPECIFICATION DESCRIBES AN AS-CAST DUCTILE IRON, ALSO KNOWN AS NODULAR OR SPHEROIDAL IRON, IN WHICH GRAPHITE IS PRESENT AS SPHEROIDS INSTEAD OF FLAKES, AS IN GRAY IRON, OR TEMPER CARBON NODULES AS IN MALLEABLE IRON. THE GRADE DESCRIBED HERE IS IN THE AS-CAST CONDITION AND ITS MICROSTRUCTURE CONSISTS OF GRAPHITE, FERRITE SURROUNDING THE GRAPHITE, AND A PEARLITIC MATRIX. THIS MATERIAL IS TO BE USED PRIMARILY FOR SPICER DRIVESHAFT YOKES AND FLANGES THAT DO NOT HAVE TO BE QUENCHED AND TEMPERED. DUE TO THE CRITICAL NATURE OF THE APPLICATION, CASTINGS OF THIS MATERIAL CAN BE PURCHASED ONLY FROM SOURCES APPROVED BY THE SPICER DRIVESHAFT DIVISION ENGINEERING DEPARTMENT. THE PRIMARY REQUIREMENT OF THE CASTING IS TO HAVE HIGH TORSIONAL STRENGTH (AS DEMONSTRATED IN THE MECHANICAL TEST, I.E. TORSIONAL FATIGUE AND STATIC TORQUE). THIS SPECIFICATION IS SIMILAR TO S.A.E. J434C GRADE D 7003 WITH A REVISED HARDNESS LEVEL.

MANUFACTURING.

THIS IRON MAY BE MELTED, NODULARIZED, INNOCULATED, AND CAST BY ANY OF THE COMMERCIAL PROCESSES WHICH WILL PROVIDE THE DEGREE OF CONTROL NECESSARY TO ASSURE THE QUALITY OF THE CASTINGS PRODUCED. THERE SHALL BE NO SIGNIFICANT DEVIATION FROM THE PRACTICES FOR WHICH THE ORIGINAL CASTINGS WERE APPROVED WITHOUT THE KNOWLEDGE AND CONSENT OF THE PURCHASER.

QUALITY.

THE CASTINGS SHALL BE REPRESENTATIVE OF GOOD FOUNDRY PRACTICES. THEY SHALL BE FREE OF CRACKS, COLD SHUTS, BLOWS, BURNED-ON SAND, FINS, RUNNERS, INCLUSIONS, SHRINKS AND ANY OTHER DEFECTS THAT WOULD BE DETRIMENTAL TO MACHINABILITY OR SERVICE PERFORMED. THEY SHALL MEET IN ALL PARTICULARS THE REQUIREMENTS OF ENGINEERING SPECIFICATION NO. 633J.

CASTINGS SHALL NOT BE REPAIRED BY WELDING OR BRAZING.

IDENTIFICATION

MARKS IDENTIFYING THE CASTING MANUFACTURER, PART NUMBER, HEAT DATE AND OTHER IDENTIFICATION SPECIFIED ON THE DRAWING, OR AGREEMENT, SHALL BE CAST LEGIBLY ON EACH PART IN A LOCATION DESIGNATED BY THE PURCHASER.

MACHINABILITY.

CASTINGS SHALL MACHINE SATISFACTORILY AND CONSISTENT WITH ORIGINAL APPROVED CASTINGS.

COMPILED BY: INCR		CHECKED BY: RFL		DATE: -		MATERIAL SPECIFICATION	
200-34577	RELEASED						
NUMBER	CHANGE	BY	CK	DATE			
C-148843	D	REDRAWN TO CADAN	DAW	TS 09-21-1988	PEARLITIC NODULAR (DUCTILE) IRON AS-CAST	92-4J PMT. 1 OF 8	
C-148303	F	WAS "REMARKS"	DRV	TS 04-11-1988			
C-148303	F	NOTE REVISED	DRV	TS 04-11-1988			
C-163824	G	SHEET REVISED	MB	TS 04-26-2003			

G

ANEXO 17

ENGINEERING REQUIREMENTS:

THE ENGINEERING REQUIREMENTS SHALL BE BASED ON THE CASTING ITSELF RATHER THAN TEST BARS. THE PRIMARY PROCESS CONTROL REQUIREMENTS SHALL BE THE HARDNESS AND MICROSTRUCTURE, WHICH CAN BE CORRELATED TO THE MECHANICAL PROPERTIES.

(E)(F) A. HARDNESS: 235-293 B.H.N. (3.95-3.55 BID)

THE FOUNDRY SHALL EXERCISE THE NECESSARY QUALITY CONTROLS AND INSPECTION PROCEDURES TO ENSURE THE SPECIFIED HARDNESS. HARDNESS READINGS SHALL BE TAKEN IN ACCORDANCE WITH ASTM-E10. SUFFICIENT MATERIAL SHALL BE REMOVED FROM THE CASTING SURFACE TO GIVE REPRESENTATIVE HARDNESS MEASUREMENTS.

THE LOCATION WHERE THE HARDNESS IS TO BE DETERMINED SHALL BE DESIGNATED ON THE DRAWING(S), OR MUTUALLY AGREED TO BETWEEN THE SUPPLIER AND THE PURCHASER. A SUBCRITICAL (LESS THAN 1300 DEGREES FAHRENHEIT) ANNEAL TO CORRECT A HIGH HARDNESS AS-CAST CONDITION IS PERMISSIBLE AS AN EXCEPTION WITH ADVANCED NOTIFICATION TO SPICER DRIVESHAFT DIVISION OF DANA CORPORATION. OTHER HEAT TREATMENTS OF ANY KIND MUST BE APPROVED IN ADVANCE BY SPICER DRIVESHAFT ENGINEERING (SEE SECTION G. PERMISSIBLE HEAT TREATMENTS).

B. MICROSTRUCTURE:

THE MICROSTRUCTURE SHALL BE OF RANDOMLY AND UNIFORMLY DISPERSED GRAPHITE NODULES SURROUNDED BY FERRITE IN A FINE PEARLITIC MATRIX. THE GRAPHITE COMPONENT WILL CONSIST OF AT LEAST 80% SPHEROIDAL GRAPHITE CONFORMING TO TYPE I AND II OF ASTM A-247 PLATE I AND ESSENTIALLY FREE OF TYPE IV AND VII. SEE CLASSIFICATION OF GRAPHITE SHAPES IN CAST IRONS SAE J434C. NO DETRIMENTAL PRIMARY OR CELL BOUNDARY CARBIDES ARE PERMITTED. THE GRAPHITE FREE OR FLAKE GRAPHITE RIM, WHICH MAY EXIST ON CASTINGS SHALL NOT EXCEED A DEPTH OF 0.010". THE PEARLITIC MATRIX SHALL CONSIST OF NO LESS THAN 75% PEARLITE.

CONFIDENTIAL

U.S.A. INT'L

COMPILED BY: INCR		CHECKED BY: RFL		DATE: -		MATERIAL SPECIFICATION		
200-34577		RELEASED		- 1949 SUJ		PEARLITIC NODULAR (DUCTILE) IRON AS-CAST 93-4J SHT. 2 OF 8		
NUMBER	CHANGE	BY	CK	DATE				
C-158845	E	HARDNESS REVISED		SD	WJW			10-15-1996
C-160081	F	HARDNESS WAS 235-295 BHN		CS	TS			08-25-1997
C-163924	G	SHEET REVISED		MB	TS	04-26-2000		

G

BIBLIOGRAFÍA

Manufacturing Engineering And Technology, Serope Kalpakjian. Illinois Institute of Technology, Steven R. Schmidt. The University of North Dame, Cuarta Edición, Editorial Prentice Hall.

Fundamentos de Manufactura Moderna. Materiales, Procesos y Sistemas, Mikel P. Groover. Professor of Industrial and Manufacturing Systems, Lehigh University, Editorial Prentice Hall.

International Journal of Machine Tool & Manufacture, Artículos: A summary of methods applied to tool condition monitoring in drilling, Erkki Jantunen, Technical Research Center of Finland, PO Box 1702, FIN-02044 VTT, Finland Received 31 May 2001; received in revised form 18 March 2002; accepted 22 March 2002. Drill wear monitoring based on current signals, Xiaoli Li, S.K. Tso, Department of Manufacturing Engineering, City of hong Kong, Tat Chee Ave., Kowloon, China Institute of Intelligent Application, Yan Shan University, 066004 China. Received 9 October 1998; received in revised from 13 January 1999, Editorial Pergamon.

Artículo publicado por el Ing. Benjamín Ramírez Hernández, Coordinador de la asignatura de Medición e instrumentación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de México (UNAM).

Digital Signal Processing with Examples in Matlab, Samuel D. Stearns, Editorial CRC Press.

