

879316  
2eg



**UNIVERSIDAD LASALLISTA BENAVENTE**

ESCUELA DE INGENIERIA EN COMPUTACION

Con estudios Incorporados a la

**Universidad Nacional Autónoma de México**



CLAVE: 8793-16

**" MONITOREO DEL TRATAMIENTO  
TERMICO POR INDUCCION SIN  
DESTRUCCION DE PIEZAS "**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

**INGENIERO EN COMPUTACION**

PRESENTA:

**Marcos Vancini Melo**

ASESOR:

**M.I. NOE DE JESUS VELA AGUIRRE**

CELAYA, GUANAJUATO.

MAYO DE 1999.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

274923



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FRAGUACION

DISCONTINUA

## CONTENIDO

---

	Pág.
<b>Introducción</b> .....	1
<b>Objetivo</b> .....	6
<b>Antecedentes</b> .....	6
<b>Capítulo I. Marco Teórico</b>	
1.1 Tratamiento Térmico del Acero .....	8
1.1.1 Recocido .....	8
1.1.2 Templado .....	8
1.1.3 Revenido .....	9
1.1.4 Templado Superficial .....	10
1.2 Tratamiento Térmico por Inducción .....	10
1.3 Inspección por Corrientes de Eddy .....	11
1.4 Microestructura .....	12
1.5 Proceso de Fabricación del Semieje .....	13
<b>Capítulo II. Descripción del Proyecto</b>	
2.1 Preparación de la Pieza para el Análisis .....	14
2.2 Análisis de la Profundidad de Capa .....	15
2.3 Análisis de la Microestructura .....	16
<b>Capítulo III. Instrumentación</b>	
3.1 Magnatest .....	17
3.2 Grabadora Analógica .....	21
3.3 Analizador de Señales .....	22
3.4 Durómetro Rockwell .....	23
3.5 Plotter .....	24
3.6 Bancos de Escaneo .....	25
3.7 Convertidor de Señal .....	26
3.8 Automatización .....	27
<b>Capítulo IV : Pruebas y Resultados</b>	
4.1 Escaneo Manual .....	30
4.1.1 Pruebas Puntuales .....	30
4.1.2 Pruebas Multipuntuales .....	31
4.1.3 Pruebas Puntuales con puntas de soporte de Acero Inoxidable .....	32
4.2 Escaneo Automático .....	34

4.2.1 Ajuste de Velocidad y pruebas iniciales .....	34
4.2.2 Prueba con Semiejes Defectuosos .....	36
4.2.3 Pruebas con diferentes Frecuencias .....	39
4.2.4 Corte de semiejes .....	42

**Capítulo V. Análisis Estadístico de los resultados**

5.1 Método 1 (Ecuaciones) .....	49
5.2 Método 2 (Mínimos Cuadrados) .....	51
5.3 Método 3 (Promedios) .....	53

<b>Conclusiones</b> .....	54
---------------------------	----

<b>ANEXO 1</b> .....	I - VI
<b>ANEXO 2</b> .....	VI - XI
<b>ANEXO 3</b> .....	XII - XVIII

**Bibliografía**  
**Nomenclatura**

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, el sector de la micro y pequeña industria, el cual constituye alrededor de 97% de los establecimientos manufactureros, atraviesa por una excepcional y difícil situación <sup>1</sup>. Por lo anterior debido a factores tanto internos como externos a las empresas, entre los que destacan los efectos adversos al TLC, la elevada sustitución de productos nacionales por artículos de importación, la inestabilidad de la actividad económica, la disminución generalizada de la capacidad de compra de la población y en consecuencia de la demanda ; la acumulación de adeudos con la banca y las deficiencias en la operación y gestión de un gran número de establecimientos del sector.

En consecuencia de tales problemas, la industria se ha preocupado por mejorar la calidad de sus productos para así tener competencia con artículos de importación y poder alcanzar un nivel de calidad para exportar sus productos, así mismo se ha enfocado también a desarrollar nuevos productos con el fin de alcanzar objetivos de mercado como lo son :

- a) retener a los consumidores o usuarios de su mercado actual.
- b) atraer nuevos compradores en su mercado actual con el fin de sustituir a los que se van perdiendo.
- c) aumentar las ventas en su mercado actual.
- d) incrementar las ventas, incursionando en nuevos mercados.

Actualmente en el país existen varios grupos u organizaciones de empresas con distintas líneas de productos, dentro de estos grupos podemos mencionar a Desc como una de las organizaciones industriales más importantes del país.

### **Desc**

Desc, Sociedad de Fomento Industria, S.A. de C.V. es un grupo diversificado que a través de sus 60 líneas de productos y más de 50 plantas industriales, participa activamente en distintos sectores de la economía, ocupando el octavo lugar entre los consorcios privados más grandes e importantes del país.

---

1. Información obtenida del artículo "Empresas ganadoras del Premio Nacional de Calidad"

Alrededor de 20,000 personas colaboran en distintas empresas que forman el Grupo, cuya estrategia está orientada al fortalecimiento de su liderazgo en el mercado nacional, mediante el enfoque de competitividad internacional.

DESC es una empresa tenedora de acciones que tienen 5 principales subsidiarias que manejan distintas líneas o sectores de negocio según se muestra en el organigrama (figura 1.1):

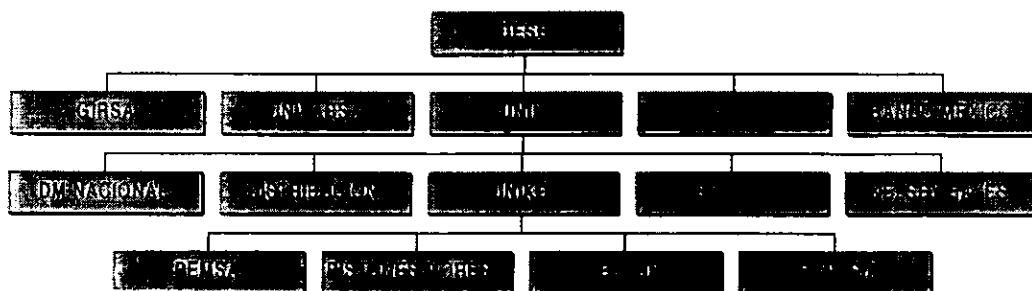


Figura 1.1 se muestra en donde está situado Velcon dentro de la organización del Grupo Desc.

Los principales sectores del Grupo Desc son:

- Sector de Autopartes (Unik).
- Sectores Químicos y Productos de Mercado (Girsa).
- Sector Agropecuario (Univarsa).
- Sector Inmobiliario (Dine).
- Sector Servicios Financieros (Banco México).

En el sector de Autopartes está el grupo UNIK, grupo de industrias de giro metal-mecánica y la mayor empresa de autopartes en México, que encabeza este sector, la cual cuenta con 14 líneas de productos, como : flechas de velocidad constante, ejes tractivos y flechas cardán, ruedas de acero y aluminio (rines), pistones, anillos y válvulas, carrocerías Pick-up, alternadores, bobinas, bujías y juntas para motor.

UNIK, vende sus productos a las armadoras de automóviles y camiones nuevos, tanto para su instalación directa en las unidades, como para su distribución y reventa en el mercado de reparación de autos usados. Cuenta además con un gran mercado de exportación.

Ambos mercados resultan muy competitivos, tanto en calidad como en precio. Hoy en día, UNIK compite con varias empresas manufactureras nacionales y extranjeras, por lo que busca constantemente ventajas en el mercado nacional e internacional basadas en la excelente calidad de sus productos y contando con licencias y asistencia técnica de los principales productos a nivel mundial.

## **Velcon**

Velcon, S.A. de C.V. es una empresa fabricante de autopartes del grupo UNIKO. Empresa ganadora del Premio Nacional de Calidad en 1995 y que en 1997 obtiene la Certificación de QS-9000, se localiza en la ciudad de Celaya, Guanajuato, en la Carretera Panamericana Km. 284. Cuenta con una superficie de 100,000 m<sup>2</sup>, de los cuales están construidos 12,000 m<sup>2</sup> que sirven como áreas de producción y 4,000 m<sup>2</sup> de oficinas.

La Flecha de Velocidad Constante está situada entre la transmisión y la parte que sujeta a la llanta, esto solo en automóviles de tracción delantera, a continuación se muestra una figura donde se puede observar su ubicación:

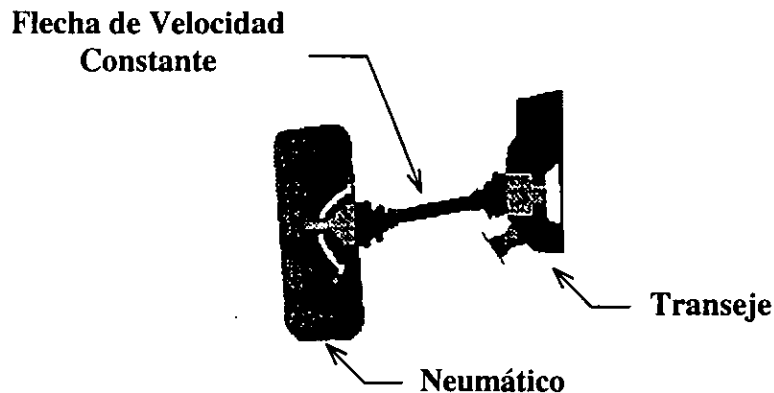


Figura 1.2 ubicación de la Flecha de Velocidad Constante.

Velcon es una empresa dedicada a la fabricación de Flechas de Velocidad Constante para vehículos de tracción delantera o transmisión trasera con suspensión independiente.



A continuación se muestran dos figuras donde se puede observar la Flecha de Velocidad Constante como producto terminado y otra Flecha desmantelada para poder visualizar algunos de sus componentes principales:



Figura 1.3 Flecha de Velocidad Constante, modelo Opel L.I. (lado izquierdo).

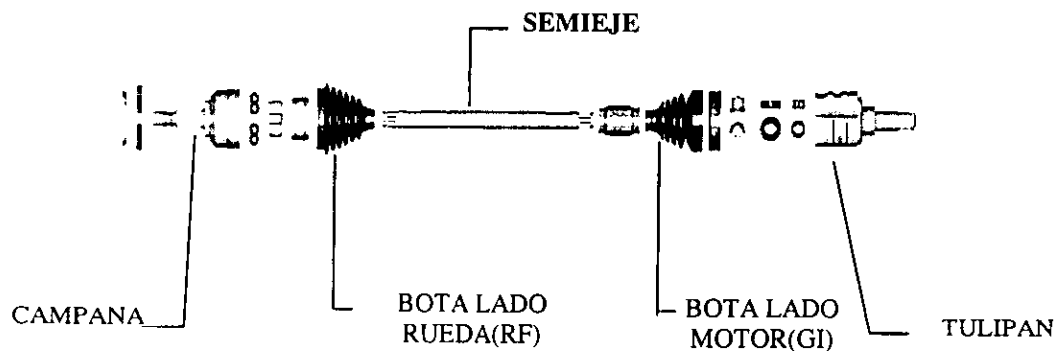


Figura 1.4 Flecha de Velocidad Constante desensamblada.

La planta inició con una etapa de ensamble en el año de 1979 en la ciudad de Querétaro y a partir de 1980, comenzó su etapa de integración de maquinados y ensamble en sus instalaciones finales, trasladándose a la ciudad de Celaya, Guanajuato.

Del mercado automotriz se tiene una participación dentro del segmento de automóviles del 63% en mercado de exportación, 20 % equipo doméstico y 17% equipo de repuesto.

Además, cuenta con un 69% de penetración en el mercado Internacional, esto es, proveer el 69% de la producción de las flechas para automóviles en toda América. Para satisfacer las necesidades de distribución de este mercado se cuenta con un distribuidor (COMOSA), que comercializa nuestros productos y una red de 156 mayoristas distribuidos en toda la

República ; y en el extranjero a Opel España, VW de E.U.A. y Canadá, Chrysler de E.U.A. y Nissan Latinoamérica.

Las ventas anuales para 1994 fueron de 64.1MUSD <sup>2</sup>. el capital de la compañía está constituido por capital Mexicano Unik, más capital Inglés GKN (39%), quien es el tecnólogo y líder mundial fabricante de flechas, y Dana capital Americano con un 11%.

Velcon tiene una capacidad instalada de 1.6M <sup>3</sup> de flechas y una plantilla de 468 personas, de la cuales 165 son empleados y 303 sindicalizados.

Los clientes principales de Velcon son todas las armadoras de equipo original como lo son: VW, Nissan, Ford, General Motors y Chrysler, y en el mercado de refacciones se tiene una comercializadora (COMOSA) que se encarga de las ventas a distintas refaccionarías del país.

---

2. MUSD: millones de dólares americanos.

3. M: millones .

## **OBJETIVO**

El objetivo de este proyecto es automatizar el proceso de inspección de la profundidad de capa sin tener que cortar la pieza (semieje). Así como elaborar una inspección al 100% de la superficie de la pieza a inspeccionar.

También se busca tener un monitoreo del proceso de inspección para poder determinar si el tratamiento térmico aplicado al semieje es el correcto o requiere de alguna modificación en el proceso.

## **ANTECEDENTES**

Actualmente en la empresa Velcon se tiene como objetivo implementar nuevos proyectos los cuales mejoren los procesos de producción y que garanticen la calidad de sus productos.

Uno de los procesos más críticos de la empresa es el inspeccionar el tratamiento térmico aplicado a las piezas, este tratamiento térmico es aplicado con la finalidad de darle una mayor resistencia al material. La inspección se elabora de la siguiente manera :

1. Someter 2 piezas a tratamiento térmico por inducción de acuerdo a la hoja de proceso del modelo y al programa de la máquina.
2. Se selecciona *una* de ellas y se somete a inspección a través de un equipo verificador de dureza y de profundidad de capa llamado Magnatest <sup>4</sup> y en este se selecciona el programa que le corresponde al modelo de semieje que se desea inspeccionar.
3. Si la respuesta del equipo no es correcta se realiza un nuevo ajuste en los parámetros de máquina de inducción. De lo contrario se corta una de las piezas y la otra la deja como posible patrón ; el corte a la pieza se elabora en varias secciones como lo especifica el cliente.

---

4. Magnatest, Manual Magnatest S3.625, Operation Instruction.

5. Posteriormente se elabora solicitud de análisis de tratamiento térmico por inducción y envía al laboratorio metalúrgico la pieza para su análisis de acuerdo a la hoja de inspección.
6. Si el resultado del análisis de tratamiento térmico por inducción es rechazado, la pieza que había quedado como patrón se recupera si es posible, si no se pinta de rojo y se desecha.
7. Si el resultado del análisis de tratamiento térmico por inducción es aprobado, se pinta de azul el patrón, inicia producción y libera la operación.

Como se puede observar todo este procedimiento es bastante tardado, además de no poder garantizar una inspección a toda la superficie del semieje y no a todos los semiejes, por lo tanto se desea eficientizar este proceso para eliminar los cortes a los semiejes y garantizar que la inspección se aplique a todo el semieje y no solo a algunos puntos.

# CAPITULO I.

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Tratamiento Térmico del Acero.

El tratamiento térmico se refiere a acciones con las que interrumpe o varía el proceso de transformación descrito por el diagrama de equilibrio. Otras operaciones mecánicas o químicas se agrupan algunas veces bajo el nombre de tratamiento térmico. Las operaciones comunes de tratamiento térmico son: recocido, templado, revenido y templado superficial.

**1.1.1 Recocido:** cuando un material se somete a trabajo en frío o en caliente, se inducen esfuerzos remanentes o residuales, y además, el material generalmente adquiere gran dureza debido a estas operaciones de labrado. Tales acciones cambian la estructura del material, el recocido es una operación de calentamiento que permite dicha transformación a una temperatura de 55°C (100°F) sobre su temperatura crítica, se mantiene dicha temperatura por un tiempo suficiente para que el carbono quede disuelto y difundido a través del material. El objeto tratado se deja enfriar lentamente, en el mismo horno en que fue tratado. Si la transformación fue completa, se dice que tiene un recocido total. El empleo del recocido es hacer del material tratado más dúctil, para eliminar esfuerzos y refinar su estructura del grano.

Este tratamiento incluye también el proceso llamado normalizado, donde las piezas pueden ser calentadas a una temperatura un poco más alta que el recocido total. Esto produce un estructura granular más gruesa, que es más fácilmente maquinada si el material es un acero de bajo carbono. El enfriado se elabora en aire tranquilo a temperatura ambiente. Este proceso de normalizado se utiliza normalmente como operación de tratamiento final del acero, donde el enfriado de aire tranquilo equivale a un templado (endurecimiento) lento.<sup>5</sup>

**1.1.2 Templado:** el acero eutectoide que se recuece totalmente consiste por completo en perlita, que se obtiene a partir de la austenita en condiciones de equilibrio.

---

5. Recocido, pág. 22, cap. II, Manual de Introducción a la Metalurgia Física, CIDETEQ.

Un acero hipoeutectoide totalmente recocido consistiría en perlita más ferrita, en tanto un acero hiperreutectoide en condición de recocido total consistiría en perlita más cementita. La dureza del acero con un determinado contenido de carbono depende de la estructura que reemplaza a la perlita cuando no se realiza el recocido total.

La ausencia de tal recocido indica la intensidad más rápida de enfriamiento. La rapidez de enfriamiento es el factor que determina la dureza. Un temple (endurecimiento) ligero se obtiene a partir de un enfriamiento con aire ligero, como se mencionó anteriormente, con el proceso de normalizado. Las dos sustancias más utilizadas para templar son el agua y el aceite. El templado en aceite es un proceso muy lento, pero evita grietas que se originan en el temple por la expansión rápida del material a tratar. Por otro lado el temple con agua es empleado en aceros al carbono y para aceros de baja aleación y mediano carbono.

La eficacia del endurecimiento depende del hecho en cuanto la austenita se enfría no se transforma instantáneamente en perlita, sino que se requiere tiempo para iniciar y completar el proceso. Puesto que la transformación cesa aproximadamente a 425°C (800°F), esto puede ser evitado enfriando de manera rápida el material a una temperatura menor. Cuando el material es enfriado a una temperatura entre 200°C (400°F) o menos, la austenita se transforma en una estructura llamada martensita. Ésta es una solución sólida sobresaturada de carbono en ferrita, y es la clase de acero más dura y resistente.<sup>6</sup>

**1.1.3Revenido:** cuando un probeta de acero ha sido endurecida totalmente, resulta ser dura y frágil en extremo y con esfuerzos remanentes altos. El acero queda inestable y tiende a contraerse al envejecer. Dichos esfuerzos internos pueden ser eliminados por un proceso de calentamiento llamado revenido, este proceso consiste en un recalentamiento a una temperatura inferior a la crítica durante cierto tiempo y luego se deja enfriar. Esta acción de recalentamiento libera carbono retenido en la martensita, formando cristales de carburo. El nombre de la estructura obtenida recibe el nombre de martensita revenida.<sup>6</sup>

---

6. Templado y Revenido, pág. 25, cap. II, Manual de Introducción a la Metalurgia Física, CIDETEQ.

**1.1.4 Templado superficial:** el objeto de esta acción de endurecimiento es producir una corteza (o superficie exterior) dura en una probeta o una pieza de acero de bajo carbono, reteniendo al mismo tiempo la ductibilidad y la tenacidad en el núcleo. Esto se logra aumentando el contenido de carbono en la superficie, es decir, carburizandola. Pueden utilizarse carburizantes o gaseosos. El proceso consiste en introducir la pieza a carburizar en el seno de un material carburizante durante un tiempo y una temperatura establecidos, dependiendo del espesor de la corteza dura que se desee y de la composición de la pieza.

Esta última puede ser luego templada, desde la temperatura de carburizado, y revenida, o bien en algunos casos debe ser sometida a un tratamiento térmico doble a fin de asegurar que el núcleo y la corteza estén en las condiciones apropiadas. Algunos procesos más útiles de templado superficial son los que se denominan carburizado en paquete o en gas, nitrurizado, cianurizado, endurecimiento por inducción y endurecimiento a la flama.

## **1.2 Tratamiento Térmico por Inducción.**

La inducción electromagnética es un método de generar calor dentro de una parte para endurecer o revenir una parte de acero o hierro fundido. Cualquier conductor eléctrico puede calentarse por inducción electromagnética.

Al fluir una corriente alterna proveniente de un convertidor de corriente a través de un inductor, o bobina de trabajo, se establece un campo magnético que alterna rápidamente dentro de la bobina.

La fuerza de este campo depende primeramente de la magnitud de corriente que fluye en la bobina. El campo magnético así establecido induce un potencial eléctrico en la parte a ser calentada, y debido a que la parte representa un circuito cerrado, el voltaje inducido causa el flujo de corriente. La resistencia de la parte al flujo de la corriente inducida causa un calentamiento.<sup>7</sup>

---

7. Tratamiento Térmico por Inducción, pág. 113, cap. III, Induction Heat Treatment of Steel.

El patrón de calentamiento obtenido por la inducción es determinado por :

- a) La forma de la bobina de inducción que produce un campo magnético.
- b) El número de vueltas en la bobina.
- c) La frecuencia de operación.
- d) La potencia de entrada de corriente alterna.
- e) La naturaleza (composición) de la pieza de trabajo.

La velocidad de calentamiento obtenida con la bobina de inducción depende de la fuerza del campo magnético al cual la pieza esta expuesta. Esto se vuelve entonces en una función de las corrientes inducidas y de la resistencia del flujo.

La profundidad de penetración de la corriente depende de la permeabilidad de la pieza de trabajo, la resistividad y la frecuencia de la corriente alterna.

Ya que los dos primeros factores varían comparativamente poco, la mayor variable es la *frecuencia*. *La profundidad de penetración de la corriente disminuye al incrementarse la frecuencia*. Se utiliza corriente de alta frecuencia cuando se desea un calentamiento escaso (capa delgada) ; se utilizan frecuencias intermedias y bajas en aplicaciones que requieren calentamientos más profundos.

La mayoría de las aplicaciones de endurecimiento por inducción requieren comparativamente densidades de alta potencia y ciclos de calentamiento cortos a modo de restringir el calentamiento al área superficial.

Las principales ventajas metalúrgicas que se pueden obtener al endurecer superficialmente con inducción incluyen mucho mayor resistencia al desgaste y una resistencia de fatiga mejorada.



### **1.3 Inspección por Corrientes de Eddy.**

Esta práctica consiste en la acción ejercida por una bobina donde pasa una corriente alterna de cierta frecuencia, esta corriente en la bobina causa un flujo de campo magnético a la misma frecuencia, al presentarse éste campo magnético causa que las corrientes de Eddy circulen en el material de prueba creando otro campo magnético de la misma frecuencia y éste campo ahora se opone al campo magnético inicial y el instrumento registra la impedancia acerca de la oposición de los dos campos magnéticos. Por consiguiente, en un material el equipo debe ajustarse a cero cuando la muestra esta libre de discontinuidades, entonces cuando la muestra de prueba se cambia por otra que tiene discontinuidades, el flujo de corrientes de Eddy es alterado cambiando el segundo campo magnético.<sup>8</sup>

Las aplicaciones incluyen detección de defectos superficiales y sub-superficiales, detección de capas de metales múltiples, mediciones de espesor de partículas metálicas y no-metálicas sobre un sustrato metálico, dureza, tamaño de grano, tratamiento térmico, etc..

### **1.4 Microestructura.**

La microestructura de un material es básicamente la composición química del mismo, por ejemplo el análisis profundo de un metal, se describe en función de su estructura atómica, la cual consiste de un arreglo de átomos ordenados exactamente como un cristal (formando un arreglo periódico y regular formando redes), las cuales apiladas entre sí pueden dar forma a arreglos tridimensionales de átomos que se denominan como celdas unitarias.<sup>9</sup>

Estas celdas son las unidades de grupos de átomos más simples que tienen un acomodo especial y fácil de identificar, como es el ejemplo de las estructuras que cristalizan en celdas cúbicas como la sal común o cloruro de sodio. Así pues de lo anterior se concluye que un metal es cristalino.

---

8. Corrientes de Eddy, pág. 126, cap. III, Induction Heat Treatment of Steel.

9. Microestructura, pág. 65, cap. II, Manual de Introducción a la Metalurgia Física, CIDETEQ

Cada metal, en su mayoría esta constituido por diferentes estructuras, cada una de la cuales tienen su propio arreglo cristalino, por ejemplo el acero presenta fases tan diferentes como *ferrita* (hierro puro, con una pequeña cantidad de carbono, resistencia tensil 40 000 lb/pulg<sup>2</sup>) y *cementita* (término metalográfico para el carburo de hierro, contiene 6.67% de carbono por peso, metal típicamente duro y frágil de baja resistencia tensil (mayor a 50 Rc), pero alta resistencia compresiva).

### 1.5 Proceso de fabricación del semieje.

En la figura 1.5 se muestra el diagrama actual de proceso de fabricación del semieje, donde se incluye no solo el maquinado, sino también el templado y revenido, hasta la etapa de ensamble. El acero que comúnmente se utiliza es el acero SAE 1030 y SAE 1045 (aceros al carbón).

#### Diagrama de Proceso :

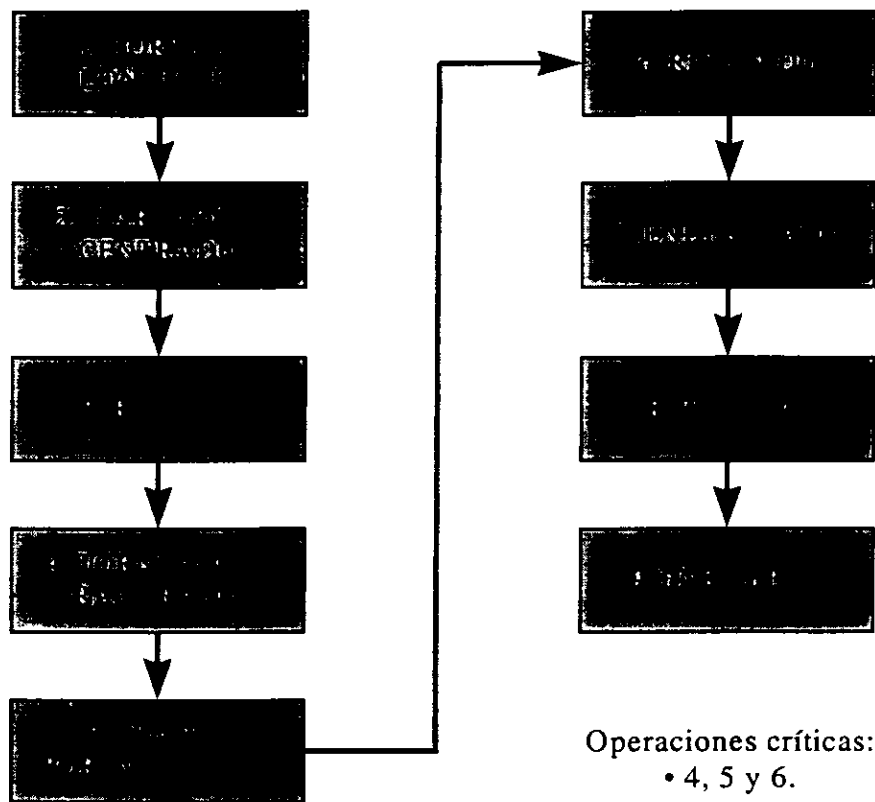


Figura 1.5 Diagrama de flujo del proceso de fabricación del semieje.

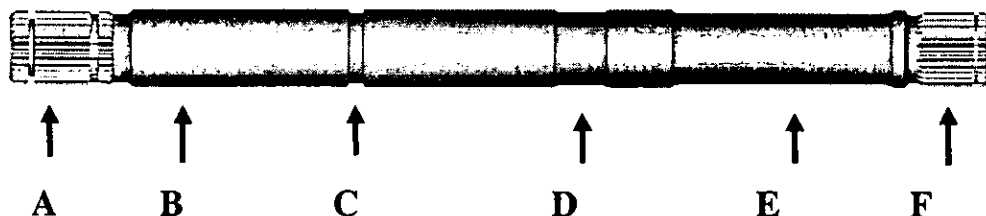
## CAPITULO II.

### *DESCRIPCION DEL PROYECTO*

En este capítulo analizaremos básicamente el procedimiento convencional que se le aplica al semieje después de haber pasado por el proceso de maquinado. Este proceso es la aplicación de tratamiento térmico por inducción para poderle suministrar una resistencia al material a tratar. Esta resistencia es una combinación de dureza y profundidad de capa, estos dos factores generalmente son especificados por el cliente.

El proceso para la inspección del tratamiento térmico que se hace actualmente donde se analizan tanto dureza superficial y profundidad de capa, es el siguiente :

1. Somete 2 piezas a tratamiento térmico por inducción de acuerdo a la hoja de proceso del modelo y al programa de la máquina.
2. Se selecciona del instrumento Magnatest ( fig. 3.1, pág. 17) el programa que le corresponde al modelo a de semieje a tratar térmicamente y se inspeccionan ambas piezas.
3. Si la señal del Magnatest es diferente realiza un nuevo ajuste de máquina de inducción.
4. Si la señal en el Magnatest es similar o igual, se procede a cortar una de las piezas y la otra la deja como posible patrón ; el corte a la pieza se elabora en varias secciones, estas secciones son los puntos A, C, D y F tal como se muestra en la siguiente figura 2.1.



*Fig. 2.1 Zonas críticas del semieje.*

El procedimiento para iniciar la inspección de profundidad de capa es el siguiente :

## **2.1 Preparación de la pieza a analizar :**

Los pasos que se elaboran para la preparación de la pieza a analizar son:

- Cortar con esmeril en las secciones especificadas por la hoja de inspección..
- Matar los filos cortantes con una piedra abrasiva en el esmeril.
- Desbaste grueso: realizarlo en devastadora de altas revoluciones y con bastante refrigeración, para no quemar la pieza, utilizando una lija circular No. 120.
- Desbaste fino: pasar las muestras por las lijas abrasivas del No. 240, 320, 400 y 600 (girando la muestra 90 grados de su posición anterior con el fin de eliminar rayas).
- Enjuagar a chorro de agua y secar con aire las muestras.
- Realizar ataque químico con Nital (4-5% durante tres a cuatro segundos) para revelar la capa endurecida en cada una de las muestras.
- Enjuagar a chorro de agua y secar con aire las muestras.

## **2.2 Análisis de la profundidad de capa:**

- Colocar la muestra en el durómetro Rockwell (fig. 3.5, pág. 24) con la carga de la escala 15 N <sup>10</sup> (transformar la dureza de la profundidad de la capa de la hoja de inspección a 15 N) y realizar una o varias identificaciones hasta encontrar la dureza especificada en la hoja de inspección, hacerlo con cada una de las muestras.
- Inspeccionar la dureza superficial con 15 N en una de las muestras, transformando la lectura a dureza HRc <sup>11</sup>.

---

10. N: Newton, unidad de fuerza, 15 N fuerza aplicada por el Durómetro Rockwell.

11. HRc: escala de trabajo del Durómetro Rockwell.

- Con un vernier medir la profundidad de capa endurecida en cada una de las muestras y registrarlas en las solicitudes de análisis de tratamiento térmico por inducción, así como la dureza superficial obtenida.
- Probar la dureza del núcleo con la escala 15 N o HRb y posteriormente realizar la transformación a HRc y registrarla en las solicitudes de tratamiento térmico por inducción.
- Comparar los resultados obtenidos contra los especificados y tomar la decisión de aprobar o rechazar cuando no se requiera la microestructura.

### **2.3 Análisis de Microestructura.**

- Si la decisión es aprobada y se requiere la microestructura de la pieza el procedimiento es el siguiente: tomar una muestra y pulir a espejo haciendo pasar la superficie en un paño de billar giratorio y empleando como abrasivo alúmina (0.3 a 1.0 micrón).
  - Enjuagar con chorro de agua y secar con aire o papel.
  - Atacar con Nital al 4.5% durante 4.5 seg. para revelar la microestructura.
  - Colocar la muestra en el metaloscopio a 100x y observar la microestructura en la capa templada y en el núcleo. Anotar las observaciones microscópicas en la solicitud de análisis de tratamiento térmico por inducción y tomar la decisión de aprobar o rechazar.
5. Posteriormente se elabora una solicitud de análisis de tratamiento térmico por inducción y envía al laboratorio metalúrgico la pieza para su análisis de acuerdo a la hoja de inspección.
6. Si el resultado del análisis de tratamiento térmico por inducción es rechazado, la pieza que había quedado como patrón se recupera o se pinta de rojo y se desecha.
7. Si el resultado del análisis de tratamiento térmico por inducción es aprobado, se pinta de azul el patrón, inicia producción y libera la operación.

## CAPITULO III.

### *INSTRUMENTACION*

En el desarrollo del proyecto se emplearon varios instrumentos para elaborar las diferentes actividades.

Estos instrumentos fueron los siguientes :

#### **3.1 Magnatest :**

Este aparato mostrado en la figura 3.1 es un producto de Institut Dr. Forster, el cual tiene como función el inspeccionar algunas características de los metales magnéticos, tales como:

- a) dureza superficial.
- b) profundidad de capa.
- c) resistencia de materiales.
- d) mezcla de materiales.
- e) fisuras de materiales.

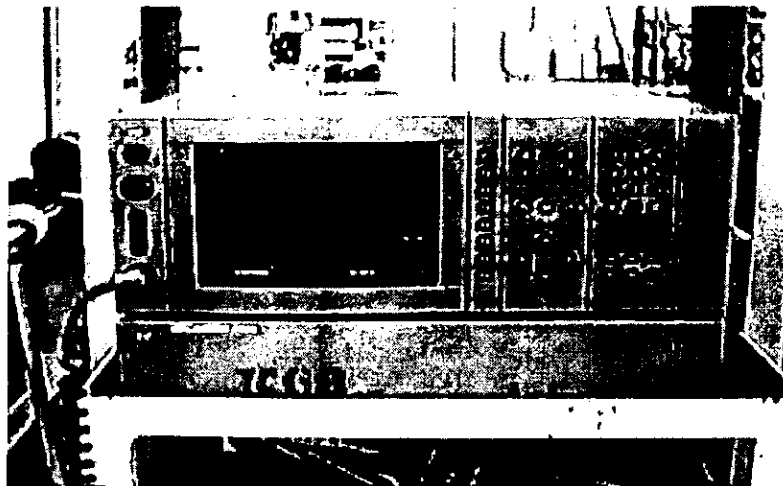


Figura 3.1 Aparato Magnatest.

Su funcionamiento consiste básicamente en generar corrientes de eddy las cuales son inducidas a una bobina, al introducir un material magnético dentro del campo magnético de la bobina se generará un flujo de corriente a través del material magnético, y esta corriente a su vez generará un campo magnético secundario que será detectado por el devanado secundario de la bobina, y finalmente esta señal de voltaje será la que procese el aparato; esta bobina puede ser de distintos tipos como:

- a) **Bobinas de baja frecuencia:** estas bobinas pueden ser cortas o normales, dependiendo la aplicación, son utilizadas para inspeccionar la resistencia y la profundidad de capa de los materiales.
- b) **Bobinas de alta frecuencia:** estas bobinas son utilizadas para inspeccionar dureza superficial de materiales.
- c) **Sensores o palpadores:** estas bobinas son utilizadas en zonas internas de algunas piezas o alguna zona en específico.

Una vez conectada la bobina se configura el equipo para operar a una frecuencia específica de acuerdo a la característica de que desea inspeccionar, en nuestro caso se configura una bobina corta de baja frecuencia a una frecuencia de 8 o 16 Hz.

El equipo cuenta con varias salidas de comunicación la cual puede establecer comunicación con PLC y puede operar de forma remota vía interface RS232. También cuenta con una **salida analógica** en la cual se obtiene la variación en tiempo real de la lectura de la bobina. Esta salida no es utilizada en la operación convencional.

### **Operación :**

A continuación se mencionan los pasos que se deben seguir para la utilización correcta de este instrumento ya que si no se siguen los pasos en su respectivo orden se puede dañar el instrumento o la bobina.

### **PASOS:**

1. Encender equipo con los botones 2 y 7 para el monitor y procesador.

2. Cargar el programa de acuerdo al modelo de semieje en memoria.
  - Cambiar a la página No. 1 y con el cursor seleccionar el programa que deseamos para trabajar y oprimir RECARGAR con F-8, esperar unos segundos mientras termina, cambiar a la página No. 5.
  - Colocar pieza de referencia en bobina y oprimir RECALIBRACION con F-6 y aparecerá una (Z) donde tenemos la referencia memorizada, después oprimir ADAPTACION con F -5 para ajustar la señal. Esperar unos segundos mientras termina y oprimir FIN RECALIB con F - 6.
  
3. BORRAR CALIBRACION EXISTENTE:
  - pasar a la página No.3 cambiar control por calibración oprimiendo F-1.
  - Oprimir nueva calibración dos veces con F-2 y borraremos el ajusta actual de la pantalla, mas no de la memoria.
  - Cambiar calibración por ajuste oprimiendo F-1.
  
4. REALIZAR UN NUEVO AJUSTE
  - Quitar parámetros oprimiendo F-4, añadir parámetros oprimiendo F-3 o modificar, posicionar el cursor en el valor de los Hz. Y con las teclas de incremento o decremento modificamos el valor.
  - Introducir patrón(S) nuevo en bobina (S)
  - Oprimir ADAP BOBINA dos veces con F-6 y esperar unos segundos mientras hace el calculo automático el equipo.
  - Oprimir ADAP ADC dos veces con F-7 y esperar nuevamente.<sup>12</sup>
  
5. REALIZAR CALIBRACION
  - Seleccionar la página No-5 con las teclas de avance de página y cambiar estado ajuste por calibración oprimiendo F-1.
  - Mover el cursor a la letra de prueba predeterminada y seleccionar la letra con las teclas de incremento o decremento para formar el o los primero(s) grupo(s).

---

12. Estos pasos son muy importantes el NO hacerlos puede implicar daños a la bobina o al equipo bastante severos ya que ajusta la corriente optima de operación de la bobina de acuerdo a la permeabilidad magnética y conductividad eléctrica del material.



- Colocar la primera pieza de calibración en bobina de prueba y activar función PROX. PIEZA con F-8 para memorizar la primera muestra si deseamos formar un segundo grupo cambiar otra letra, colocar diferente patrón y activamos F-8 nuevamente.<sup>13</sup>
- Memorizar una pieza de referencia para recalibrar las veces que sea necesaria y no perder la referencia, dejar pieza dentro de la bobina y oprimir MEM PIEZA REF con F-5. Dicha pieza se tendrá que guardar y marcar para no confundirla con algún otra muestra ya que con esta pieza recalibraremos cuando sea necesario hasta terminar la prueba.
- Cambiar a la página No.6 seleccionar GRUPOS MANUALES con F-8 automáticamente se formaran los recuadros.
- Con función ZOOM + determinar la ampliación máxima necesaria oprimiendo F-3, en la parte superior izquierda de la pantalla nos indica.
- Si deseamos modificar el tamaño de los recuadros en la misma página 6 con el cursor nos posicionamos en zide 1.....zide 4 y con las teclas de incremento y decremento cambiamos el tamaño.
- Terminado o modificados los recuadros cambiamos estado calibración por control para iniciar una inspección.

#### 6. ARCHIVAR UN PROGRAMA:

- Pasar a la página No. 2 con el cursor posicionarlo en DENOMIN. PIEZA en este renglón escribimos el nombre de la pieza de prueba o el numero de parte oprimiendo ENTER, solo permite escribir 10 dígitos.
- Movernos con el cursor al renglón de TIPO CONTROL por defaol nos da 4 tipos que son DUREZA SUP./ PROFUNDIDAD DE CAPA/ RESISTENCIA / MEZCLA DE MATERIAL/ con la tecla de incremento o decremento nos cambiamos de uno a otro. También podemos usarlo como leyenda extra para fácil identificación del programa escribiendo la palabra y tecleando ENTER permita 14 dígitos.

---

13. Si deseamos borrar o cambiar alguna letra de las memorizadas oprimir F-7.

- Cambiar a la página No. 1 con el cursor posicionarlo en un espacio en blanco y oprimir MEMORIZAC "PE" con F-6 y el programa quedara guardado con la descripción insertada. <sup>14</sup>

### 3.2 Grabadora analógica :

Este instrumento mostrado en la figura 3.3 se utilizó para poder almacenar las señales obtenidas de las diferentes pruebas realizadas.

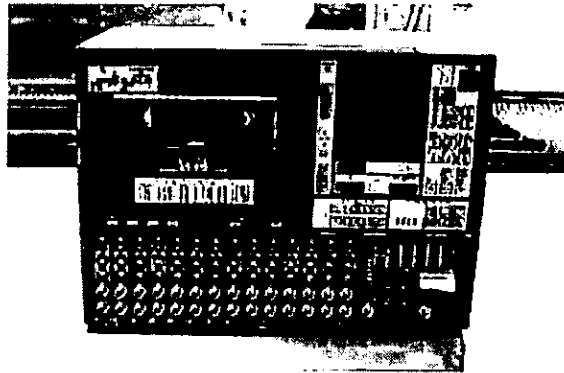


Figura 3.3 Grabadora analógica.

Este dispositivo cuenta con las siguientes características :

1. Cuenta con 14 canales, donde cada canal tiene una entrada y un puente para propósitos de ajuste.
2. Cuenta además en cada canal con un potenciómetro de alta precisión para el ajuste.
3. Utiliza una cinta tipo VHS Maxell T-120HGX para el uso de grabado y reproducción de señales.
4. Tiene un rango en las entradas de :  
 Rango Manual ( $\pm 0.1V$  a  $\pm 10V$ )  
 Rango automático ( $\pm 0.2$  a  $\pm 10V$ )
5. Tiene un ajuste automático a 0 V, pero puede cambiarse el ajuste a valores negativos o positivos.
6. Cuenta con un display para indicar los canales en uso, y los canales libres.

---

14. Todos los puntos antes mencionados son establecidos por los procedimientos del Sistema de Calidad QS-9000.

1. Ofrece un ancho de banda de grabación de 50kHz en DC.
2. La salida es de  $\pm 1-5V_p$  a  $\pm 10mA$ .
3. Cuenta con conector GP-IB, para establecer el control por medio de una PC.
4. Cuenta con tres rangos de velocidad disponibles :
  - a) alta velocidad XR-30H / XR-50H.
  - b) velocidad estándar XR-30 / XR-50.
  - c) baja velocidad XR-30L / XR-50L.
11. Peso de 22Kg (48.5lbs).

Para mayor información, referirse al manual TEAC XR-310/510 y TEAC data recorders '91.

### 3.3 Analizador de señales :

El analizador de señales tipo 2034 mostrado en la figura 3.4, consta de dos canales en el cual se puede medir y mostrar 34 diferentes dominios de tiempo, dominios de frecuencia y funciones estadísticas.

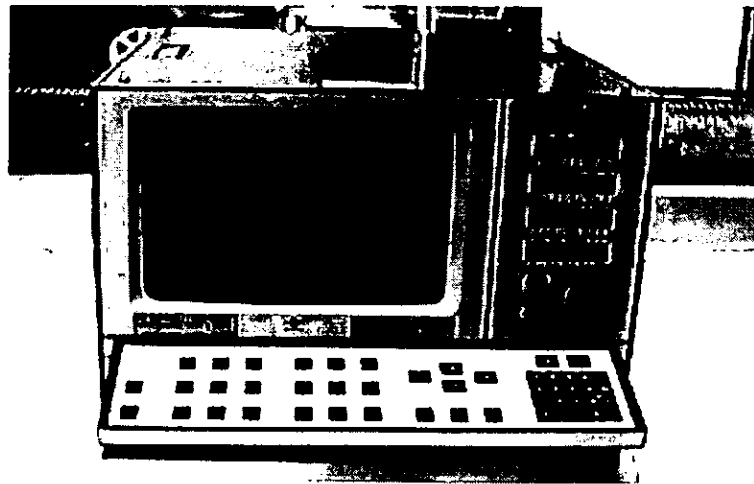


Figura 3.4 Analizador de señales

Puede elaborar las siguientes mediciones :

- Medir tiempo real en ambos canales.
- Medir tiempo real dos señales a la vez.
- Medir densidad de probabilidad.
- Medir espectro de una señal instantánea, en canal A o B.
- Autocorrelación en ambos canales.
- Otras.

La resolución del analizador 2034 en rango de frecuencias es de 801 líneas con un ancho de banda de 1.56 Hz a 25.6 KHz. Las señales analizadas pueden ser representadas de diferentes funciones como :

- Señal en términos reales.
- Señal en términos imaginarios.
- Señal en términos complejos.
- Señal en términos de magnitud.
- Señal en términos de fase.
- Señal en función de Nyquist.
- Señal en función de Nichols.

Especificaciones generales :

1. Entrada preamplificada, (-3 dB con 3 Hz nominales)
2. Entrada de acelerómetros : vía TNC.
3. Entrada directa : vía BNC con impedancia de  $1M\Omega//100pF$ .
4. Máximo pico de voltaje en entrada : 28 rangos de 15mV a 100V.
5. Entrada auto rango en ambos canales.
6. Filtros paso-bajo : .1dB a 6.4KHz.
7. Calibración : en unidades U, o en volts V.
8. Anotación de calibración : V/V, V/unidades, V/Pa,  $V/m/s^2$  , V/m/s, V/m, V/g, V/in/s, unit/V.
9. otras.

Para mayor información sobre el analizador de señales 2034 referirse al manual de Instrucción Vol. 2.

### 3.4 Durómetro Rockwell

Este instrumento mostrado en la figura 3.5, se utiliza para obtener la resistencia de un material, esto es aplicándole una herramienta aguda o con punta al material a inspeccionar.

Las mediciones de grado de dureza Rockwell se realiza fácil y rápidamente, el número o índice de dureza se lee de manera directa en la carátula del durómetro. A continuación se muestra la figura del durómetro Rockwell :

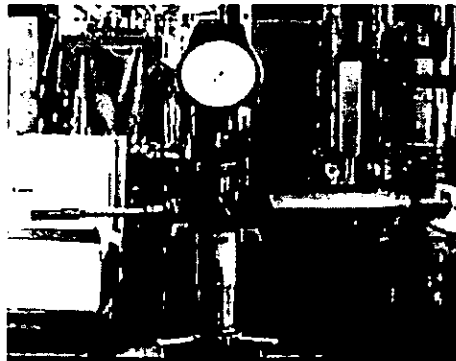


Fig.3.5 Durómetro Maxwell, escala Rockwall C.

Las escalas de dureza Rockwell se designan con A, B, C,...etc. Los penetradores o elementos de penetración se numeran como 1, 2 o 3, y la carga aplicada es de 60, 100 o 150 Kgf.

La escala Rockwell C (simbolizada por Rc) utiliza un cono de diamante, que se considera como un penetrador Núm.1 y la carga aplicada en de 150 Kgf. Los índices de dureza así obtenidos son relativos. Por consiguiente, una dureza de  $R_c = 50$  tiene significado solo en relación a otro índice de dureza que se refiere a la misma escala.

### 3.5 Plotter :

Este dispositivo se utilizó para poder imprimir las señales primeramente grabadas en la grabadora analógica y posteriormente analizadas en el analizador de señales. Estas impresiones se encuentran en los anexos 1 ,2 y 3.

A continuación se muestra la figura 3.6 del dispositivo :

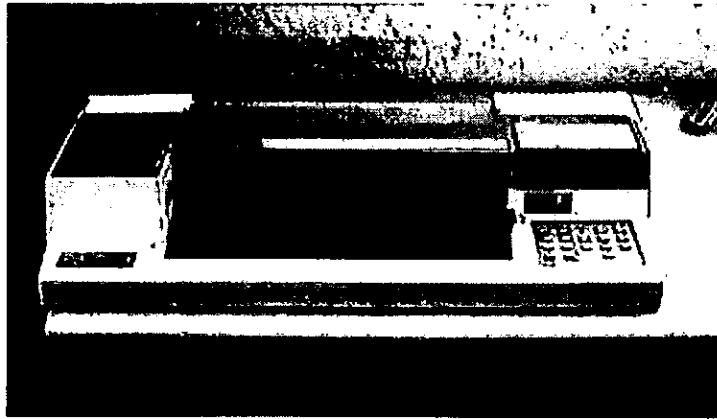


Figura 3.6 Plotter

### 3.6 Bancos de escaneo :

Los bancos de escaneo que se utilizaron en el desarrollo de pruebas fueron : un banco horizontal y un banco vertical. Sus características son las siguientes :

- a) **Banco Horizontal :** es un banco de pruebas que comúnmente utilizan para enderezado de semiejes, se elaboraron algunas modificaciones para sujetar la bobina, este soporte sujeta la bobina de manera tal que tenga un movimiento lineal generando así un recorrido a todo el perfil del semieje. Por otro lado se tienen uno de extremos que sujetan al semieje fijo, para poder tener estático el semieje durante el escaneo. El otro punto también se tiene fijo pero con opción a moverse, esto es para cuando se requiera escanear otro modelo de semieje, con otra longitud básicamente. A continuación se muestra en la figura 3.7 el banco de pruebas horizontal :

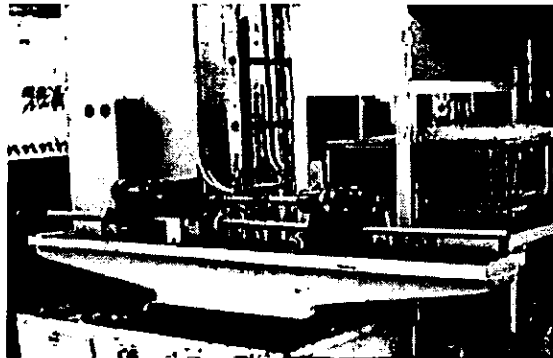


Figura 3.7 Banco de escaneo horizontal.

b) **Banco Vertical** : este banco es parte del escáner de una máquina de inducción para semiejes, el cual tiene opciones para ajustar diferentes dimensiones de semiejes, este banco esta controlado por un sistema servo-eléctrico marca Siemens, que a su vez esta controlado por un control lógico programable (PLC), para definir la velocidad de desplazamiento así como la longitud que recorrerá la bobina. A continuación se muestra parte del escáner en la siguiente figura 3.8 el banco de pruebas vertical :



Figura 3.8 Banco de escaneo vertical.

### 3.7 Convertidor de señal AC / DC :

El hecho de utilizar el convertidor de señales es para poder analizar el comportamiento de la señal mostrando una línea continua y no una alterna, que es lo que se obtiene con una señal AC. Los elementos que integran el convertidor son los siguientes :

1. Puente rectificador de señal.
2. Capacitor de 66 microfaradios a 25 volts.
3. Resistencia de 23.2 Kohms.

## AUTOMATIZACION

La automatización consiste principalmente en el poder inspeccionar todo el semieje y no solo en las partes críticas que especifican las hojas de inspección. Para poder elaborar esta automatización se requirió de un dispositivo que moviera la bobina a lo largo del semieje (banco vertical, fig. 3.8, pág. 26), una vez que se tiene el movimiento de la bobina se pasa a procesar la señal analógica que proporciona el Magnatest (fig. 3.1, pág. 17), esta señal se introduce a una tarjeta de adquisición de datos (mod. PC-LPM-16) de la marca National Instruments.<sup>15</sup>

Esta tarjeta será configurada mediante el software LabView de National Instruments, mismo en el cual será desarrollado el programa correspondiente para la aplicación, y poder así tener el manejo y manipulación de la señal del Magnatest. La programación de este software es mediante instrumentos virtuales, donde podemos elaborar un gran número de operaciones y cálculos a las señales que procesa, por ejemplo, para esta señal se puede obtener el valor RMS<sup>16</sup> en un punto, en un ciclo o en un periodo.

Otro punto que se obtiene a partir de la automatización es que se puede llevar un historial de la producción mediante la elaboración de una base de datos, así mismo con la tarjeta y con programación se puede retroalimentar al PLC de la máquina de inducción.

Cabe mencionar que el control del dispositivo de movimiento de la bobina puede ser autónomo mediante un PLC, o puede ser mediante National Instruments, esto con la tarjeta de adquisición, ya que cuenta no solo con entradas sino también con salidas que pueden ser incorporadas al PLC y establecer un control remoto desde la PC.

La tarjeta cuenta con los siguientes tipos de entradas y salidas:

- entradas digitales.
- entrada 0 a 12 VDC.
- entrada 0 a 10 VAC.
- salidas de 5 a 24 VDC.

---

15. Si se desea más información referirse al Manual PC-LPM-16 de National Instruments.

16. RMS: valor promedio entre un máximo y un mínimo.



## CAPITULO IV.

### *PRUEBAS Y RESULTADOS*

El diseño de experimentos consistió en elaborar pruebas con diferentes modelos de semiejes. Observando así el comportamiento de los mismos en diferentes zonas. Esto generó una diferencia considerable al estar manejando varios modelos, de aquí surge la necesidad de elaborar pruebas con semiejes de un mismo modelo pero con diferentes profundidades de capa.

Las pruebas se elaboraron utilizando ambos bancos de inspección (horizontal y vertical), estos bancos contienen contrapuntos para poder sujetar el semieje, y así, poder pasar de un extremo a otro la bobina para inspeccionar el semieje. Estos puntos fueron elaborados de dos materiales diferentes para observar si existe diferencia en la señal que se obtiene en el inspección, posteriormente serán mostradas estas diferencias, estos dos materiales fueron :

- a) Acero S.A.E. 1045.
- b) Acero inoxidable.

El modelo que se seleccionó para elaborar las pruebas fué el OPEL L.I. Automático que se muestra en la figura 4.1, y estos semiejes fueron elaborados bajo las siguientes características :

LADO RF

LADO GI

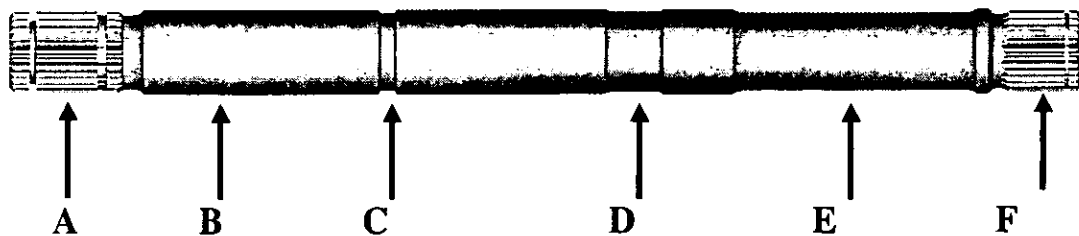


Figura 4.1 Semieje Modelo Opel (lado izquierdo), automático.

- a) **Semiejes con capa muy baja** : esto consiste en modificar el programa de la máquina de inducción, esto consiste en incrementar la variable de velocidad del tal modo que casi no se le aplica tratamiento térmico al semieje.
- b) **Semiejes con capa media baja** : esto se generó con el mismo principio de la condición anterior solo que aquí la velocidad no se incrementó tanto, pero aun sigue difiriendo de la velocidad standard.
- c) **Semiejes con capa Ok** : para este semieje simplemente se tomaron de la línea de producción y se checaron en forma convencional con el Magnatest (inspección solamente en las puntas de estriado del mismo).
- d) **Semiejes con capa poco alta** : el procedimiento para generar este tipo de semiejes fue similar al proceso de capa media baja, solo que se invierte la velocidad, de tal manera que retarda el tiempo de inducción, generando así una mayor profundidad de capa en el material.
- e) **Semiejes con capa media alta** : el procedimiento es el mismo pero la velocidad es aun menor que la anterior, provocando así una penetración de capa casi hasta el centro.
- f) **Semiejes con capa Rf alta, Gi baja** : el procedimiento que se lleva a cabo para generar este tipo de semiejes consiste en variar las velocidades del inductor, primero generan un retardo de la velocidad del inicio Rf durante un periodo de tiempo y después generan una aceleración al final Gi para provocar así una inconsistencia en la profundidad de capa.
- g) **Semiejes con capa Gi alta, Rf baja** : el procedimiento es inverso al anterior, generan una aceleración en el inicio Rf y después un retardo en el final Gi.

Una vez definidos los semiejes con diferentes condiciones de profundidad de capa, se elaboraron diferentes experimentos que a continuación mencionaremos :

## 4.1 INSPECCIONÓ MANUAL

En este experimento se elaboraron pruebas con el banco horizontal y el movimiento de la bobina fue manual, se desarrollaron algunas pruebas que a continuación mencionamos :

### 4.1.1 PRUEBAS PUNTUALES.

En esta prueba se utilizaron los semiejes antes mencionados y bajo las siguientes características:

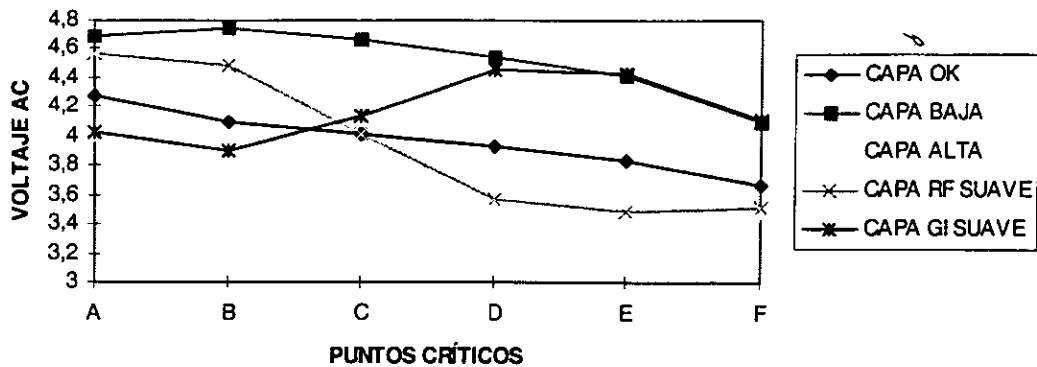
1. Se elaboró una **inspección manual** situando la bobina en algunos puntos críticos como lo muestra la figura 4.1.
2. La frecuencia de alimentación de la bobina fue de **8 Hz**.
3. El inspección se llevó a cabo en **banco horizontal**.
4. Se obtuvo el voltaje AC de la salida analógica del Magnatest.

A continuación se muestra una tabla donde se comparan los valores de voltajes obtenidos con las diferentes condiciones de semiejes en los puntos críticos:

<b>SEMIEJE</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<b>CAPA OK</b>	4.27	4.09	4.01	3.93	3.83	3.66
<b>CAPA BAJA</b>	4.69	4.74	4.66	4.53	4.41	4.09
<b>CAPA ALTA</b>	4.01	3.74	3.62	3.53	3.47	3.49
<b>CAPA RF SUAVE</b>	4.56	4.48	4.01	3.57	3.48	3.51
<b>CAPA GI SUAVE</b>	4.02	3.90	4.13	4.45	4.42	4.11

Los valores obtenidos se presentan en la siguiente gráfica 1 para obtener una mejor visualización :

### GRAFICAS DE PUNTOS CRÍTICOS



Gráfica 1, se observa como varia el voltaje en las diferentes condiciones del semieje, se puede observar como el semieje de capa baja tiene un voltaje mayor, y el semieje de capa alta tiene un voltaje menor, y el de capa Ok se encuentra entre los dos.

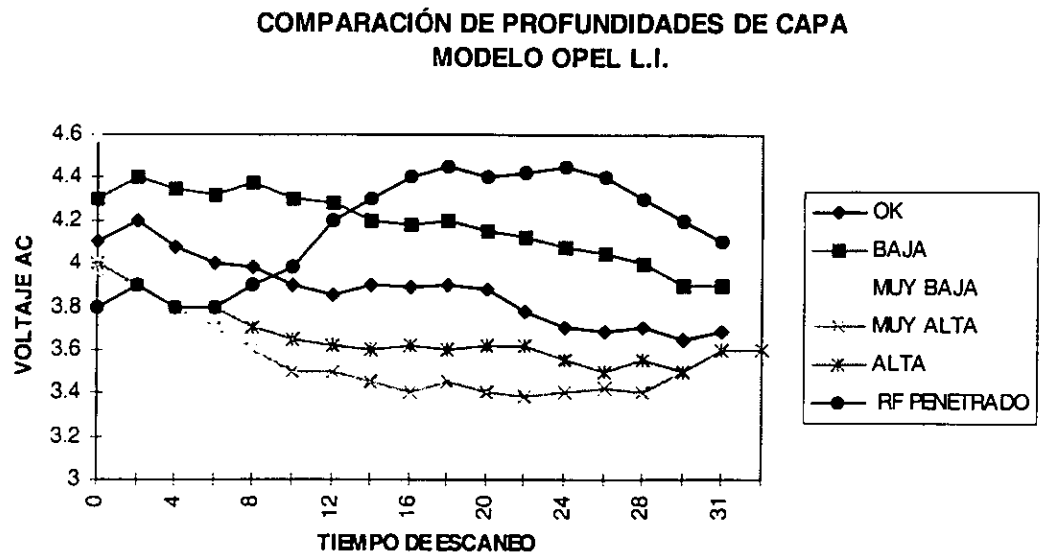
#### 4.1.2. PRUEBAS MULTIPUNTUALES

Las pruebas elaboradas en este experimento fueron con las siguientes características:

1. **Inspección manual** simulando un desplazamiento y procurando tener una velocidad constante.
2. Se inició el inspección del lado Rf a Gi.
3. El tiempo de inspección fue de 30 segundos aproximadamente.
4. La frecuencia de alimentación de la bobina fue de **8 Hz**.
5. El inspección se llevó a cabo en el banco horizontal.
6. Se trabajó con el voltaje AC de la salida analógica del Magnatest.
7. Este voltaje fue almacenado en una grabadora analógica (figura 3.3).
8. Una vez almacenada la señal se paso a analizarla en un analizador de señales y allí se ajustó para tener una mejor definición (figura 3.4).
9. Finalmente se paso a imprimir la señal en un plotter (figura 3.6).

Bajo estas condiciones de ajuste de los parámetros se obtuvo una variación en tiempo de inspección y en el desplazamiento ya que manualmente no se puede establecer un patrón de trabajo. A continuación se

muestra la gráfica 2 que se elaboró tomando los picos de la señal de AC de las gráficas originales :



Gráfica 2, comparación de los diferentes semiejes escaneados manualmente, gráficas elaboradas tomando un muestreo de 18 puntos para cada condición. Ver gráficas originales en el anexo 1.

En estas gráficas se puede observar la relación de voltaje contra tiempo de inspección. A partir de esto se puede tener una correlación de voltaje contra milímetros de profundidad de capa y de tiempo contra la distancia del semieje. También se puede observar que se tiene la siguiente relación:

**A MAYOR PROFUNDIDAD DE CAPA, MENOR VOLTAJE Y  
A MENOR PROFUNDIDAD DE CAPA, MAYOR VOLTAJE**

#### 4.1.3 PRUEBAS PUNTUALES CON PUNTAS DE SOPORTE DE ACERO INOXIDABLE.

Esta prueba se elaboró a partir de observar el comportamiento del inspección del semieje si se le aísla en sus extremos, esto es cambiando las puntas que sujetan al semieje a un material aislante al campo magnético que

induce la bobina, de aquí parte la necesidad de elaboraron puntas de acero inoxidable.

Disponiendo con las puntas de acero inoxidable se paso a elaborar las pruebas correspondientes con las siguientes especificaciones:

1. Se elaboró un **inspección manual** situando la bobina en puntos críticos como lo muestra la figura 4.1.
2. La frecuencia de alimentación de la bobina fue de **8 Hz**.
3. El inspección se llevo a cabo en **banco horizontal** (figura 3.7).
4. Se obtuvo el voltaje AC de la salida analógica del Magnatest.
5. Pruebas con puntas de acero inoxidable.

Bajos esta especificaciones obtuvieron los siguientes resultados:

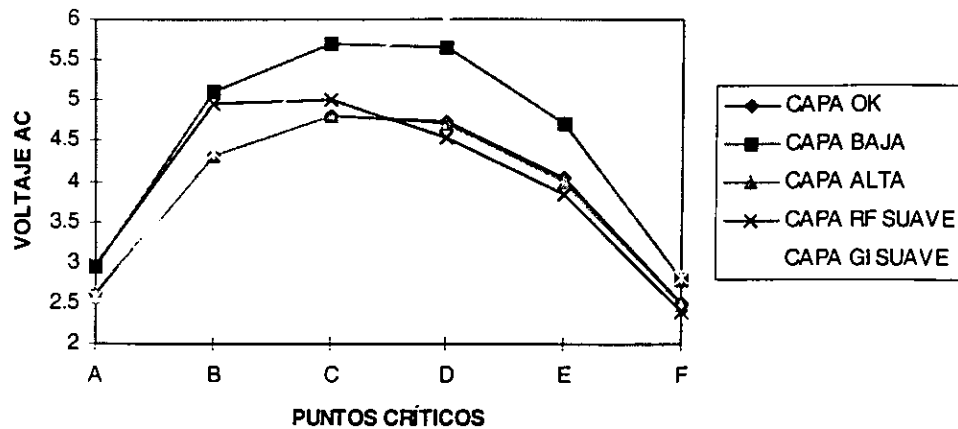
<b>SEMIEJE</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<b>CAPA OK</b>	2.63	4.32	4.8	4.74	4.03	2.5
<b>CAPA BAJA</b>	2.95	5.1	5.7	5.64	4.7	2.8
<b>CAPA ALTA</b>	2.64	4.3	4.8	4.72	4	2.47
<b>CAPA RF SUAVE</b>	2.98	4.95	5	4.54	3.83	2.4
<b>CAPA GI SUAVE</b>	2.56	4.35	5.4	5.97	5.05	2.83

Como se puede observar estos resultados no tienen mucha relación, ya que por ejemplo en el caso de los semiejes variados (RF suave, Gi duro y Rf duro, Gi suave) se tiene muy poca diferencia en el voltaje en los extremos A y F, siendo que tienen un tratamiento térmico contrario.

Estos se debe a que el campo magnético no es uniforme en los extremos, a diferencia en el centro que se tiene una compensación en el campo magnético.

Para tener una mejor ilustración de los resultados obtenidos se elaboró una gráfica (gráfica 4.3) donde se comparan las diferentes condiciones de los semiejes con las puntas de acero inoxidable:

## GRAFICAS CON PUNTAS DE ACERO INOXIDABLE



Gráfica 4.3, gráficas obtenidas de los valores obtenidos en es inspección manual, se puede observar como existe una muy pequeña diferencia de voltaje en los extremos de las diferentes condiciones de semiejes.

## 4.2 INSPECCION AUTOMÁTICO .

Después de haber desarrollado pruebas con un inspección manual y de haber probado diferentes puntas para sujetar al semieje. Se tiene la necesidad de dejar como constante tanto el desplazamiento y la velocidad de inspección, ya que no se puede establecer exactamente un punto en relación a otro, también se elaboraron pruebas pero ahora en el banco vertical (figura 3.8).

### 4.2.1. PRUEBAS CON INSPECCION AUTOMATICO.

A partir de esta necesidad se elaboraron pruebas en un escáner automático donde se pueda tener siempre un desplazamiento y una velocidad constante (11.41mm/seg).

Esta velocidad fue calculada con la siguiente fórmula :

$$v = d / t$$

d = distancia del semieje.

t = tiempo que tarda el inspección.

Esta velocidad puede variar de acuerdo a la frecuencia de operación y al sistema de desplazamiento de la bobina, ya que tenemos una velocidad angular que directamente incrementará o decrementará la velocidad lineal según sea el caso, como lo muestra la siguiente fórmula :

$$v = w * r_{\text{paso}}$$

$w$  = velocidad angular (rev/seg) =  $2 \pi f$

$r_{\text{paso}}$  = radio del paso.

Con esta fórmula se puede obtener la velocidad lineal óptima de desplazamiento de la bobina para poder así minimizar el tiempo de inspección, ahora lo único que hay que tomar en cuenta es el radio del paso que será dado por el tipo de actuador lineal o sistema que se utilice para el desplazamiento.

Como no se tiene aún definido el tipo de actuador a utilizar, se elaboraron pruebas con la velocidad ya antes mencionada (11.41mm/seg) y se ajustaron los siguientes parámetros :

1. **Inspección automática** teniendo un desplazamiento y una velocidad constantes.
2. Se inició el inspección del lado Rf a Gi.
3. El tiempo de inspección fue de 30 segundos.
4. La frecuencia de alimentación de la bobina fue de **8 Hz**.
5. El inspección se llevó a cabo en un banco vertical (figura 3.8).
6. Se empleo un convertidor de AC/DC para trabajar con voltaje DC.
7. Este señal DC fue almacenado en una grabadora analógica (figura 3.3).
8. Una vez almacenada la señal se pasó a analizarla en un analizador de señales (figura 3.4) y allí se ajustó para tener una mejor definición.
9. Finalmente se pasó a imprimir la señal de cada condición en el plotter (figura 3.6).

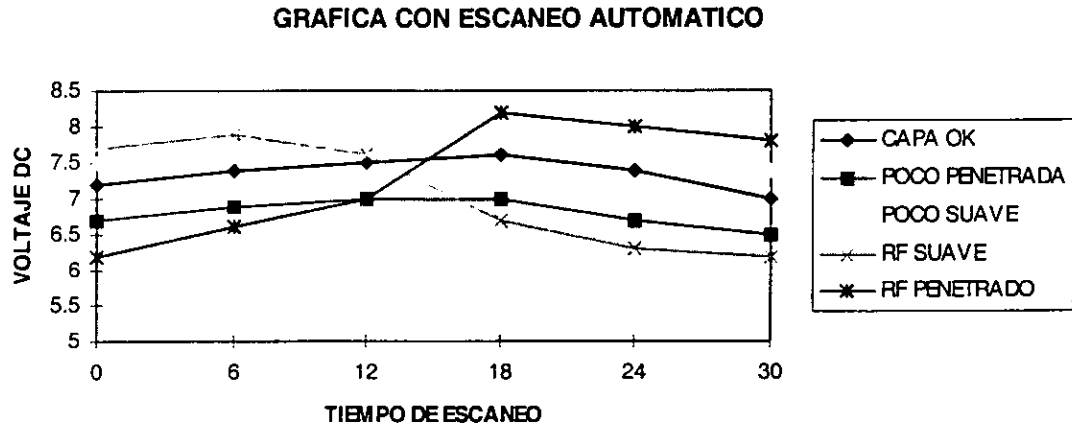
El cambio de comenzar a utilizar voltaje DC en vez de AC fue que existe la ventaja de poder observar una línea continua de voltaje correspondiente al perfil de la profundidad de capa. Para así poder tener una



comparación más clara entre las diferentes condiciones de los semiejes antes mencionados.

La velocidad que se programó al sistema de desplazamiento fue de 11.41mm/seg, y un desplazamiento de 351.4mm. Esta velocidad fue calculada para que el inspección se elabore en 30 segundos.

En este experimento se obtuvieron las gráficas de todos los perfiles de los semiejes con las diferentes condiciones. Para una mejor ilustración se elaboró una gráfica para comparar las diferentes condiciones de profundidad de capa de los semiejes con las especificaciones antes mencionadas. A continuación se muestran las gráficas de cada condición muestreando varios puntos de las gráficas originales :



Gráfica 4.4, aquí se puede observar como existe mayor linealidad en la señal, aún considerando que las gráficas son elaboradas con un muestreo de las gráficas originales, se puede observar como existe la misma tendencia que en la gráfica 4.1.

Ver gráficas originales en Anexo 2.

#### 4.2.2 PRUEBAS CON SEMIEJES DEFECTUOSOS.

Después de haber elaborado las pruebas anteriores y obtener los resultados ya analizados, surge la necesidad de robustecer más el modelo.

Esta necesidad surgió a partir de una junta que se tuvo con usuarios del área de Calidad, Producción e Ingeniería; para poder tener el alcance del proyecto y las ventajas que este proporciona. Con esta necesidad se mandaron

fabricar más semiejes con distintos defectos que en ocasiones se tienen en producción, con las siguientes características:

- a) **Semiejes Quemados** : consiste en que al momento de aplicar el tratamiento térmico se interrumpe el enfriamiento mediante una mezcla de agua con solvente que será la que genera la dureza en la pieza y también influye en que el calor no se concentre en el centro.
- b) **Semiejes con Temple Interrumpido** : esto es provocado cuando existe una falla del inductor o de la máquina de temple y deja un momento de inducir campo magnético en una zona, esta zona puede ser de apenas unos milímetros o de varios centímetros.
- c) **Semiejes con Calor Difundido** : esta condición es muy parecida al de semieje quemado ya que también se genera por falta o falla de la ducha durante el proceso de inducción.
- d) **Semiejes con capa excéntrica** : esta condición se genera por dos factores principalmente, el primero es cuando en el maquinado del semieje no se maquinó correctamente los barrenos de centro, esto provoca que al momento de sujetar el semieje para aplicarle el tratamiento térmico el semieje se pandee y esto produce que el tratamiento térmico no sea uniforme y este variando la profundidad de capa en distintas zonas ; la segunda es cuando el inductor esta cargado hacia un lado o no esta bien ajustado.
- e) **Semiejes con Zona Penetrada** : esta condición se genera cuando la máquina de inducción tiene una falla y esto produce un retardo en el recorrido de aplicación de temple y produce que en una zona la cual varia en dimensión se aplique una capa mucho mayor a la convencional.
- f) **Semiejes con Variación en la Terminación de Temple** : este defecto puede ser de dos formas :
  - Terminación larga* : cuando la máquina de inducción aplica tratamiento térmico más allá de la ranura donde se colocan los seguros.
  - Terminación corta* : cuando la máquina de inducción aplica tratamiento térmico un poco antes de la misma ranura.

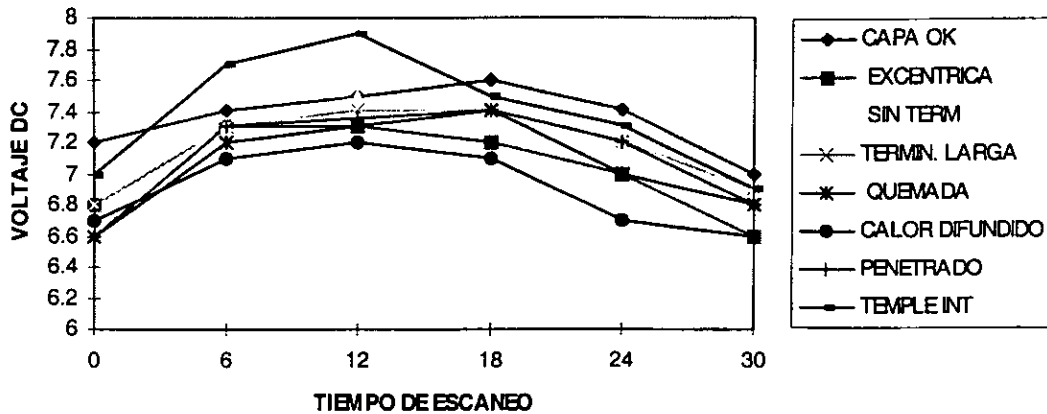
Una vez elaborados dichos semiejes se paso a elaborar las pruebas respectivas bajo las siguientes especificaciones:

1. **Inspección automático** teniendo un desplazamiento y una velocidad constante (11.41mm/seg).
2. Se inició el inspección del lado Rf a Gi.
3. El tiempo de inspección fué de 30 segundos.
4. La frecuencia de alimentación de la bobina fué de **8 Hz**.
5. El inspección se llevó a cabo en un banco vertical (figura 3.8).
6. Se empleó un convertidor de AC/DC para trabajar con voltaje DC.
7. La señal de DC fué almacenado en una grabadora analógica (figura 3.3)
8. Una vez almacenada la señal se pasó a analizarla en un analizador de señales (figura 3.4) y allí se ajustó para tener una mejor definición.
9. Finalmente se pasó a imprimir la señal de cada condición en un plotter (figura 3.6).

El procedimiento de el desarrollo de las pruebas fue exactamente el mismo que el anterior. Se obtuvieron las gráficas de cada semieje respectivamente de acuerdo a las variaciones que se le aplicó en el tratamiento térmico.

Se elaboró una gráfica 4.5 con fines de establecer la relación que tienen las diferentes condiciones de semiejes.

### ESCANEO AUTOMÁTICO



\* Gráfica 4.5, aquí se comparan las condiciones antes mencionadas y se puede observar que únicamente las condiciones de temple interrumpido, calor difundido, capa excéntrica y variación en terminación se puede identificar mediante el cambio de voltaje.  
Ver gráficas originales en el anexo 3.

Los resultados de estas pruebas no fueron tan satisfactorios como en las anteriores, ya que en estas no se tiene tanta diferencia. Excepto en los casos de semiejes de temple interrumpido y el de calor difundido, que es donde se notó más variación con respecto al semieje Ok.

#### 4.2.3 PRUEBAS CON DIFERENTES FRECUENCIAS

La última prueba que se desarrolló consiste en tomar un semieje y elaborar pruebas variando la frecuencia de alimentación de la bobina. El semieje que se empleó para elaborar esta prueba fue el semieje con capa Rf suave Gi penetrado.

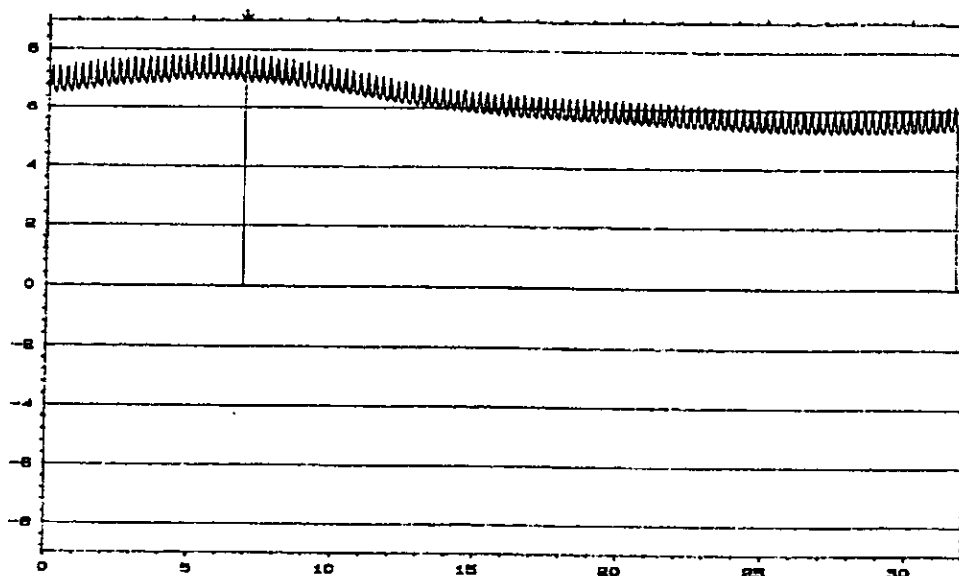
Las condiciones para elaborar esta prueba fueron las siguientes:

1. **Inspección automático** teniendo un desplazamiento y una velocidad constante (11.41mm/seg).
2. Se inició el inspección del lado Rf a Gi.
3. El tiempo de inspección fue de 30 segundos.
4. El inspección se llevó a cabo en un banco vertical (figura 3.8).
5. Se empleó un convertidor de AC/DC para trabajar con voltaje DC.

6. Esta señal de DC fué almacenado en una grabadora analógica.
7. Una vez almacenada la señal se pasó a analizarla en un analizador de señales y allí se ajustó para tener una mejor definición.
8. Finalmente se pasó a imprimir la señal de cada condición.
9. Las frecuencias que se estuvieron utilizando para esta prueba fue de:

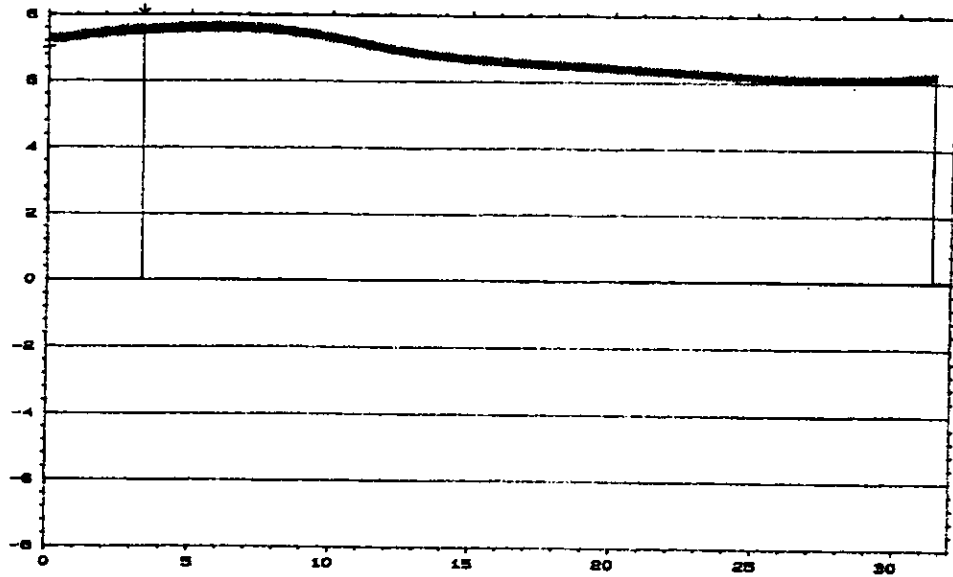
- a) Frecuencia de 4 Hz.
- b) Frecuencia de 8 Hz.
- c) Frecuencia de 16 Hz.
- d) Frecuencia de 32 Hz

Las gráficas correspondientes a las distintas frecuencias de operación quedaron como se muestra en las siguientes gráficas :



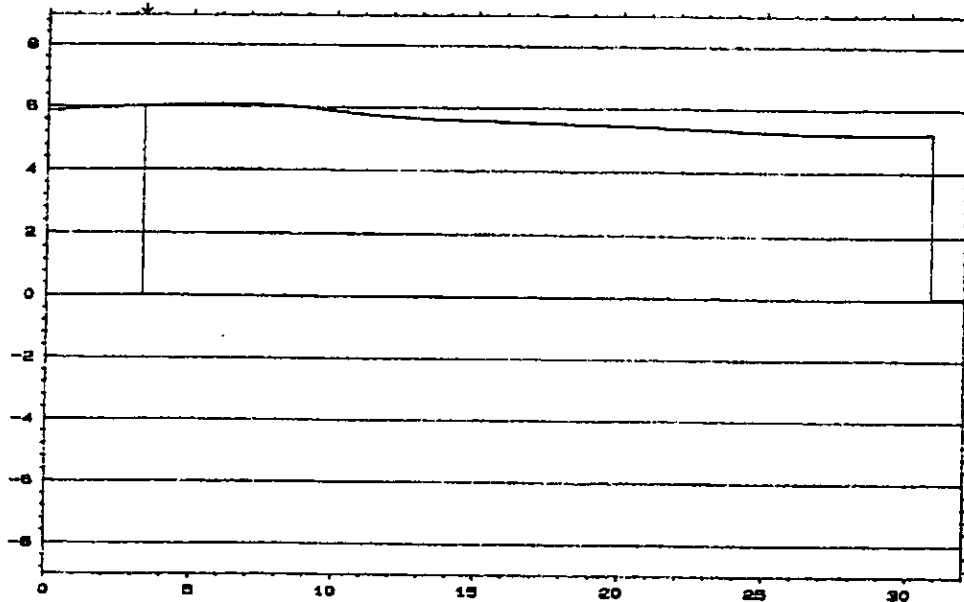
#### Frecuencia de 4 Hz.

Gráfica 4.6. esta gráfica representa la señal del Magnatest alimentado a una frecuencia de 4 Hz. A través de la conversión de AC/DC, está señal fué almacenada en la grabadora analógica y analizada en el analizador de señales y posteriormente impresa en plotter.



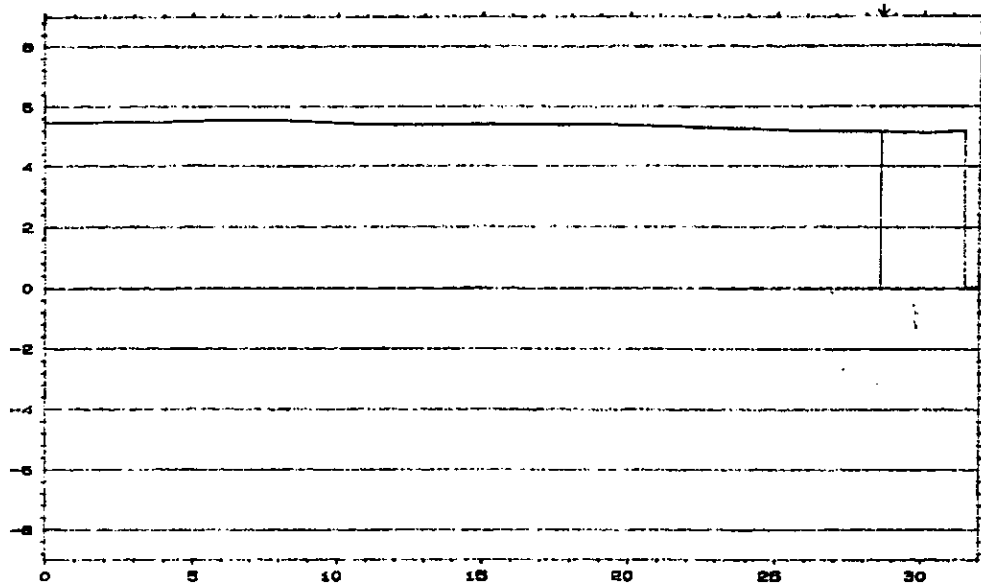
### Frecuencia de 8 Hz.

Gráfica 4.7. esta gráfica representa la señal del Magnatest alimentado a una frecuencia de 8 Hz. A través de la conversión de AC/DC, esta señal fué almacenada en la grabadora analógica y analizada en el analizador de señales y posteriormente impresa en plotter.



### Frecuencia de 16 Hz.

Gráfica 4.8. esta gráfica representa la señal del Magnatest alimentado a una frecuencia de 16 Hz. A través de la conversión de AC/DC, esta señal fué almacenada en la grabadora analógica y analizada en el analizador de señales y posteriormente impresa en plotter.



### Frecuencia de 32 Hz.

Gráfica 4.9, esta gráfica representa la señal del Magnatest alimentado a una frecuencia de 32 Hz. A través de la conversión de AC/DC, esta señal fue almacenada en la grabadora analógica y analizada en el analizador de señales y posteriormente impresa en plotter.

Una vez hechas estas pruebas se puede observar que la frecuencia ideal está entre la de 8 y 16 Hz como lo muestran las gráficas. Aun cuando la de 4 Hz se tiene una variación mayor de la de 8 y 16 Hz, pero la señal tiene mucho ruido o distorsión. Por otro lado la de 32 Hz no mostró diferencia en el comportamiento de la profundidad de capa.

A partir de esto se puede eliminar tanto la frecuencia de 4 y 32 Hz por las razones mencionadas. Y se determina también que la frecuencia idónea para este proyecto fue de 8 ó 16 Hz..

#### 4.2.4. CORTE DE LOS DIFERENTES SEMIEJES

Una vez elaborados los diferentes experimentos con sus respectivas pruebas cada uno. Se vio la necesidad de efectuar un corte transversal a cada uno de los semiejes que intervinieron en las pruebas.

Este corte se hizo hasta el centro del semieje, esto para poder observar la profundidad de capa real que tiene el semieje. El procedimiento para poder observar la profundidad de capa fué el mismo que se mencionó anteriormente.

Una vez obtenida la profundidad de capa de cada semieje se tomaron fotografías a algunos de ellos que a continuación mostramos :



Figura 4.10. Semieje con profundidad de capa Rf penetrado(capa alta), Gi suave(capa baja),



Figura 4.11. Semieje con profundidad de capa Gi penetrado(capa alta), Rf suave(capa baja)

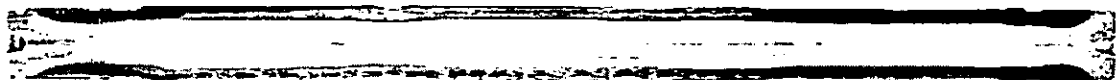


Figura 4.12. Semieje con profundidad de capa Ok (capa entre 3.5mm y 5.0mm)

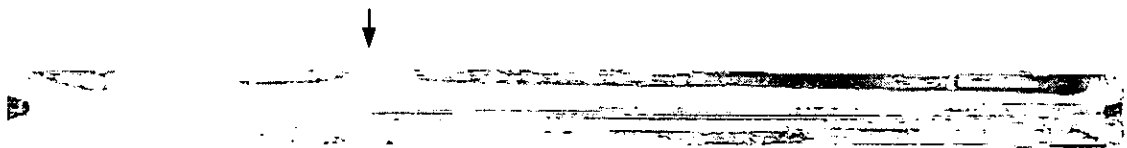


Figura 4.13. Semieje con temple interrumpido, donde señala la flecha.



Figura 4.14. Semieje con zona penetrada, es decir, zona donde tiene capa muy alta, donde señala la flecha.

Estas ilustraciones muestran los diferentes comportamientos de profundidad de capa generados a partir de un proceso de tratamiento térmico diferente para cada caso. Cabe mencionar que solo fotografiaron los semiejes que les reveló más la profundidad de capa, ya que los semiejes restantes que



se utilizaron para las pruebas no tuvieron una revelación tan notable, de allí el solo poner las anteriores.

Después de haber elaborado este procedimiento en algunos semiejes que se utilizaron en los experimentos. Se procedió a obtener la longitud de profundidad de capa en varios puntos del semieje como se muestra en la siguiente figura:

LADO RF

LADO GI

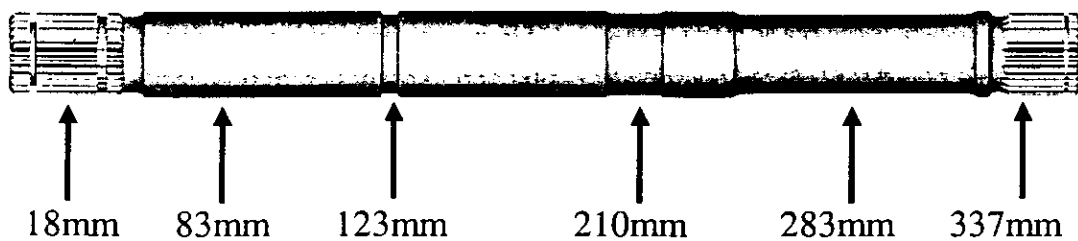
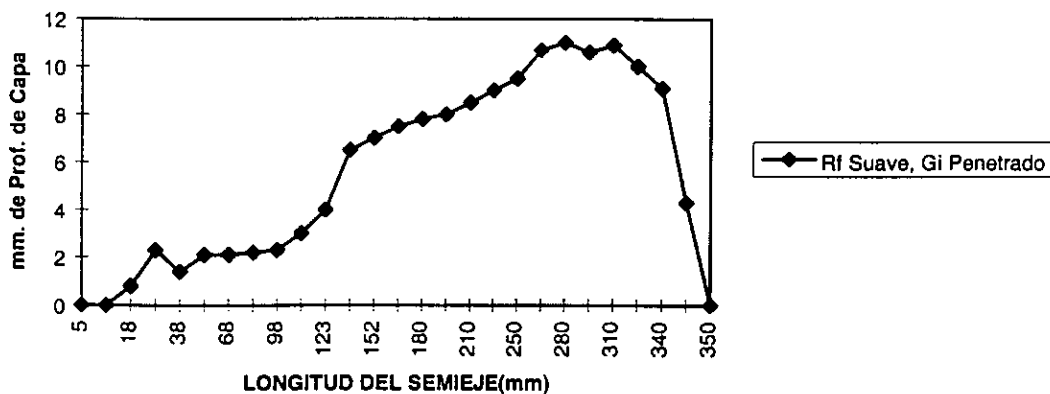


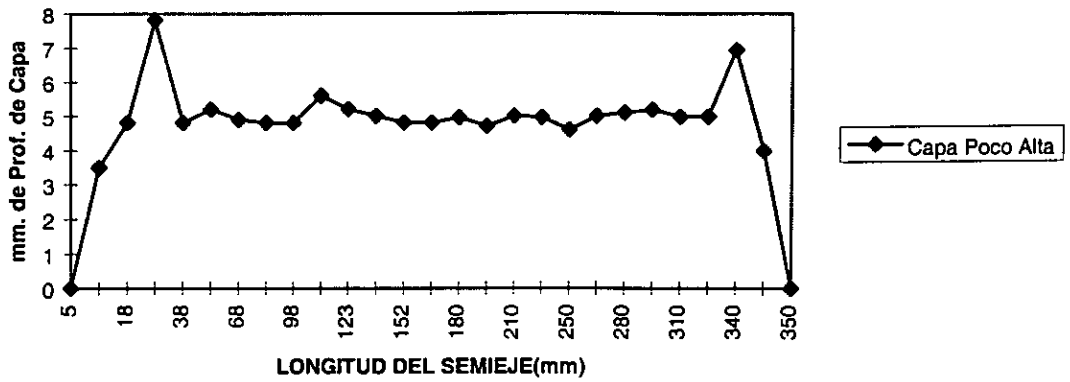
Figura 4.15. Semieje Opel L.I. automático, longitudes de puntos críticos.

Una vez establecidos los puntos en los cuales se medirá la profundidad de capa se elaboraron las diferentes gráficas de algunos semiejes que se utilizaron para las pruebas, estas gráficas son las siguientes:

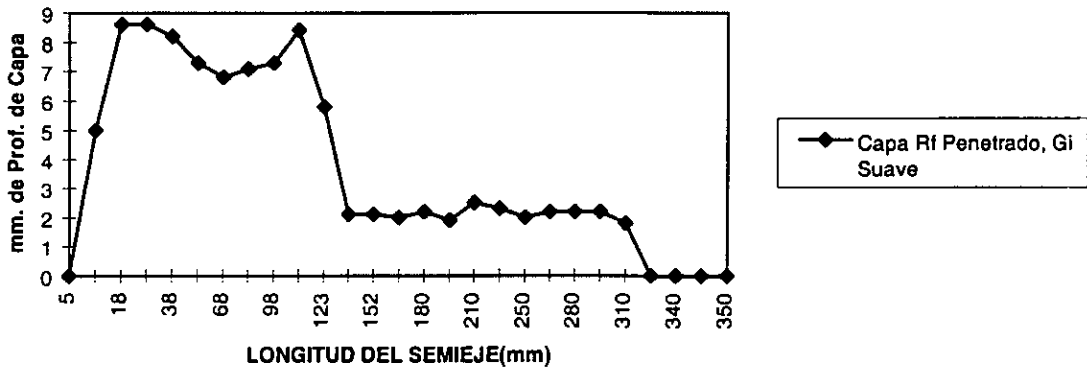
**SEMIEJE CON CAPA Rf SUAVE, GI PENETRADO**



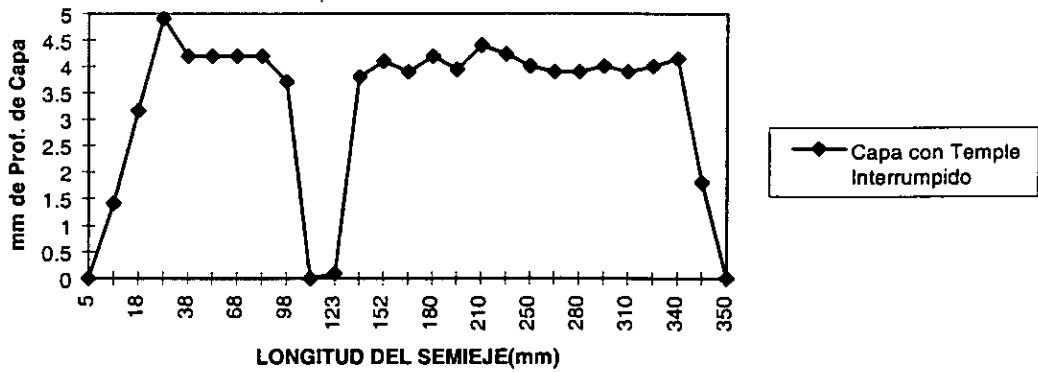
### SEMIEJE CON CAPA POCO ALTA



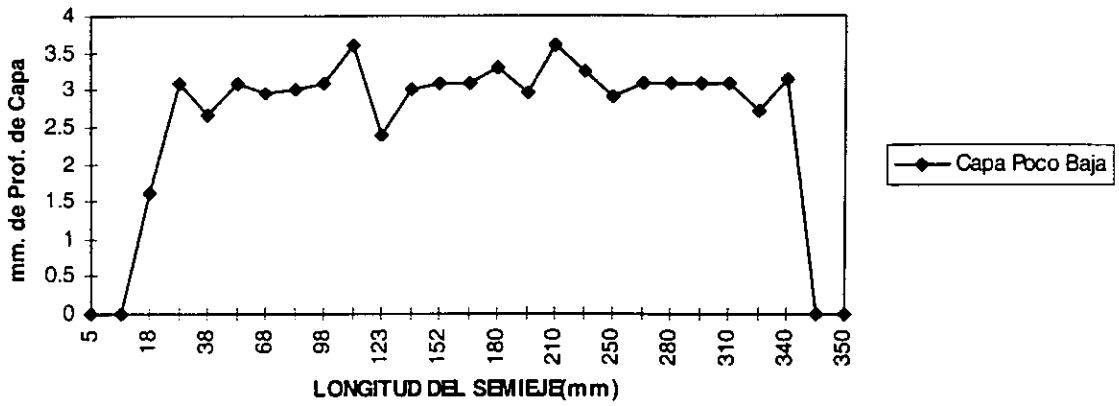
### SEMIEJE CON CAPA Rf PENETRADO, Gi SUAVE



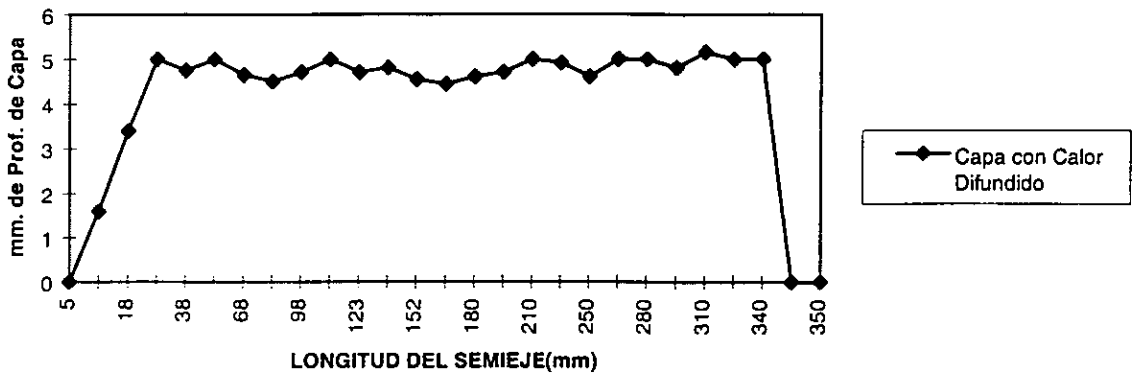
### SEMIEJE CON TEMPLE INTERRUPTIDO



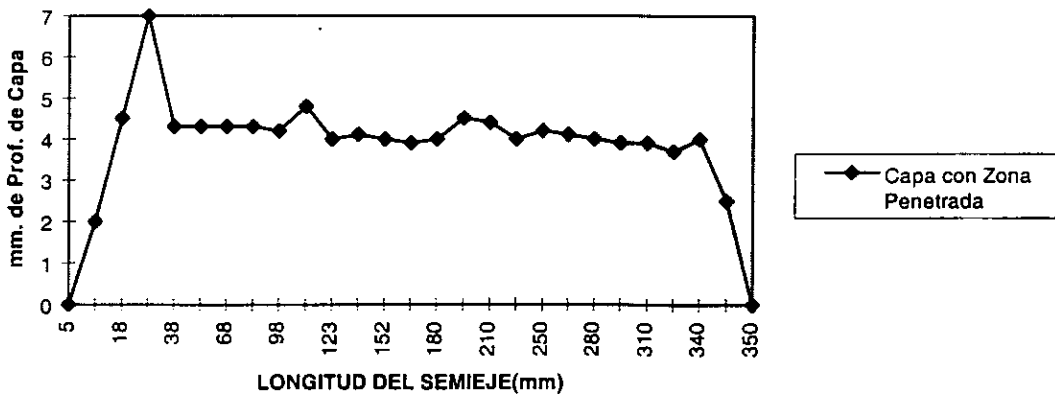
### SEMIEJE CON CAPA POCO BAJA



### SEMIEJE CON CALOR DIFUNDIDO



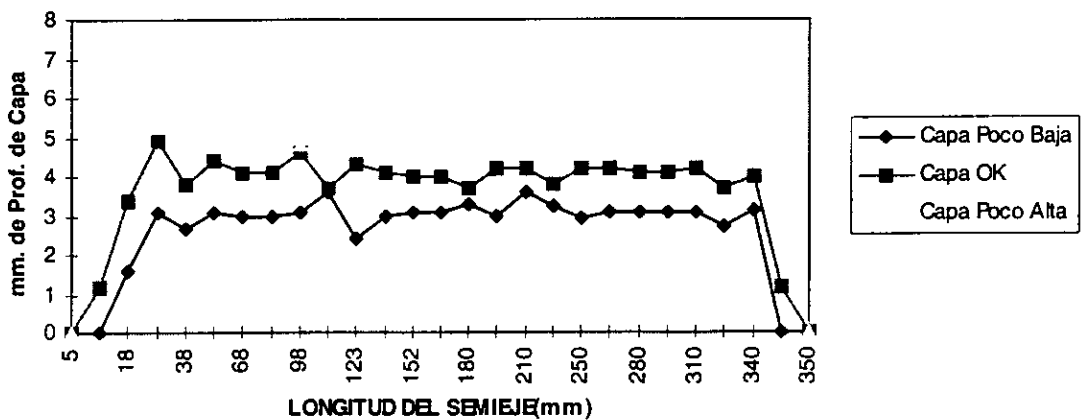
### SEMIEJE CON ZONA PENETRADA



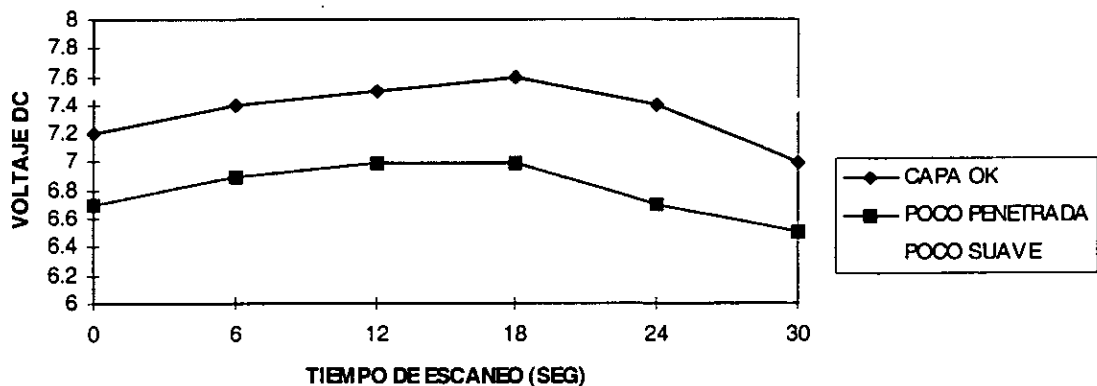
Una vez obtenidos estos datos se pueden comparar físicamente las profundidades de capa de todos los semiejes que se utilizaron para desarrollar las diferentes pruebas.

Teniendo las diferencias en la profundidades de capa de los diferentes semiejes, se establece la relación antes mencionada “A mayor profundidad de capa, menor voltaje. A menor profundidad de capa, mayor voltaje”.

Para tener una mejor visualización de las distintas profundidades de capa se muestra la siguiente gráfica donde se comparan solamente los semiejes con profundidades de capa poco baja, poco alta y capa Ok.



Teniendo esta gráfica se puede comparar con las gráficas de voltaje obtenidas anteriormente:



Como se puede observar en las anteriores gráficas la tendencia a la relación de “mayor profundidad de capa menor voltaje y viceversa” es clara ya que se tienen las condiciones de profundidad de capa arriba y abajo del rango establecido, y se tiene la respectiva variación de voltaje ante las diferentes condiciones.

Para poder establecer una relación de voltaje contra la profundidad de capa se requiere obtener un factor de correlación ya que no es algo lineal, se puede observar que mientras mayor capa exista, se registrará menor voltaje y viceversa. Partiendo de esta la única forma de tener un control en el registro de profundidad de capa, es necesario elabora nuevamente un diseño de experimentos en el cual se elaboren distintos cálculos estadísticos para lograr obtener un factor de correlación confiable para la aplicación.

# CAPITULO V.

## *ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS*

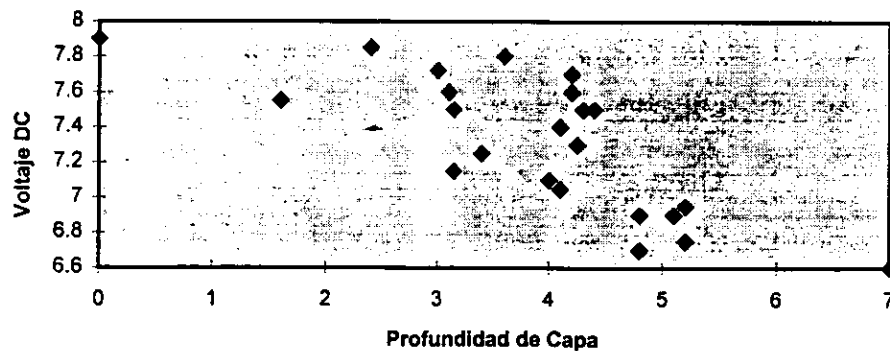
Para poder establecer la correlación entre el voltaje y la profundidad de capa se vio la necesidad de elaborar algunos métodos estadísticos para poder obtener una correlación que garantice un resultado seguro, los métodos que se utilizaron fueron los siguientes :

### 5.1 Método No. 1

Se elaboró una tabla la cual involucra algunos puntos críticos del semieje, esto simulando un muestreo de cinco puntos por semieje, y se evaluaron cuatro semiejes con condiciones : Ok, capa baja, capa alta y capa con temple interrumpido. Se obtuvieron también las diferentes funciones con su respectivo factor de correlación, como se muestra a continuación :

PUNTO	OK		BAJO		ALTO		TEMP. INTER.	
	CAPA	VOLTAJE	CAPA	VOLTAJE	CAPA	VOLTAJE	CAPA	VOLTAJE
18mm	3.4	7.25	1.6	7.55	4.8	6.7	3.15	7.15
83mm	4.1	7.4	3	7.72	4.8	6.9	4.2	7.7
123mm	4.3	7.5	2.4	7.85	5.2	6.95	0	7.9
210mm	4.2	7.6	3.6	7.8	5.1	6.9	4.4	7.5
280mm	4.1	7.4	3.1	7.6	5.2	6.75	4.25	7.3
340mm	4	7.1	3.15	7.5	7	6.6	4.1	7.05

Ordenándolos en forma ascendente queda la siguiente gráfica:



Con estos puntos se puede observar que en el intervalo de 3 a 5 en el eje de las X's correspondiente a la profundidad de capa, se encuentran 16 de los 24 puntos graficados. La cual muestra una tendencia de distribución normal .

Partiendo de esta gráfica se obtiene la línea de tendencia y su respectiva ecuación con su factor de correlación :

Tipo de Ecuación	Ecuación	Correlación
Lineal	$y = -0.2085x + 8.1288$	$R^2 = 0.5531$
Exponencial	$y = 8.1728e^{-0.0287x}$	$R^2 = 0.5524$
Polinomial 2o.	$y = -0.0237x^2 - 0.0451x + 7.8937$	$R^2 = 0.5963$
Polinomial 4o.	$y = 0.0093x^4 - 0.128x^3 + 0.5219x^2 - 0.7658x + 7.9079$	$R^2 = 0.6584$

\* Donde la variable independiente X corresponde al voltaje y la variable dependiente Y corresponde a la profundidad de capa.

Posteriormente se pasó a obtener datos estadísticos de la tabla donde se comparan los diferentes puntos de los semiejes, con esa tabla se calcularon: media y desviación estándar de la siguiente ecuación:

$$\mu \pm \beta \sigma_{n-1}$$

Donde:

$\mu$ : media

$\beta$ : número asignado

$\sigma_{n-1}$ : desviación estándar

Con esta fórmula obtenemos los números que sustituiremos en las ecuaciones obtenidas a partir de los puntos graficados. Los datos quedan como sigue:

$$\mu = 7.319$$

$$\sigma_{n-1} = 0.3813$$

Con estos datos se calculó el valor de  $\beta$  partiendo de que ya se conoce el rango de capa que esta entre 3.5 y 5 mm de profundidad de capa. Así se elaboraron las siguientes sustituciones:

- Se tienen las ecuaciones donde se va a sustituir el valor del voltaje (x) para obtener el valor de profundidad de capa (y).
- Se dieron valores a prueba y error al valor de  $\beta$  para obtener los valores de  $x$ . Estos valores son calculados con la suma y resta correspondiente a la fórmula  $\mu \pm \beta \sigma_{n-1}$ .
- Teniendo  $\beta = 14.1$  que fué el valor que mas próximo, el valor de y al rango establecido de profundidad de capa se elaboró la siguiente tabla donde se comparan los valores máximos y mínimos de voltaje (x) en tres ecuaciones como los muestra la tabla:

$\pm x$	poli 4o. (y)	poli 2o. (y)	lineal (y)
12.7	62.007	3.50062	5.48158
1.943	7.5839	7.716643	7.72375

Una vez elaborados los cálculos y obtenidos los resultados anteriores se puede observar que la ecuación que más se aproxima al rango de 3.5 a 5 mm es el de la ecuación Polinomial de segundo orden. Aunque los valores del voltaje (x) no son coherentes a las relaciones que deben tener, por lo tanto este método no garantiza una correlación segura.

## 5.2 Método No. 2

La prueba número dos se elaboró mediante el Método de Mínimos Cuadrados, los datos utilizados fueron los mismos de la tabla donde se involucran las relaciones de voltaje contra capa, el método se rige por las siguientes ecuaciones:

$$\sum Y_i = a * n + b \sum X_i \text{ ----- ecuación no. 1}$$

$$\sum X_i Y_i = a \sum X_i + b \sum X_i^2 \text{ ----- ecuación no. 2}$$

Partiendo de estas fórmulas se elaboraron los cálculos correspondientes como las sumatorias y se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\sum Y_i = 93.15 \qquad \sum X_i Y_i = 672.947$$



$$\sum X_i = 175.67 \quad \sum X_i^2 = 12.89.176$$

Con estos datos se obtiene el siguiente par de ecuaciones:

$$93.15 = 24 a + 175.6 b \text{----- ecuación no. 3}$$

$$672.947 = 175.67 a + 1289.176 b \text{----- ecuación no. 4}$$

Resolviendo estas ecuaciones en forma simultánea tenemos los siguientes resultados de **a** y **b**:

$$a = 22.30$$

$$b = -2.517$$

Despejando estos valores se obtiene la siguiente ecuación:

$$y = 22.30 - 2.517 x \text{----- ecuación no. 5}$$

Sustituyendo los valores correspondientes al rango de profundidad de capa ( 3.5 - 5 mm ) tenemos la siguiente correlación:

	Profundidad de Capa	Voltaje calculado
Capa Mínima	3.5	7.45
Capa Máxima	5	6.85

- Teniendo un rango de 0.6 volts de tolerancia en el sistema.

Esta tabla nos indica que el rango de tolerancia oscila de 6.85 a 7.45 Volts para tener la profundidad de capa que se encuentra dentro de especificaciones.

### 5.3 Método No. 3

Este método consiste en establecer rangos de profundidad de capa y checar ese rango de capa en varios semiejes, obteniendo así el o los valores de voltaje. Cabe mencionar que no necesariamente se va a obtener el mismo

voltaje en determinado rango de voltaje, para esto se calcula el promedio de voltaje para este rango de capa.

Una vez establecidos los rangos de profundidad de capa se inspeccionaron los distintos semiejes y se anoto el valor de voltaje que se registró en ese punto y se resaltó, cuando existió más de un punto o puntos que tuvieran ese rango de capa, se pasó a obtener el promedio para poder utilizar un solo valor en la tabla de comparación, la tabla es la siguiente :

Rangos de Capa	Semieje Ok	Semieje Bajo	Semieje Alto	Semieje Temple Int.	Promedio Volts
<b>0 - .99</b>	7.1	7.412	6.6	7.4	<b>7.128</b>
<b>1 - 1.99</b>	6.6	6.5		7.025	<b>6.71</b>
<b>2 - 2.49</b>		7.8			<b>7.80</b>
<b>2.5 - 3</b>		7.68			<b>7.68</b>
<b>3.1 - 3.49</b>	7.25	7.668		7.1	<b>7.34</b>
<b>3.5 - 3.99</b>	7.34	7.8	7.7	7.4	<b>7.56</b>
<b>4 - 4.49</b>	7.4		6.6	7.47	<b>7.16</b>
<b>4.5 - 4.99</b>	7.36		6.9	7.2	<b>7.15</b>
<b>5 - 5.49</b>			6		<b>6.00</b>
<b>5.5 - 5.99</b>			6.93		<b>6.93</b>
<b>6.0 - 7.0</b>			6.5		<b>6.50</b>
<b>7.0 - 8.0</b>			6.8		<b>6.80</b>

En la tabla se puede observar que el rango de voltaje de aceptación oscila entre 7.15 y 7.56 Volts, teniendo un rango de 0.41 volts, para poder cubrir las especificaciones del cliente que corresponde al rango de profundidad de capa entre 3.5 y 5.0 mm de capa por debajo de la superficie.

## CONCLUSIONES

La decisión que se tomó con respecto al análisis estadístico fue utilizar el método 2, utilizando la evaluación por Mínimos Cuadrados, se seleccionó este ya que se tiene un mayor rango de voltaje, entre 6.85 a 7.45 volts, teniendo así una variación de 0.6 volts. En el método 3 solo se tiene una variación de 0.41 volts, así se demuestra que es mas factible el utilizar el segundo método.

La segunda evaluación que se elaboró fue la del sistema de desplazamiento de la bobina, de las cuatro opciones se recomienda utilizar la segunda que consiste en los productos de Industrias Devices Corporation, ya que este sistema cuenta además de un mejor precio, un sistema de lazo cerrado, así como de contener un encoder<sup>17</sup> para poder establecer la posición.

Por otro lado el proyecto puede tener varias mejoras y una de ellas es el procesar el voltaje AC que proporciona el Magnatest por su salida analógica con una tarjeta de National Instruments y manipular esta señal mediante el software LabView de la misma marca para poder definir un rango de voltaje (este rango es el que se analizó con los métodos estadísticos) de operación para poder definir si el semieje que se esta inspeccionando está con la profundidad de capa especificada por el cliente.

Esta señal además puede ser programada de tal modo de elaborar una gráfica donde se ilustre el perfil de la profundidad de capa del semieje que en ese momento se este inspeccionando, esto elaborando una correlación o generando una tabla comparativa de voltaje contra profundidad de capa. Mostrando así al usuario o al operador si el semieje tiene la capa especificada para ese modelo.

Otra aplicación que se puede tener es el elaborar una base de datos con el mismo software para poder almacenar los diferentes inspecciones elaborados durante el día y poder así comparar el proceso o en su defecto encontrar en que turno o a que hora existen alteraciones en el proceso de temple de los semiejes.

---

17. Encoder: dispositivo electrónico para controlar la posición de un motor.

## ANEXO 1.

Estas son las gráficas originales de las pruebas de inspección manual, obteniendo el comportamiento del voltaje AC contra el tiempo de inspección en cada uno de los semiejes como lo muestran las siguientes gráficas:

### SEMIEJE CON CAPA OK

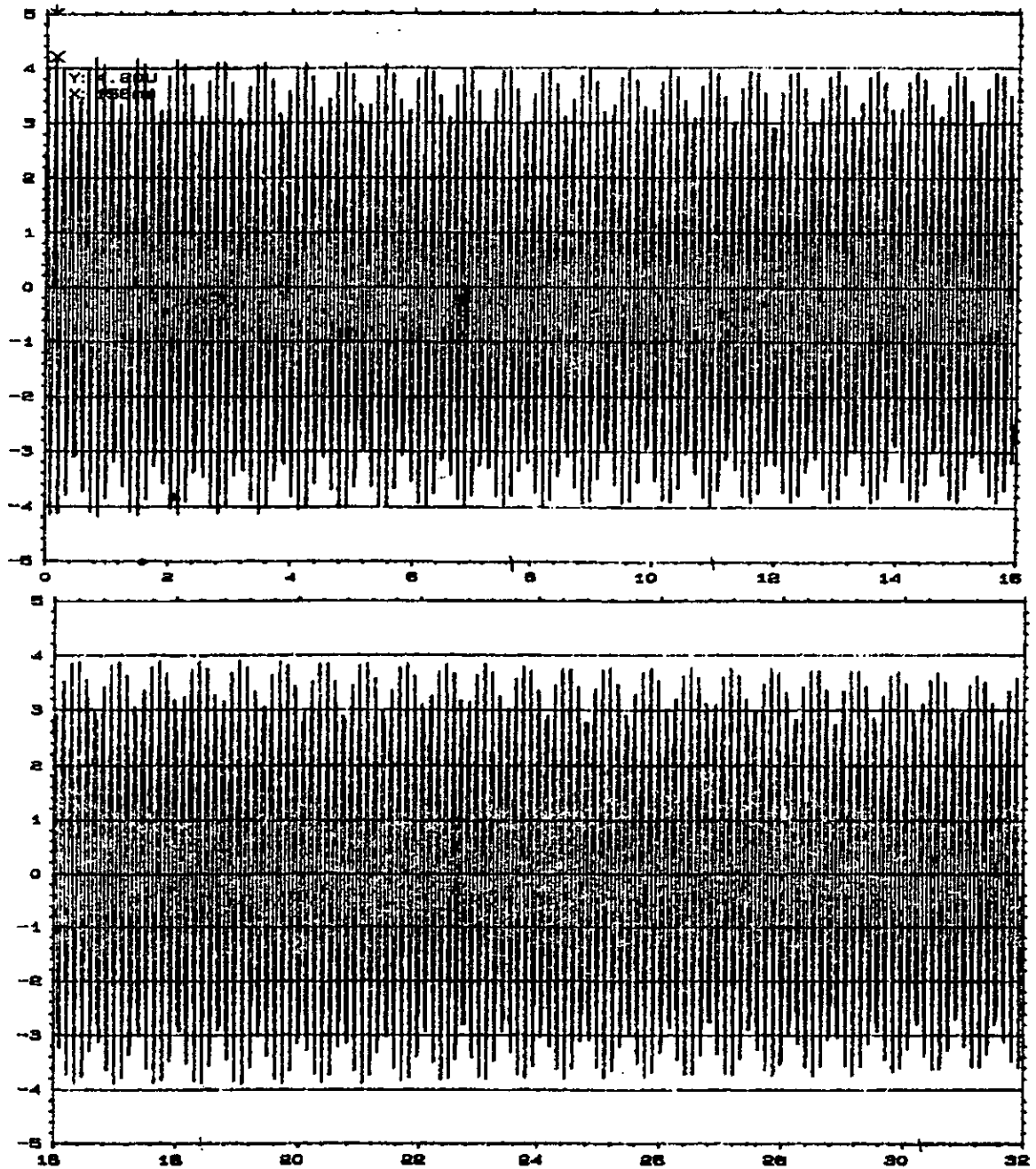


Figura 1.1. En esta gráfica se representa la señal de salida del Magnatest en la condición de un semieje con profundidad de capa Ok, se imprimió en dos secciones para obtener mejor resolución en el cambio de amplitud.

## SEMIEJE CON CAPA BAJA

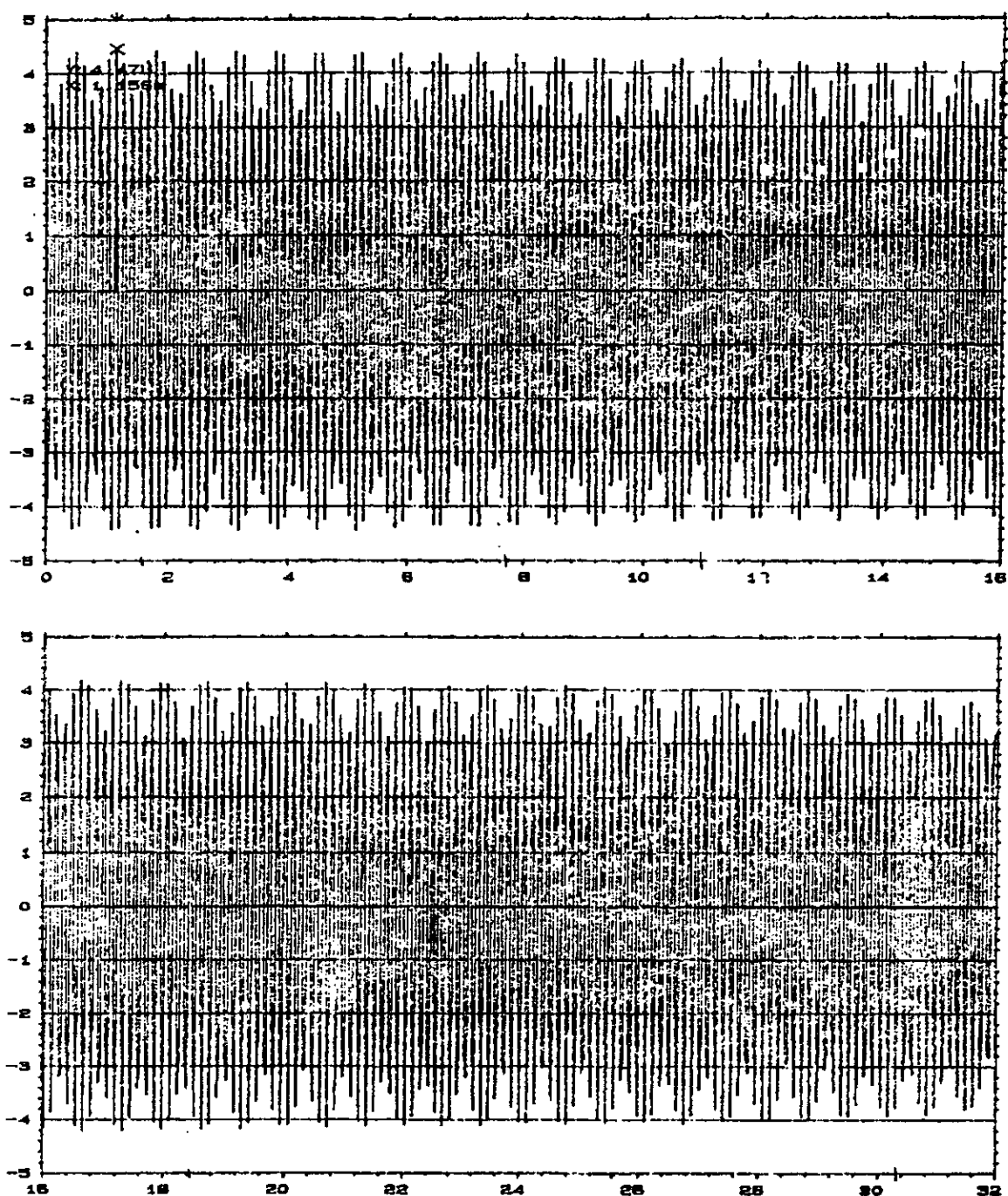


Figura 1.2. En esta gráfica se representa la señal de salida del Magnatest en la condición de un semieje con profundidad de capa baja, se imprimió en dos secciones para obtener mejor resolución en el cambio de amplitud.

## SEMIEJE CON CAPA MUY BAJA

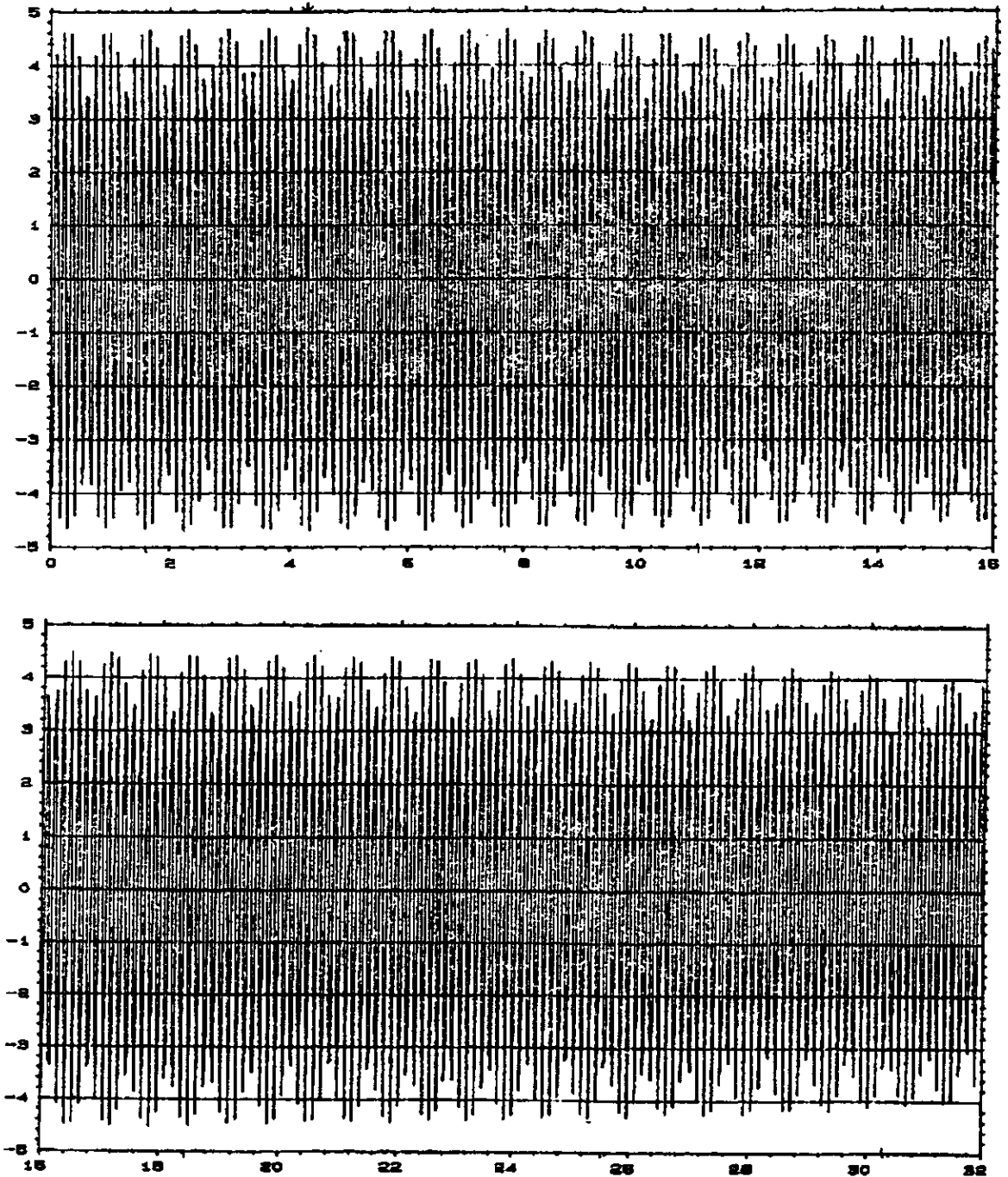


Figura 1.3. En esta gráfica se representa la señal de salida del Magnatest en la condición de un semieje con profundidad de capa muy baja, se imprimió en dos secciones para obtener mejor resolución en el cambio de amplitud.

# SEMIEJE CON CAPA ALTA

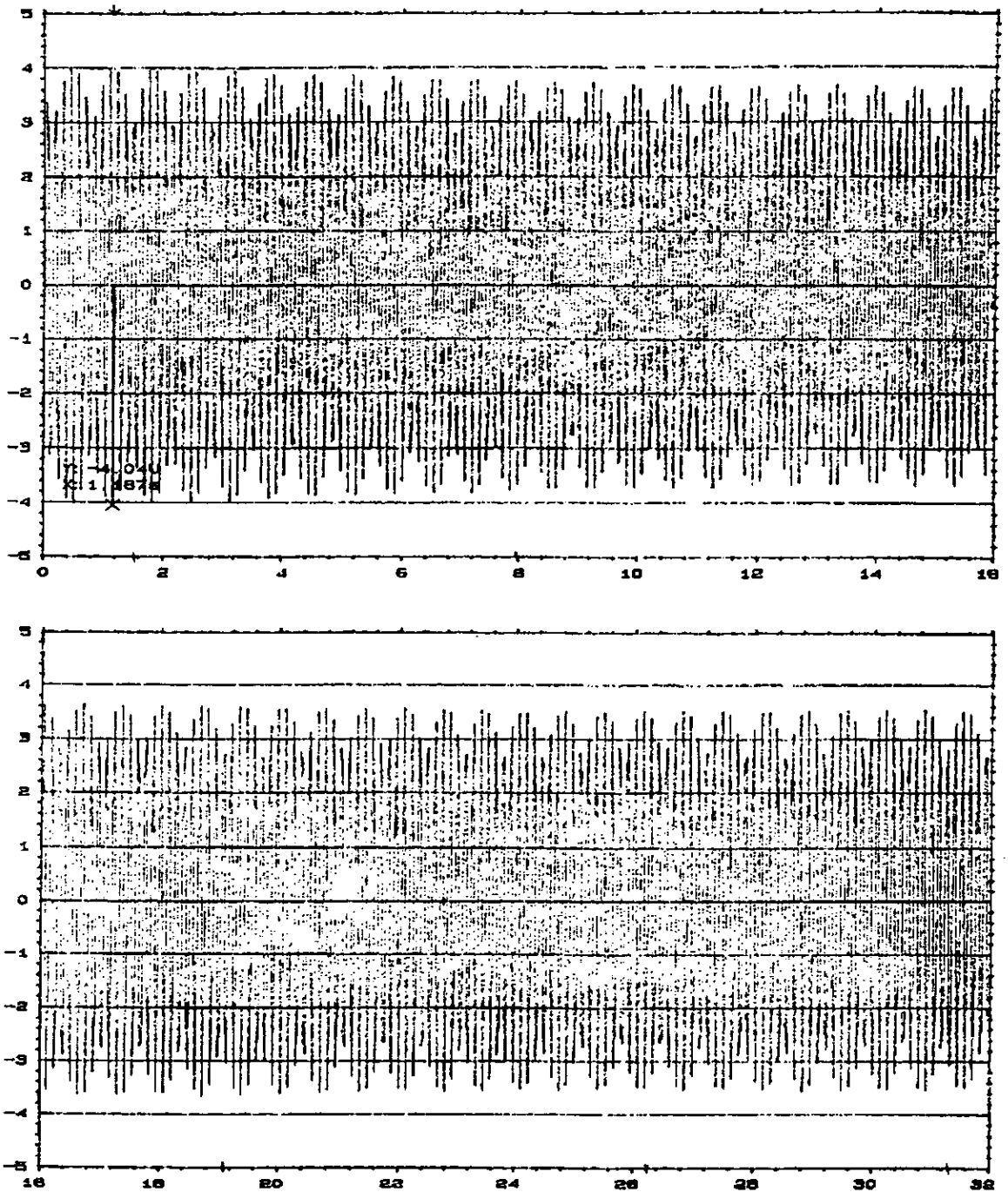


Figura 1.4. En esta gráfica se representa la señal de salida del Magnatest en la condición de un semieje con profundidad de capa alta, se imprimió en dos secciones para obtener mejor resolución en el cambio de amplitud.

### SEMIEJE CON CAPA MUY ALTA

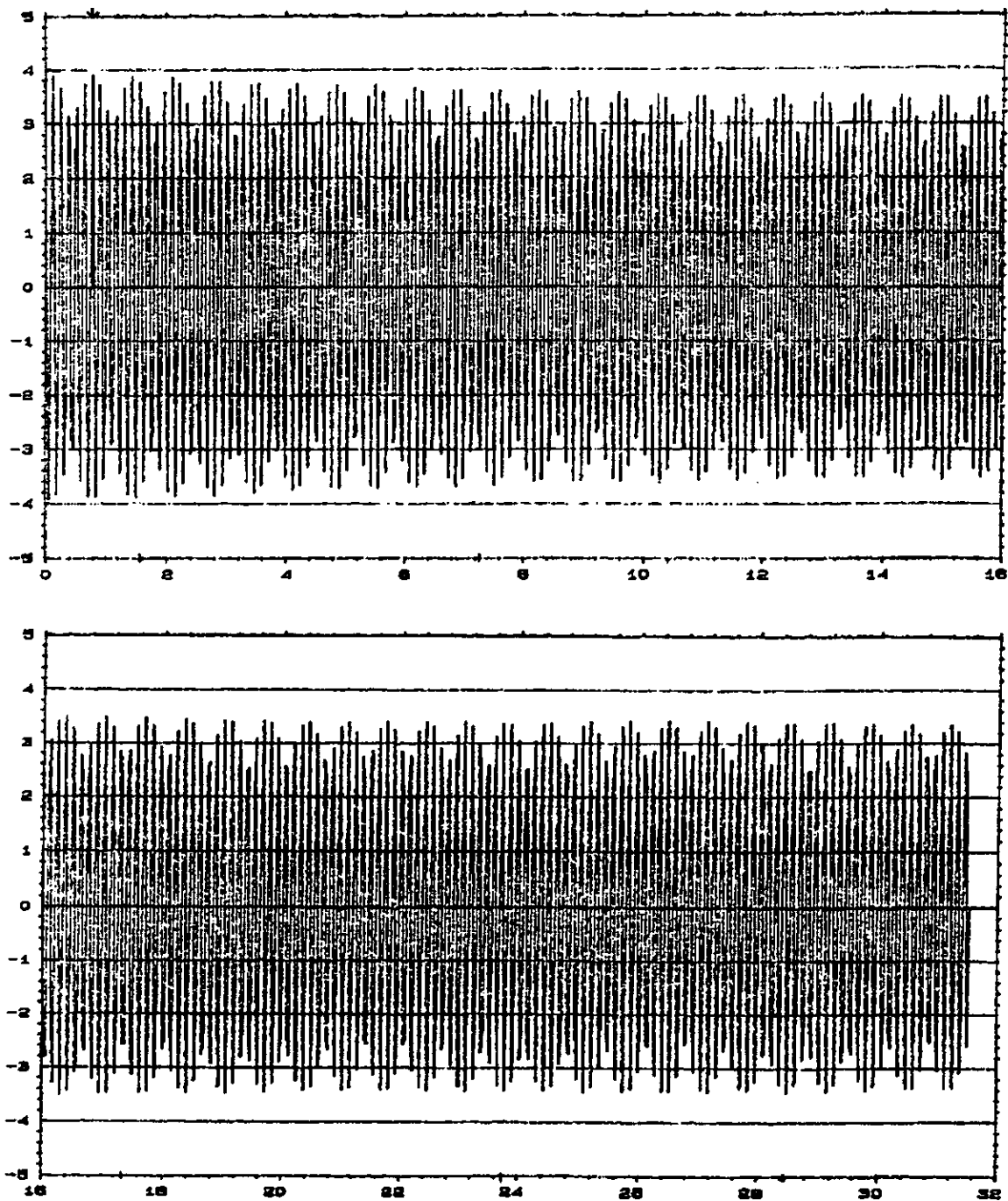


Figura 1.5. En esta gráfica se representa la señal de salida del Magnatest en la condición de un semieje con profundidad de capa muy alta, se imprimió en dos secciones para obtener mejor resolución en el cambio de amplitud.



## SEMIEJE CON CAPA LADO RF PENETRADO, GI SUAVE

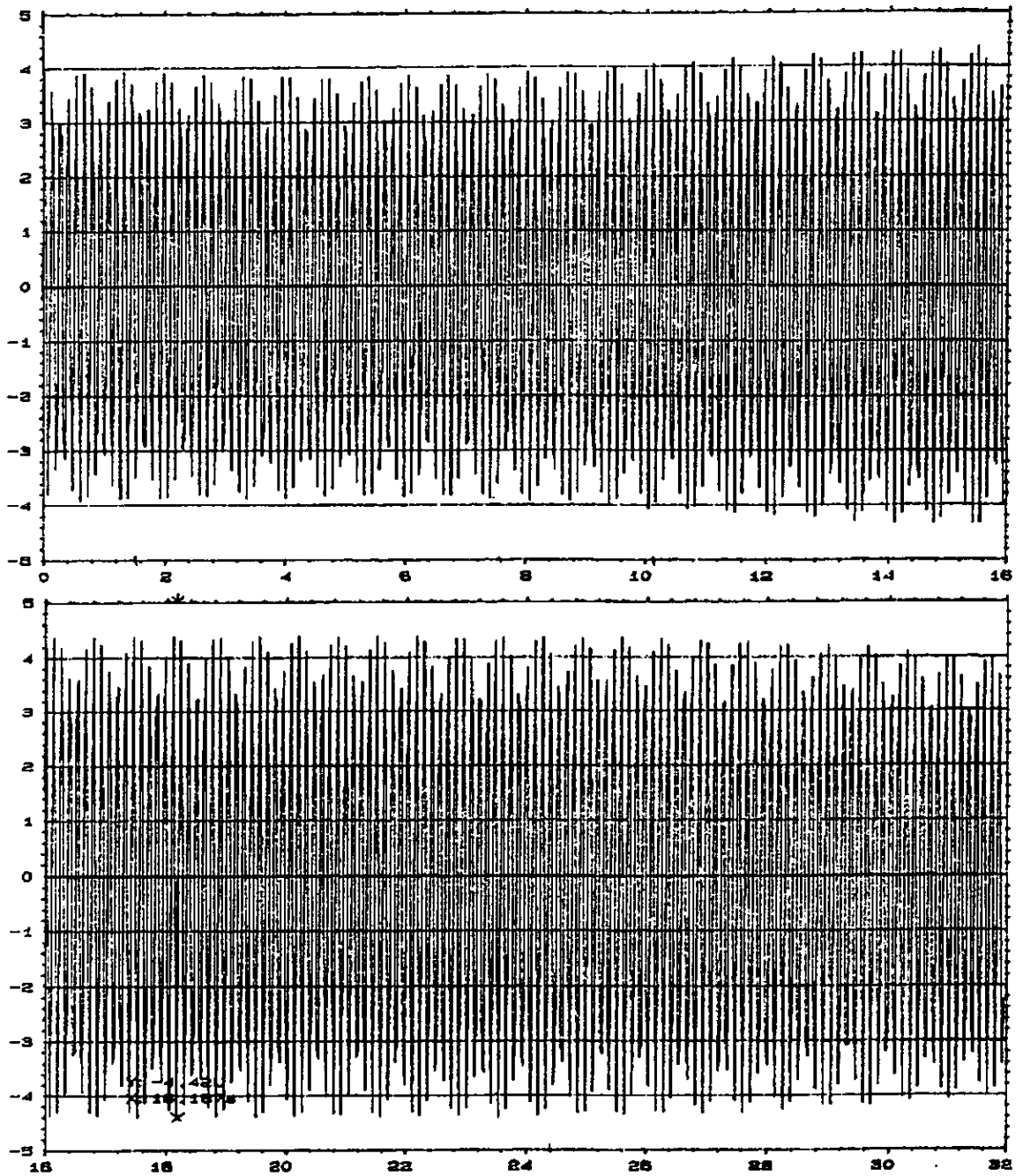


Figura 1.6. En esta gráfica se representa la señal de salida del Magnatest en la condición de un semieje con profundidad de capa Rf penetrado Gi suave, se imprimió en dos secciones para obtener mejor resolución en el cambio de amplitud.

**Nota:** En todas las gráficas se dividió el periodo del tiempo para poder tener una mejor resolución en cada punto de la gráfica.

## ANEXO 2

A continuación se muestran las gráficas correspondientes a las pruebas elaboradas con una inspección automática y obteniendo un voltaje DC. La relación de estas gráficas voltaje contra tiempo.

### SEMIEJE CON CAPA OK

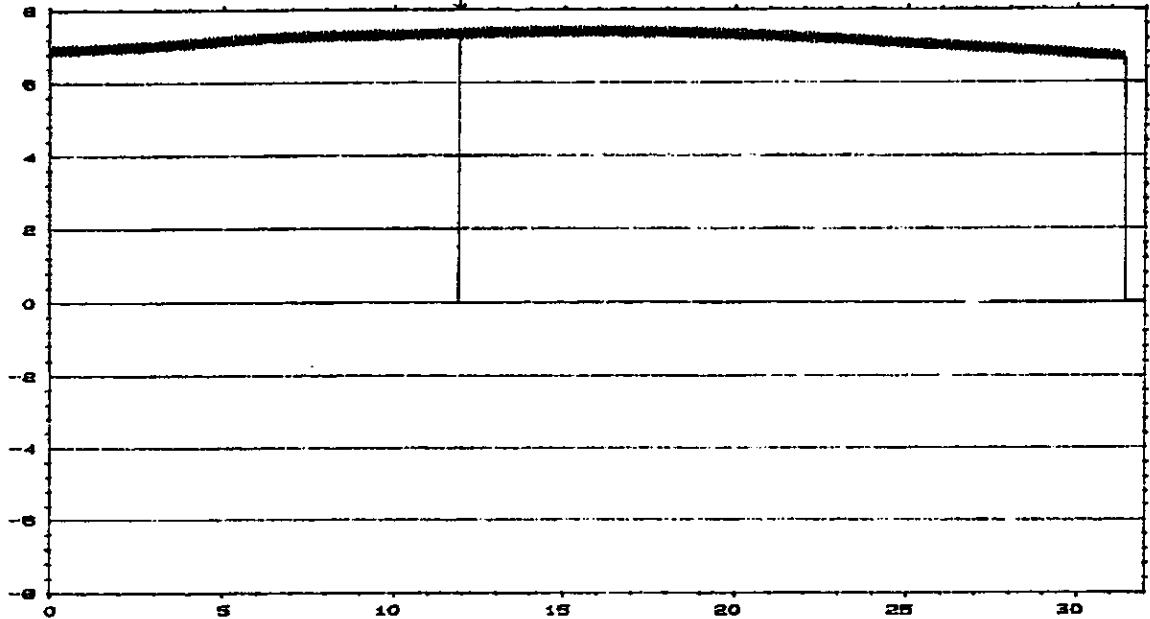


Figura 2.1. Esta gráfica es obtenida a partir de utilizar un convertidor AC/DC para poder obtener el perfil de la señal analógica del Magnatest, esta señal es del semieje con profundidad de capa Ok.

## SEMIEJE CON CAPA ALTA ( PENETRADA )

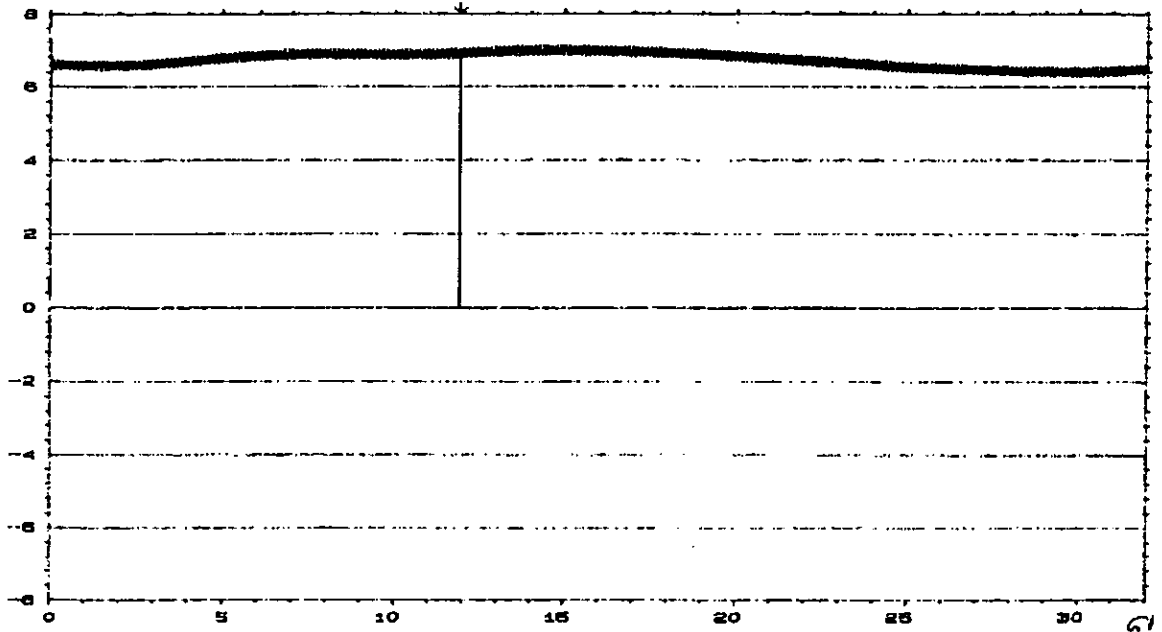


Figura 2.2. Esta gráfica es obtenida a partir de utilizar un convertidor AC/DC para poder obtener el perfil de la señal analógica del Magnatest, esta señal es del semieje con profundidad de capa alta.

## SEMIEJE CON CAPA BAJA ( SUAVE )

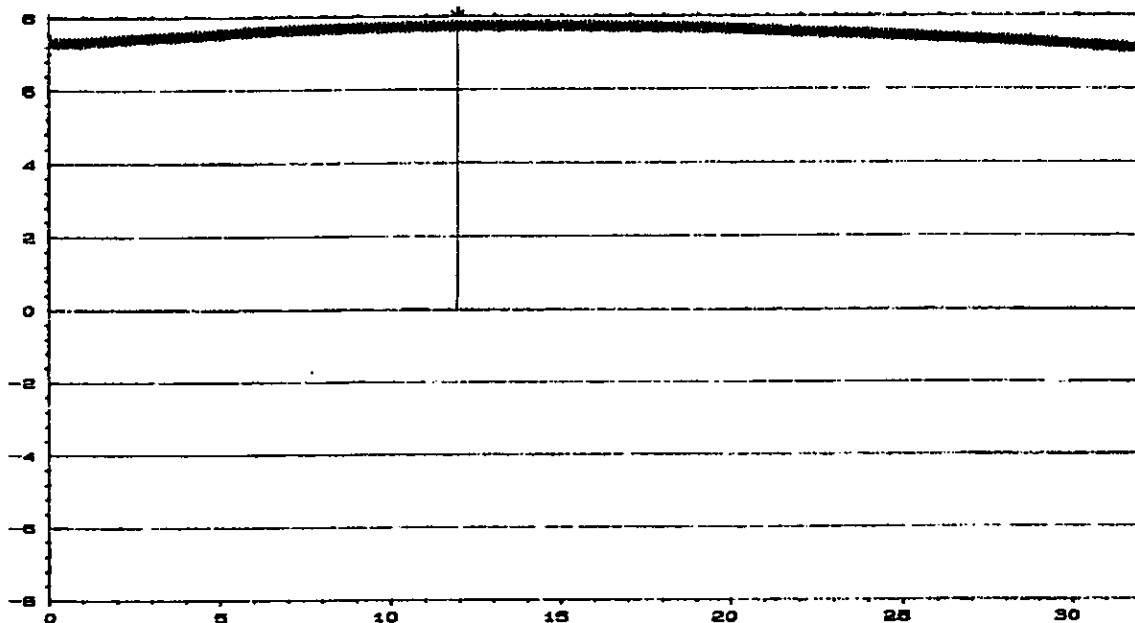


Figura 2.3. Esta gráfica es obtenida a partir de utilizar un convertidor AC/DC para poder obtener el perfil de la señal analógica del Magnatest, esta señal es del semieje con profundidad de capa baja.

**ESTA TESTA NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

## SEMIEJE CON CAPA LADO RF SUAVE, GI PENETRADO

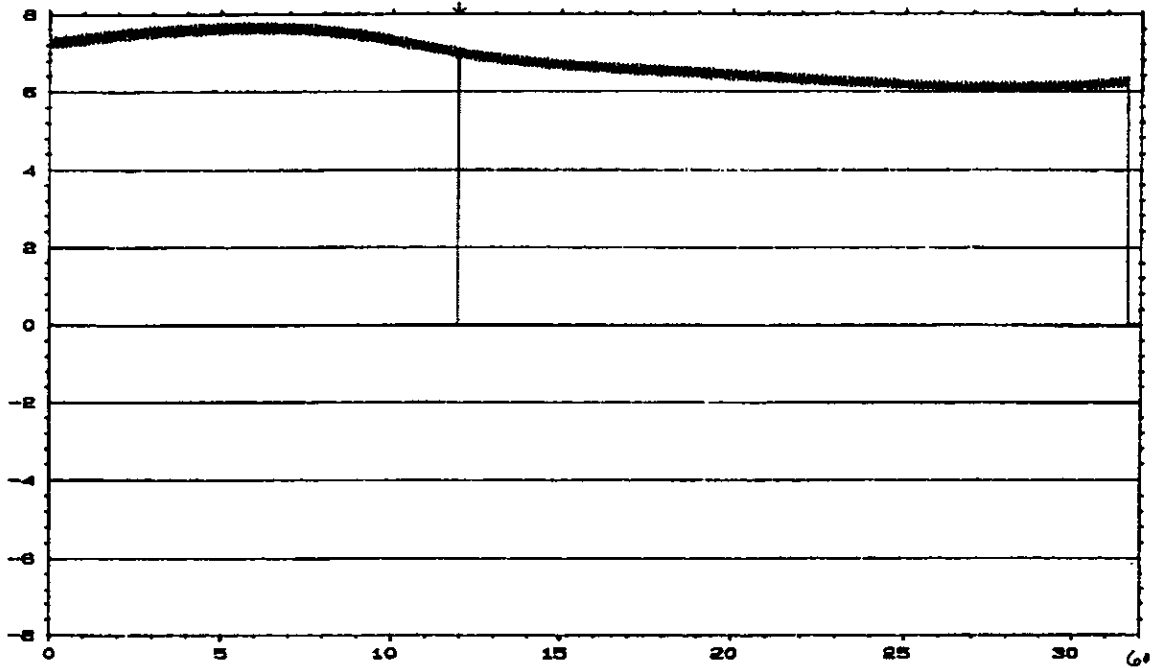


Figura 2.4. Esta gráfica es obtenida a partir de utilizar un convertidor AC/DC para poder obtener el perfil de la señal analógica del Magnatest, esta señal es del semieje con profundidad de capa Rf suave Gi penetrado.

## SEMIEJE CON CAPA LADO RF PENETRADO, GI SUAVE

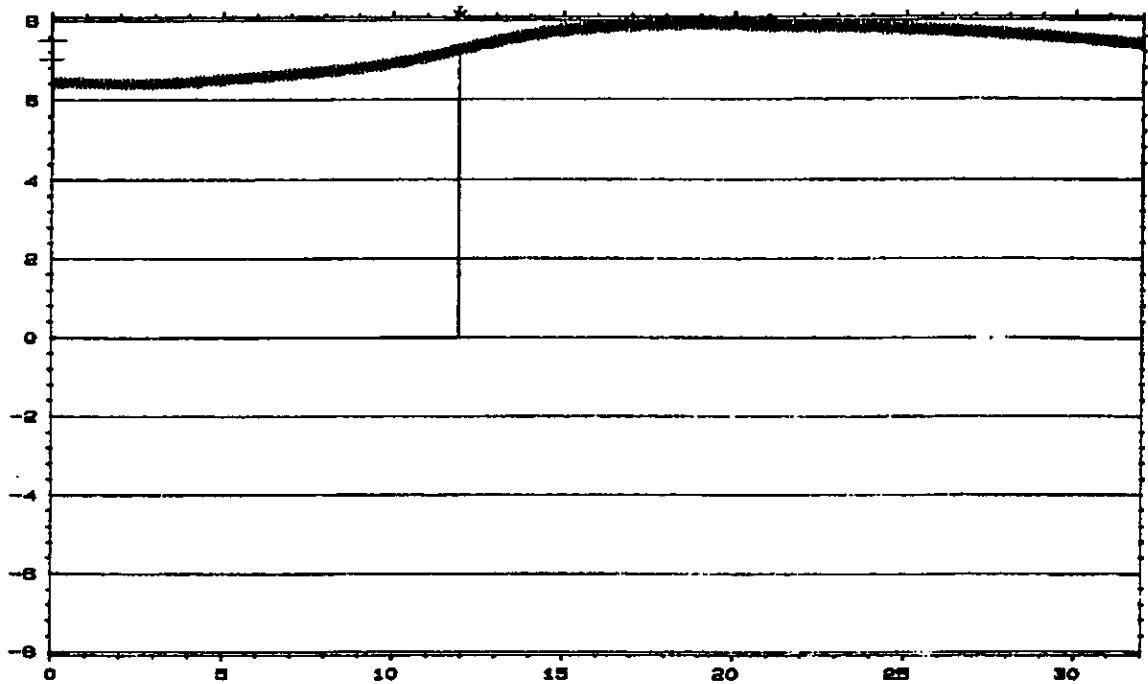


Figura 2.5. Esta gráfica es obtenida a partir de utilizar un convertidor AC/DC para poder obtener el perfil de la señal analógica del Magnatest, esta señal es del semieje con profundidad de capa Rf penetrado Gi suave.

### ANEXO 3.

En este anexo se tienen las gráficas de los semiejes que se utilizaron para observar el alcance de detección de semiejes con diferentes alteraciones en su tratamiento térmico. Es una gráfica que compara el voltaje DC contra el tiempo de inspección en segundos.

#### SEMIEJE CON TEMPLE INTERRUPTIDO

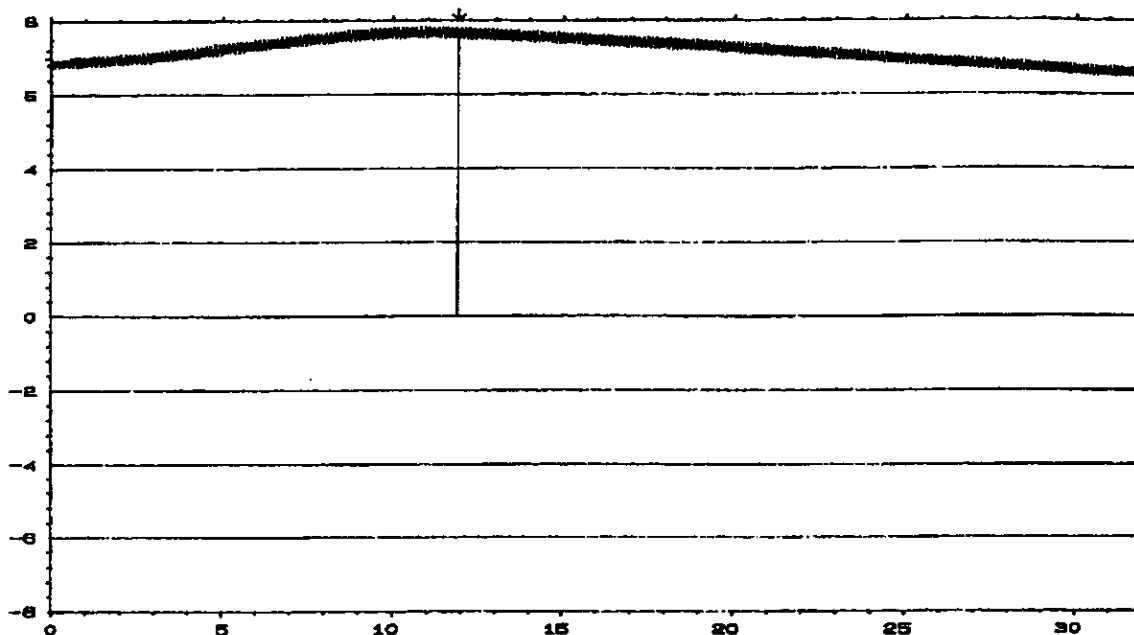


Figura 3.1. Esta gráfica es obtenida a partir de utilizar un convertidor AC/DC para poder obtener el perfil de la señal analógica del Magnatest, esta señal es del semieje con temple interrumpido.

## SEMIEJE CON CAPA EXCÉNTRICA

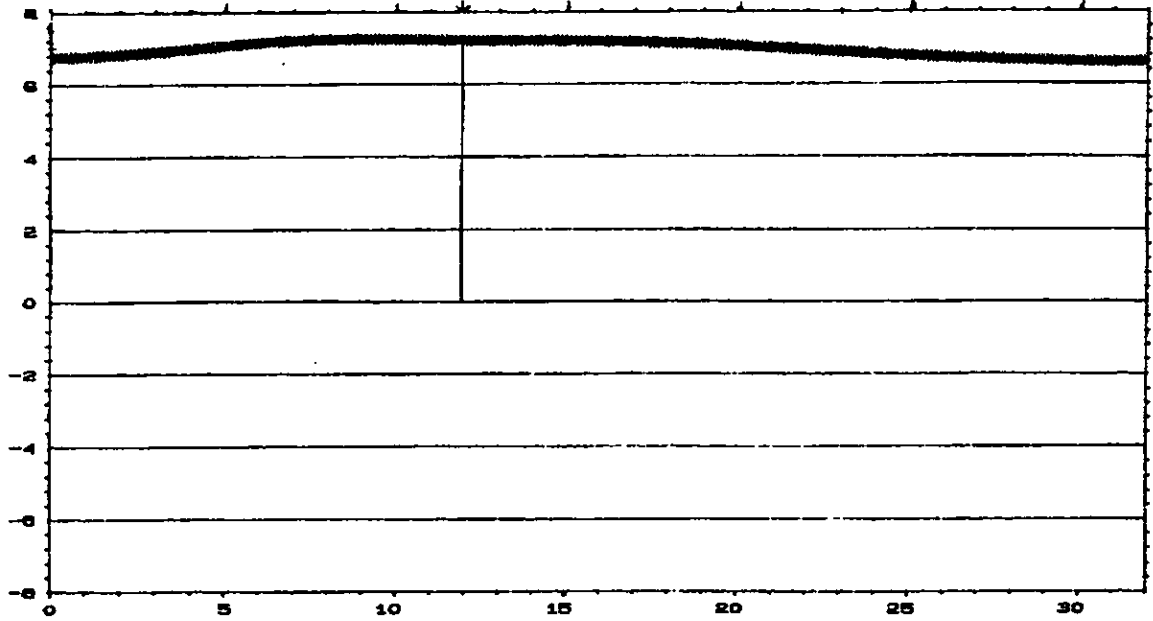


Figura 3.2. Esta gráfica es obtenida a partir de utilizar un convertidor AC/DC para poder obtener el perfil de la señal analógica del Magnatest, esta señal es del semieje con capa excéntrica.



## SEMIEJE SIN TERMINACIÓN DE TEMPLE

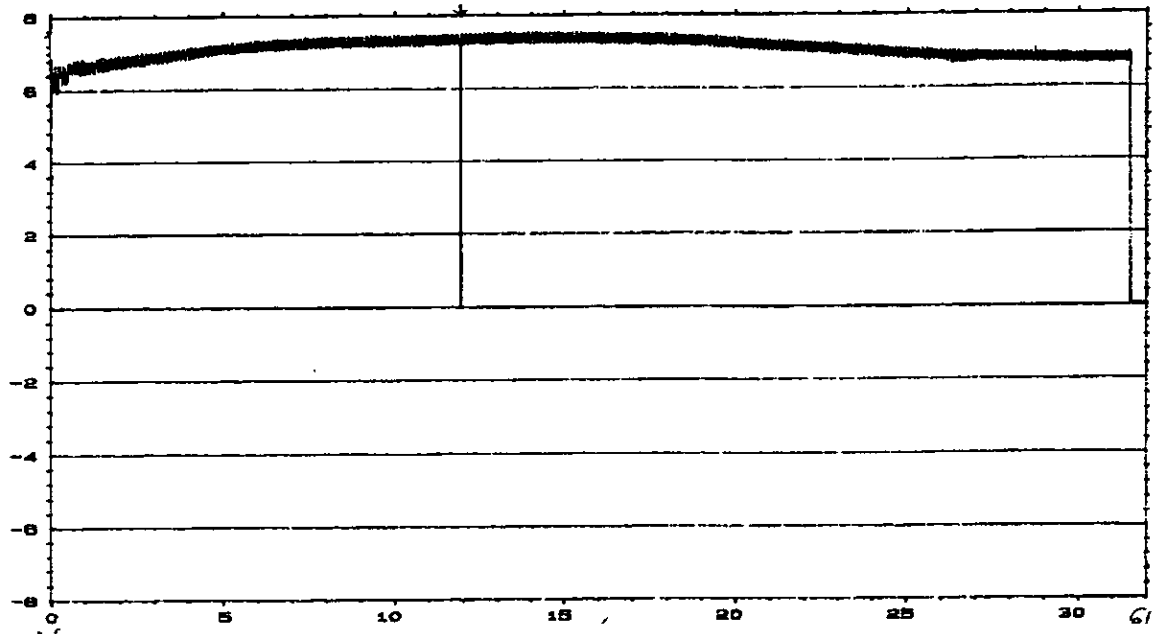


Figura 3.3. Esta gráfica es obtenida a partir de utilizar un convertidor AC/DC para poder obtener el perfil de la señal analógica del Magnatest, esta señal es del semieje bajo la condición sin terminación de temple..

## SEMIEJE CON TERMINACIÓN LARGA

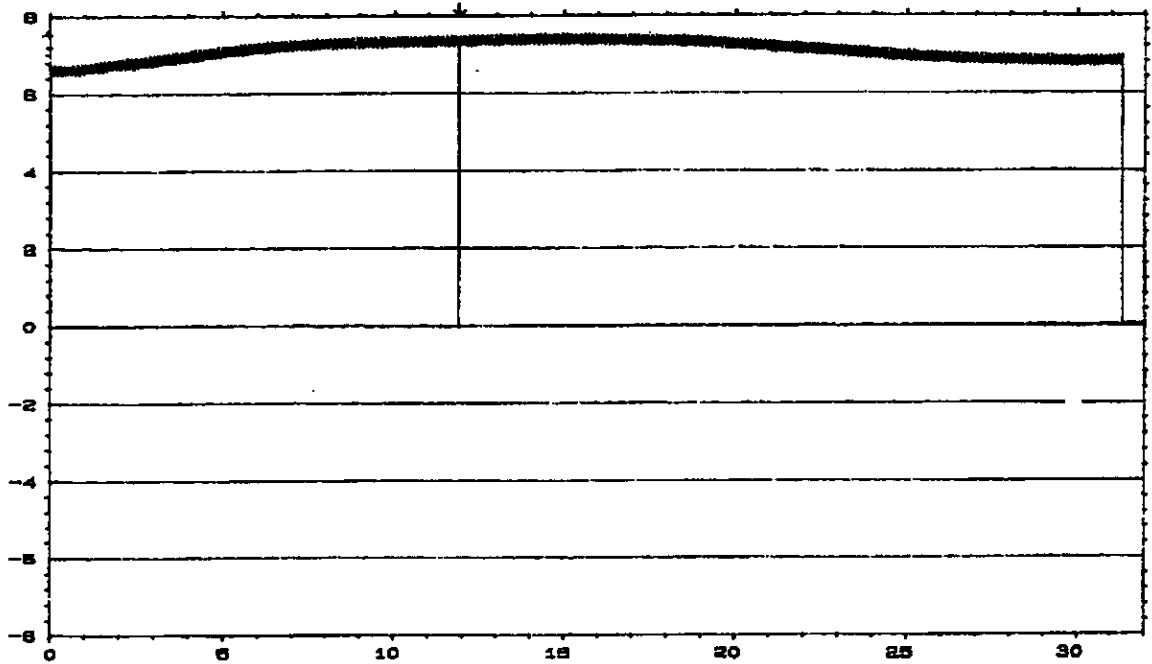


Figura 3.4. Esta gráfica es obtenida a partir de utilizar un convertidor AC/DC para poder obtener el perfil de la señal analógica del Magnatest, esta señal es del semieje bajo la condición terminación de temple larga.

### SEMIEJE CON CAPA QUEMADA

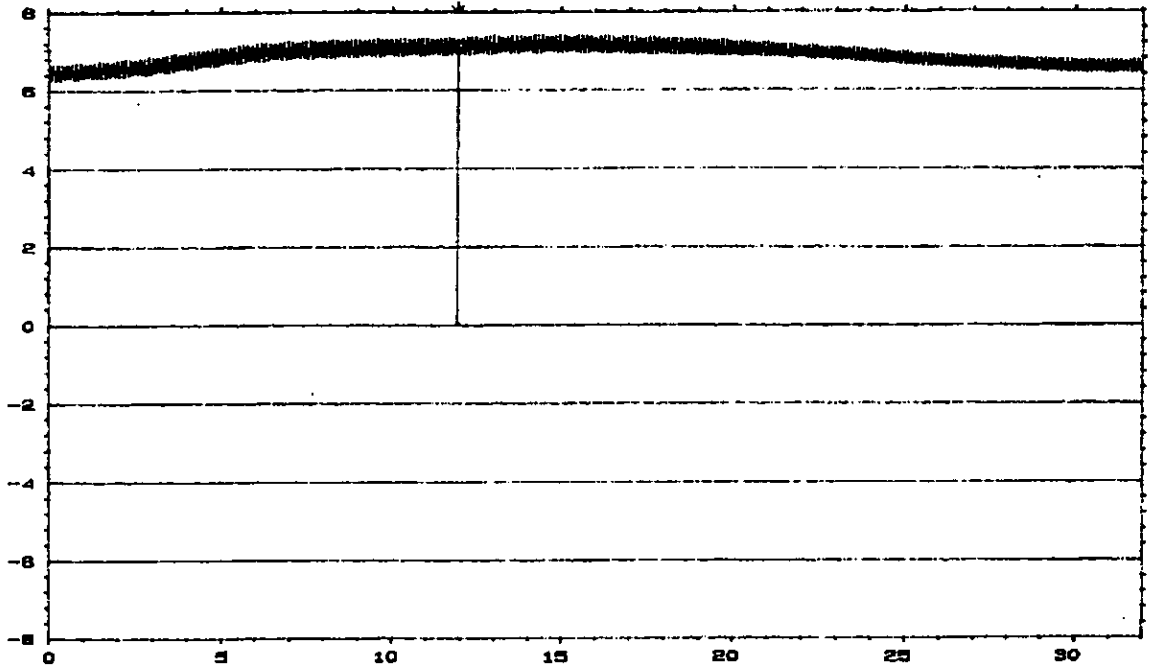


Figura 3.5. Esta gráfica es obtenida a partir de utilizar un convertidor AC/DC para poder obtener el perfil de la señal analógica del Magnatest, esta señal es del semieje bajo la condición de capa quemada.

## SEMIEJE CON CALOR DIFUNDIDO

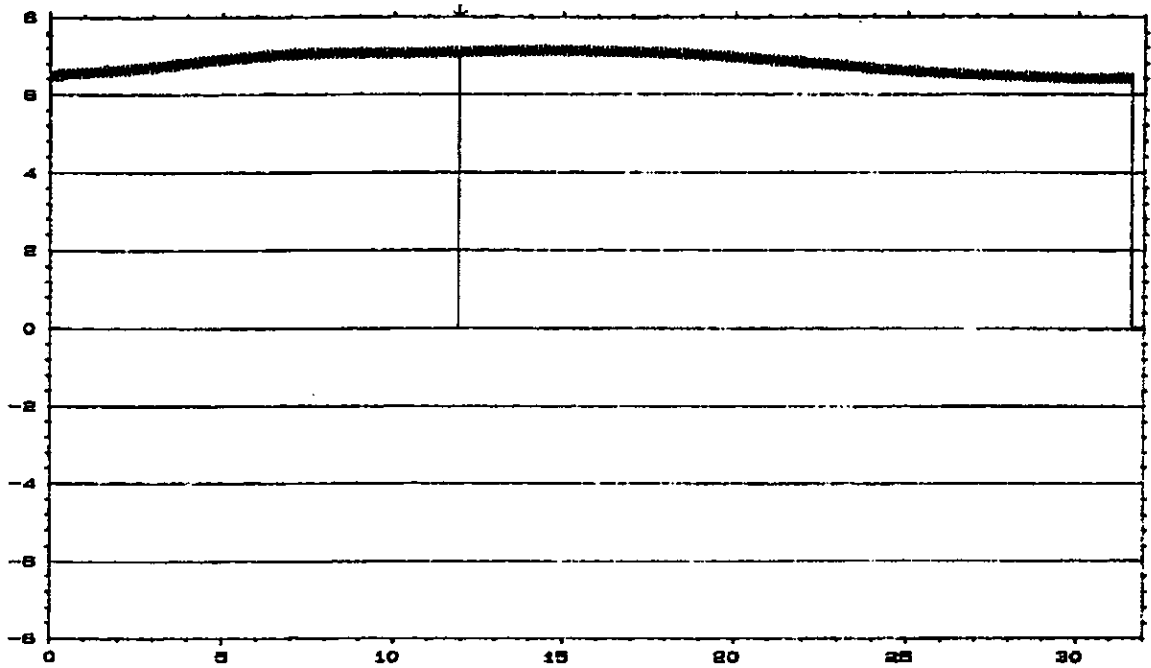


Figura 3.6. Esta gráfica es obtenida a partir de utilizar un convertidor AC/DC para poder obtener el perfil de la señal analógica del Magnatest, esta señal es del semieje bajo la condición calor difundido.

### SEMIEJE CON ZONA PENETRADA

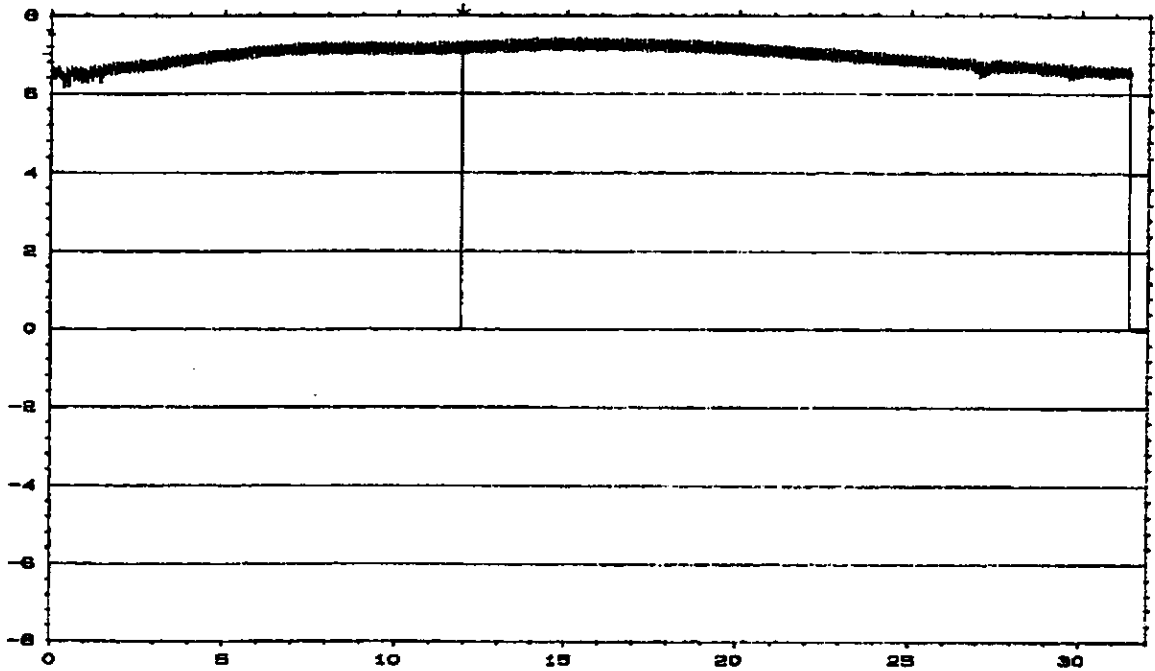


Figura 3.7. Esta gráfica es obtenida a partir de utilizar un convertidor AC/DC para poder obtener el perfil de la señal analógica del Magnatest, esta señal es del semieje bajo la condición zona penetrada.

## NOMENCLATURA

$\Sigma$  : sumatoria

$\mu$  : media

$\beta$  : constante deseada

$\sigma$  : desviación estandar

$\Sigma Y_i$  : sumatoria de valores de profundidad de capa

$\Sigma X_i$  : sumatoria de valores de voltaje

$\Sigma X_i^2$  : sumatoria de valores de voltaje al cuadrado

$R^2$  : factor de correlación

a, b : constantes de las ecuaciones

y : variable dependiente

x : variable independiente

## BIBLIOGRAFIA

- Manual Magnatest S3.625  
Operating Instruction
- Manual Magnatest S3.625  
Instalation Instruction
- Diseño en Ingeniería Mecánica  
Josep Edwar Shigley, Charles R. Mischke.  
Mc Graw Hill
- Probabilidad y Estadística para Ingenieros  
Irwin Miller, John E. Freud  
Pretince Hall  
3ª edición.
- Manual de Introducción a la Metalurgia Física.  
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Electroquímica S.C.  
CIDETEQ.
- Induction Heat Treatmente of Steel  
S.L. Semiatin  
D.E. Stutz  
American Society for Metals.  
Second Printing, November 87'.
- Dual Channel Signal Analyzer Type 2034  
Instruction Manual  
Vol. 2 Operation  
Brüe & Kjaet.
- Catálogo Industrias Devices Corporation  
Electric Linear Actuator and Control.
- Manual PC-LPM-16  
National Intruments.
- Internet  
[www.http.Dr. Foesters.com](http://www.http.Dr.Foesters.com).