

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DE LA  
IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN  
AUTOMÁTICA DE DISCONTINUIDADES EN  
JUNTAS SOLDADAS A TOPE MEDIANTE LA  
INSPECCIÓN POR TÉCNICA DE ULTRASONIDO**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los Brs. Hermoso G., César E.,  
Cortés, Mauricio.  
Para optar al título de Ingeniero Mecánico.

**Caracas, 2001**

# INTRODUCCIÓN

---

Debido a la creciente demanda en la construcción de estructuras metálicas para el ámbito residencial, comercial e industrial y ya que un gran número de estas se realiza mediante el ensamblaje de componentes metálicos por uniones soldadas, se hace imprescindible el establecimiento de criterios de seguridad para toda la estructura, ya que cualquier falla tiene la probabilidad de originar una catástrofe. Una forma de aplicar y verificar los criterios de seguridad puede ser mediante la aplicación de las técnicas de Ensayos No Destructivos cuya principal característica es que no modifican las propiedades Físico-Químicas del material. De entre todas ellas, la inspección ultrasónica presenta como sus principales ventajas, una mayor penetración en el material, posibilidad de procesar la información generada digitalmente y no produce interferencia en equipos de operación electrónica.

Bien es sabido que la inspección ultrasónica permite ubicar y detectar la existencia de discontinuidades en los materiales, razón por la cual esta técnica está íntimamente ligada a los procesos de soldadura, sin embargo la caracterización e identificación de las discontinuidades requieren una destreza considerable por parte del operador, quien con un adiestramiento adecuado y una buena formación técnico – práctica, puede a partir de las configuraciones de las trazas de la pantalla del equipo analizar cuidadosamente todos sus parámetros y extraer conclusiones sobre lo observado, las cuales son de su absoluta responsabilidad, motivo por el cual este operador debe tener la calificación y certificación de personal para *Ensayos No Destructivos* en base a la normativa nacional disponible.

A pesar de la excelente formación del operador, las conclusiones en la identificación de las discontinuidades presentes en un material son muy subjetivas, dada la forma en que son obtenidas, razón por la cual se justifica el introducir nuevas herramientas producto del creciente avance tecnológico que impulsen el perfeccionamiento en la caracterización de las discontinuidades.

Es por esto que decidimos estudiar la posibilidad de crear un software capaz de simular la experticia de personal altamente capacitado para obtener una buena aproximación en la clasificación de discontinuidades permitiendo la reducción de costos en este tipo de ensayos, haciendo posible que estos puedan ser realizados por personal menos especializado.

Para lograr esto se usaran herramientas de procesamiento de señales para así, poder analizar las respuestas ultrasónicas de los distintos tipos de defectos estudiados, también serán usadas técnicas para el reconocimiento de patrones, las cuales intentan simular la capacidad humana de reconocer un objeto de otro, gracias a la comparación de valores característicos de un objeto contra una referencia llamada Patrón.

# INDICE GENERAL

---

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <u>Capítulo I</u> .....                                                                   | 7  |
| <u>INTRODUCCIÓN A LOS METODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS</u> .....                        | 7  |
| <u>1.1 INTRODUCCIÓN</u> .....                                                             | 7  |
| <u>1.2 OBJETIVO DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS</u> .....                                  | 8  |
| <u>1.3 CARACTERISTICAS DE LAS DISCONTINUIDADES Y SELECCIÓN DEL METODO DE ENSAYO</u> ..... | 8  |
| <u>1.4 INDICACIÓN, DISCONTINUIDAD Y DEFECTO</u> .....                                     | 9  |
| <u>1.5 CLASIFICACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES</u> .....                                    | 10 |
| <u>1.5.1 DISCONTINUIDADES INHERENTES</u> .....                                            | 10 |
| <u>1.5.2 DISCONTINUIDADES DE PROCESO</u> .....                                            | 11 |
| <u>1.5.3 DISCONTINUIDADES DE SERVICIO</u> .....                                           | 11 |
| <u>Capítulo II</u> .....                                                                  | 12 |
| <u>ENSAYOS POR ULTRASONIDO</u> .....                                                      | 12 |
| <u>2.1 INTRODUCCION</u> .....                                                             | 12 |
| <u>2.2 NATURALEZA Y PROPIEDADES DE LAS ONDAS ULTRASONICAS</u> .....                       | 14 |
| <u>2.3 PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS ULTRASÓNICAS</u> .....                                    | 14 |
| <u>2.4 VARIABLES MÁS IMPORTANTES</u> .....                                                | 16 |
| <u>2.5 TIPOS DE ONDA</u> .....                                                            | 16 |
| <u>2.5.1 ONDAS LONGITUDINALES</u> .....                                                   | 16 |
| <u>2.6 COMPORTAMIENTO DE LAS ONDAS ULTRASÓNICAS EN SUPERFICIES LIMITE</u> .....           | 17 |
| <u>2.6.1 INCIDENCIA NORMAL</u> .....                                                      | 18 |
| <u>2.6.2 INCIDENCIA ANGULAR</u> .....                                                     | 21 |
| <u>2.6.2.1 LEYES DE REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN</u> .....                                      | 22 |
| <u>2.7 ATENUACIÓN DE ONDAS ULTRASÓNICAS</u> .....                                         | 23 |
| <u>2.8 CARACTERISTICAS DEL CAMPO ULTRASONICO</u> .....                                    | 24 |
| <u>2.8.1 CAMPO PROXIMO Y CAMPO LEJANO</u> .....                                           | 25 |
| <u>2.9 METODOS BÁSICOS DE INSPECCIÓN ULTRASÓNICA</u> .....                                | 27 |
| <u>2.9.1 PRESENTACIÓN DE LOS DATOS</u> .....                                              | 29 |
| <u>2.9.2 INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS (A-scans)</u> .....                                  | 30 |
| <u>2.10 TECNICAS DE INPECCIÓN ANGULAR</u> .....                                           | 31 |
| <u>2.11 PALPADORES</u> .....                                                              | 32 |
| <u>2.11.1 PALPADORES DE CONTACTO</u> .....                                                | 32 |
| <u>2.11.1.1 PALPADORES ANGULARES</u> .....                                                | 33 |

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b><u>Capítulo III</u></b>                                 | <b>34</b> |
| <b><u>PRINCIPIOS DE SOLDADURA</u></b>                      | <b>34</b> |
| <b><u>3.1 INTRODUCCIÓN</u></b>                             | <b>34</b> |
| <b><u>3.2 SOLDADURA CON ARCO</u></b>                       | <b>35</b> |
| <b><u>3.3 ASPECTOS METALÚRGICOS DE LA SOLDADURA</u></b>    | <b>36</b> |
| 3.3.1 AGRIETAMIENTO EN FRIO                                | 38        |
| 3.3.2 AGRIETAMIENTO EN CALIENTE                            | 39        |
| 3.3.3 RIESGOS DE LA ABSORCIÓN DE GASES EN EL METAL FUNDIDO | 40        |
| 3.3.4 CONVENIENCIA DE UN UMBRAL MÍNIMO DE S                | 41        |
| <b><u>3.4 DEFECTOS ESTRUCTURALES EN LA SOLDADURA</u></b>   | <b>42</b> |
| <b><u>3.5 DEFECTOLOGIA DE LAS UNIONES SOLDADAS</u></b>     | <b>42</b> |
| 3.5.1 GRUPO 1. FISURAS                                     | 43        |
| 3.5.1.1 RESPUESTA ULTRASÓNICA                              | 45        |
| 3.5.1.2 CAUSAS Y CORRECCIÓN DEL DEFECTO                    | 45        |
| 3.5.2 GRUPO 2. CAVIDADES Y POROSIDADES                     | 46        |
| 3.5.2.1 RESPUESTA ULTRASÓNICA                              | 47        |
| 3.5.2.2 CAUSAS Y CORRECCIÓN DEL DEFECTO                    | 48        |
| 3.5.3 GRUPO 3. INCLUSIONES SÓLIDAS                         | 49        |
| 3.5.3.1 RESPUESTA ULTRASÓNICA                              | 50        |
| 3.5.3.2 CAUSAS Y CORRECCIÓN DEL DEFECTO                    | 50        |
| 3.5.4 GRUPO 4A. FALTA DE FUSIÓN                            | 51        |
| 3.5.4.1 RESPUESTA ULTRASÓNICA                              | 51        |
| 3.5.4.2 CAUSAS Y CORRECCIÓN DEL DEFECTO                    | 51        |
| 3.5.5 GRUPO 4B. FALTA DE PENETRACIÓN                       | 52        |
| 3.5.5.1 RESPUESTA ULTRASÓNICA                              | 52        |
| 3.5.5.2 CAUSAS Y CORRECCIÓN DEL DEFECTO                    | 52        |
| 3.5.6 GRUPO 5. DEFECTOS DE FORMA                           | 53        |
| 3.5.6.1 CAUSAS Y CORRECCIÓN DEL DEFECTO                    | 56        |
| <b><u>Capítulo IV</u></b>                                  | <b>58</b> |
| <b><u>PROCESAMIENTO DE SEÑALES</u></b>                     | <b>58</b> |
| <b><u>4.1 INTRODUCCIÓN</u></b>                             | <b>58</b> |
| <b><u>4.2 PROCESAMIENTO DE SEÑALES</u></b>                 | <b>59</b> |
| <b><u>4.3 TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER</u></b>         | <b>60</b> |
| <b><u>4.4 TRANSFORMADA RAPIDA DE FOURIER (FFT)</u></b>     | <b>62</b> |
| <b><u>Capítulo V</u></b>                                   | <b>63</b> |
| <b><u>RECONOCIMIENTO DE PATRONES</u></b>                   | <b>63</b> |
| <b><u>5.1 INTRODUCCIÓN</u></b>                             | <b>63</b> |
| <b><u>5.2 SELECCIÓN DE CARACTERÍSTICAS</u></b>             | <b>65</b> |
| <b><u>5.3 DESARROLLO DEL CLASIFICADOR</u></b>              | <b>66</b> |
| <b><u>5.4 VALIDACION DE RESULTADOS</u></b>                 | <b>69</b> |

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| <u>Capítulo VI</u>                                        | 70  |
| <u>PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL</u>                         | 70  |
| <u>6.1 DESCRIPCIÓN DE RECURSOS UTILIZADOS</u>             | 70  |
| 6.1.1 EQUIPOS                                             | 70  |
| 6.1.2 SOLDADURAS PATRÓN                                   | 71  |
| 6.1.3 SOFTWARE                                            | 72  |
| <u>6.2 INSPECCIÓN ULTRASÓNICA</u>                         | 72  |
| 6.2.1 FRECUENCIA DE ENSAYO                                | 73  |
| 6.2.2 CALIBRACIÓN ESTANDAR DEL EQUIPO DE ULTRASONIDO      | 73  |
| 6.2.3 TECNICA DE INSPECCIÓN                               | 73  |
| <u>6.3 RECOLECCION DE DATOS</u>                           | 75  |
| <u>6.4 DISEÑO DEL CLASIFICADOR</u>                        | 76  |
| <u>6.5 DISEÑO DEL SOFTWARE</u>                            | 77  |
| <u>Capítulo VII</u>                                       | 83  |
| <u>RESULTADOS</u>                                         | 83  |
| <u>7.1 CARACTERIZACION PRIMARIA DE DEFECTOS</u>           | 83  |
| <u>7.2 CURVAS</u>                                         | 85  |
| <u>7.3 CARACTERISTICAS UTILIZADAS POR EL CLASIFICADOR</u> | 94  |
| <u>7.4 RESULTADOS DEL CLASIFICADOR</u>                    | 104 |
| <u>CONCLUSIONES</u>                                       | 112 |
| <u>RECOMENDACIONES</u>                                    | 113 |
| <u>REFERENCIAS</u>                                        | 114 |
| <u>BIBLIOGRAFÍA</u>                                       | 115 |
| <u>ANEXOS</u>                                             | 117 |
| <u>ANEXO A-1</u>                                          | 118 |
| <u>Calibración del Equipo</u>                             | 118 |
| <u>ANEXO A-2</u>                                          | 123 |
| <u>Uso del Software</u>                                   | 123 |

# ***Capítulo I***

## ***INTRODUCCIÓN A LOS METODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS***

---

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

Un Ensayo no Destructivo es la Inspección de un objeto o material, de cualquier forma que no afecte su futura utilización. El propósito del ensayo puede ser el detectar Discontinuidades, Fallas Internas o Externas, o medir algunas de las propiedades de la pieza bajo estudio.

Los Ensayos no Destructivos se utilizan industrialmente en el control de calidad así como en el mantenimiento predictivo, para estimar tiempos de vida remanente de una máquina o equipo, con el fin de evitar en lo posible paradas forzadas causadas por: Envejecimiento, Fatiga, o cualquier otro Modo de Falla detectable en un componente.

En la aplicación de estos ensayos se emplea casi toda forma de energía, las cuales van desde energía mecánica de vibración hasta ondas electromagnéticas. Las herramientas principales de los **E.N.D.** (Ensayos No Destructivos) son: Radiografía, Ultrasonido, Líquidos Penetrantes, Partículas Magnéticas, Corrientes Inducidas, Termografía y Emisión Acústica, entre otros [1].

## **1.2 OBJETIVO DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

El objetivo de estos es el asegurar la calidad de la pieza en estudio, para lo cual es necesario tomar en cuenta tres factores, que son:

- Obtener una imagen visual relativa a determinar la presencia, locación y severidad de las discontinuidades presentes en la pieza en estudio.
- Identificar la naturaleza de dichas discontinuidades sin perjudicar el material.
- Clasificar las discontinuidades aceptables de las que no lo son, de acuerdo con especificaciones estandarizadas (Normas), o criterios de aceptabilidad, que definan un tamaño crítico de defecto.

La ejecución de los procedimientos de ensayo y el análisis de los resultados, requiere del conocimiento de todo lo concerniente a: Material, Dimensiones, Formas y Procesos de Fabricación.

## **1.3 CARACTERISTICAS DE LAS DISCONTINUIDADES Y SELECCIÓN DEL METODO DE ENSAYO**

Las características de las discontinuidades abarcan un análisis específico de cada una de ellas, estas características son:

- Ubicación de la discontinuidad: Estas pueden ser superficiales, subsuperficiales o internas; esto se debe a múltiples factores, tanto en la etapa de manufactura como en el servicio.
- Orientación de la discontinuidad: La orientación de las discontinuidades en algunos casos como en elementos sometidos a tensión es un importante indicio para la aplicación del criterio de identificación de defectos.



- Forma de la discontinuidad: Estas pueden ser Planas, Esféricas, Cilíndricas, etc. Según esta forma las discontinuidades pueden ser menores o mayores concentradores de esfuerzo, por lo que es bastante importante la estimación de esta.
- Análisis Metalúrgico: A través de este análisis se puede estimar si la discontinuidad fue provocada por un incorrecto proceso de manufactura, o si por el contrario fue inducida en servicio, y en este caso se puede determinar el modo de falla, y si este es un modo esperado para las solicitaciones a la que esta sometido el elemento, o si obedece a condiciones para las que dicho elemento no fue diseñado.

Para la selección del método de ensayo no destructivo, debemos tener claro los diferentes métodos existentes, ya que pueden suplementarse uno a otro y varios métodos pueden ser aplicados para cubrir el mismo objetivo. La selección de un método a diferencia de otro se debe basar en ciertos parámetros, como:

- Tipo de origen de las discontinuidades que desean ser descubiertas.
- Proceso de manufactura de la pieza.
- Accesibilidad de la pieza.
- Nivel de aceptabilidad deseado.
- Equipos disponibles.

## **1.4 INDICACIÓN, DISCONTINUIDAD Y DEFECTO**

Generalmente se habla de defecto, entendiendo por esto toda indicación que aparece; esta argumentación es totalmente falsa, por cuanto no es posible la fabricación de materiales totalmente homogéneos visto desde su misma microestructura, además las indicaciones pueden ser producidas por condiciones geométricas de la misma pieza, como: Bordes Agudos, Cambios de Sección y

Perforaciones o Cortes. Lo correcto es hablar de indicaciones, entendiéndose que todo lo que genera una indicación no será necesariamente una discontinuidad y mucho menos un defecto.

Toda indicación que sea producto de causas distintas a la geometría de la pieza de estudio debe ser tratada como discontinuidad. En especial se definen como faltas de homogeneidad en las propiedades del material.

## **1.5 CLASIFICACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES**

Cada tipo de discontinuidad puede pertenecer a una de tres categorías generales, que son: Discontinuidades Inherentes, Discontinuidades de Proceso y Discontinuidades de Servicio.

### **1.5.1 DISCONTINUIDADES INHERENTES**

Las discontinuidades inherentes son aquellas que están asociadas con la solidificación del material fundido. Estas pueden ser de dos tipos:

- Forjado: Las discontinuidades inherentes por forja cubren todas aquellas discontinuidades relacionadas a la colada del metal original.
- Fundición: Incluyen aquellas discontinuidades que pueden ser causadas por variación de parámetros de manufactura como: velocidad de alimentación, fallas a la entrada del material, temperatura excesiva de vaciado, gases atrapados, mal manejo y almacenamiento de las piezas.

### **1.5.2 DISCONTINUIDADES DE PROCESO**

Estas discontinuidades están relacionadas con los procesos de fabricación, como: Mecanizado, Moldeo, Extrusión, Laminado, Soldadura, Tratamiento Térmico y Recubrimientos metálicos (Clading).

### **1.5.3 DISCONTINUIDADES DE SERVICIO**

Estas discontinuidades son aquellas relacionadas a las condiciones de servicio a que pueden estar expuestas las piezas, como: Corrosión, Fatiga, Corrosión Bajo Tensión, Creep, Fractura en Caliente, etc.

## **Capítulo II**

# **ENSAYOS POR ULTRASONIDO**

---

### **2.1 INTRODUCCION**

La inspección por ultrasonido es un método no destructivo en el que una emisión de ondas sónicas de alta frecuencia es introducida en un material para detectar discontinuidades superficiales o subsuperficiales. Las ondas ultrasónicas viajan a través del material donde son reflejadas por los cambios de densidad (Interfaces) o de propiedades elásticas, y atenuadas por la resistencia del material.

La inspección por ultrasonido es uno de los **E.N.D.** más utilizado. Su aplicación primaria en nuestro país, es la inspección de uniones soldadas, para la detección y caracterización de las diversas discontinuidades que se generan. Es usada para garantizar características, medir espesor y extensión de la corrosión en un material; de igual manera se usa para determinar propiedades físicas y estructurales, tamaño de grano y constatare elástica.

La mayoría de estas aplicaciones se realizan a frecuencias entre 0,1 y 25 MHz, cuidando siempre que la amplitud de vibración sea menor a el límite elástico de la pieza inspeccionada, así se previenen efectos permanentes en el material.

La mayoría de los equipos utilizados en este tipo de inspección detectan las discontinuidades al monitorear una o más de las siguientes características:

- Reflexión de onda
- Tiempo transcurrido durante la propagación de la onda dentro de la pieza estudiada desde un transductor a otro.
- Atenuación de la onda por absorción y dispersión en la pieza.
- Presentación de la respuesta espectral.

Las principales ventajas de la inspección por ultrasonido en comparación a otros métodos de **E.N.D.** son:

- Mayor poder de penetración, lo que permite la detección de discontinuidades profundas en la pieza.
- Alta sensibilidad, lo que permite la detección de discontinuidades bastante pequeñas.
- Mayor precisión que otros métodos en la determinación de la posición, tamaño, caracterización y orientación de la discontinuidad.
- Solo una superficie es necesaria para realizar la inspección.
- Su operación no es riesgosa para el operador.
- El equipo es transportable.
- Posibilidad de digitalización de la señal.

Esto entre otras ventajas. Dentro de las desventajas que presenta el método tenemos:

- Requiere de una cuidadosa operación manual por técnicos experimentados.
- El conocimiento extenso de la técnica es necesario para seguir los procesos de la inspección.
- La inspección de piezas rugosas, muy pequeñas o de poco espesor es difícil de realizar.

- Es necesario un acoplante para proveer una efectiva transferencia de la energía desde el transductor hasta la pieza.
- Son necesarios los patrones para la calibración y caracterización de las discontinuidades.

## **2.2 NATURALEZA Y PROPIEDADES DE LAS ONDAS ULTRASONICAS**

Las ondas ultrasónicas son vibraciones mecánicas, de idéntica naturaleza que las ondas sónicas, diferenciándose en su frecuencia, la cual se encuentra por encima del espectro audible humano (16 a 20 Khz.).

En principio, las ondas ultrasónicas pueden propagarse dentro de todos los medios donde exista materia capaz de vibrar. Ahora bien, dichas ondas son absorbidas por todos los materiales, a causa de la transformación de la energía vibratoria en otros tipos de energía como por ejemplo el calor, existiendo materiales con muy fuerte poder de absorción por lo que no todos son aptos para la propagación de las ondas.

## **2.3 PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS ULTRASÓNICAS**

La naturaleza de las ondas acústicas es sinusoidal por lo que una representación de la propagación de esta en un medio es el sistema péndulo resorte (Fig. 2.1), la fuerza suministrada por el resorte aumenta proporcionalmente con el desplazamiento, esta fuerza es conocida como Fuerza Elástica.

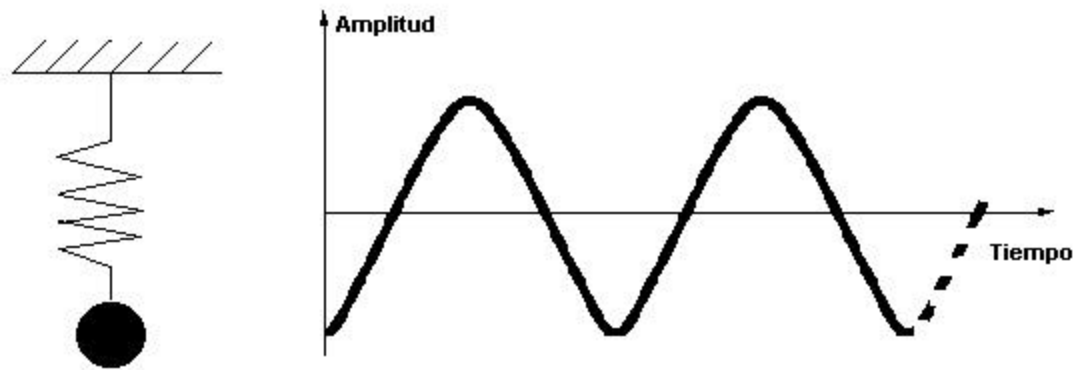


Fig. 2.1 Oscilación sinusoidal del sistema péndulo resorte.

Podemos imaginar un cuerpo donde las partículas que lo forman se mantienen en posición gracias a fuerzas elásticas (Fig. 2.2). Si este cuerpo se somete a esfuerzos por debajo de su límite elástico, se comportará como el modelo antes mencionado. Ahora supongamos que inducimos que las partículas de uno de los bordes oscilan sinusoidalmente, de manera que todas las partículas lo hagan con la misma amplitud y frecuencia. Las fuerzas elásticas transmitirán las oscilaciones a las partículas adyacentes, las cuales a su vez transmitirán este movimiento vibratorio a las siguientes y así sucesivamente.

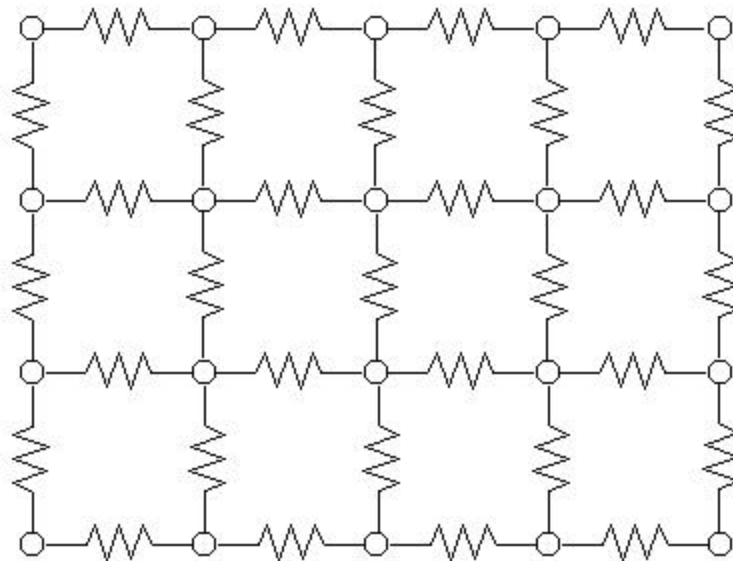


Fig. 2.2 Modelo de cuerpo elástico

Este modelo de péndulo resorte no puede ser aplicado a líquidos o gases, ya que las partículas individuales no están sujetas a una posición fija con respecto a las restantes, no obstante, los líquidos y los gases ofrecen cierta resistencia cuando son comprimidos o expandidos, tal como ocurre, por ejemplo, en una bomba de aire, por consiguiente pueden transmitir ondas elásticas, pero solo longitudinales, ya que los otros tipos necesitan de fuerzas interatómicas muy intensas [2].

## **2.4 VARIABLES MÁS IMPORTANTES**

Estas son las variables de las que depende la transmisión de ondas en un medio [3]:

- Frecuencia ( $f$ ).
- Longitud de Onda ( $\lambda$ ).
- Velocidad Acústica ( $C$ ).
- Amplitud ( $A$ ).
- Impedancia Acústica ( $Z$ ).

## **2.5 TIPOS DE ONDA**

Basado en el modo en que las partículas se desplazan las ondas ultrasónicas son clasificadas como: Ondas Longitudinales, Ondas Transversales, Ondas Superficiales y Ondas de Lamb [2] [3].

### **2.5.1 ONDAS LONGITUDINALES**

Estas son también llamadas Ondas de Compresión, son el tipo de onda ultrasónica más ampliamente usada en la inspección de materiales. Estas ondas viajan a través del material como una serie de compresiones o enrarecimientos (debido a que la densidad de las partículas varia), en los que las partículas transmiten la onda vibrando hacia atrás y hacia delante en la dirección de propagación de la onda (Fig. 2.3).



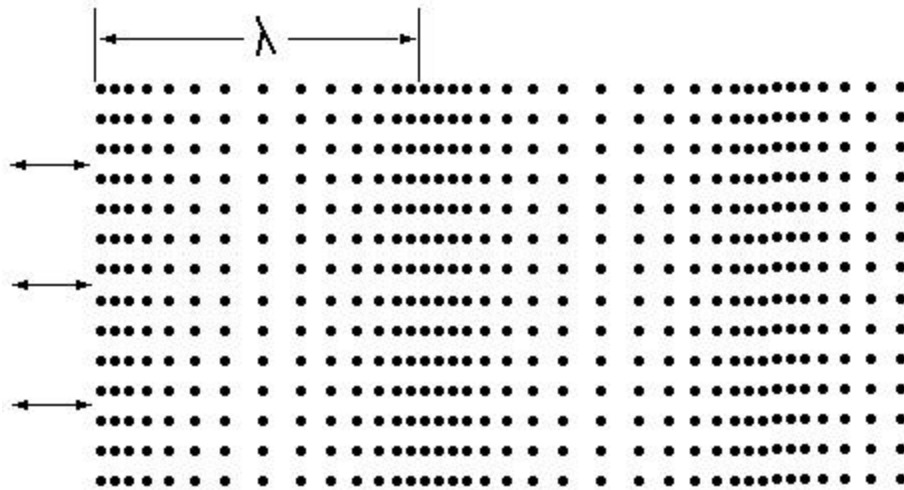


Fig.2.3 Ondas Longitudinales.

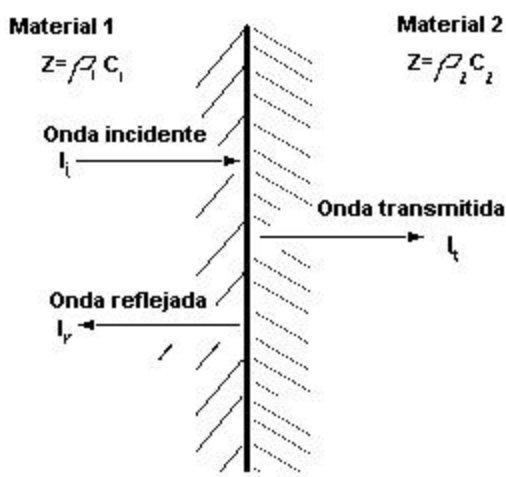
La velocidad de propagación de la onda longitudinal esta alrededor de 6000 m/s en el Acero, 1500 m/s en Agua y 330m/s en el Aire.

## 2.6 COMPORTAMIENTO DE LAS ONDAS ULTRASÓNICAS EN SUPERFICIES LIMITE

Cualquier material presenta superficies límite o contornos que alteran la libre propagación de la onda. De la superficie límite, la onda retorna de alguna manera; si la superficie límite es suave, retorna según un fenómeno de reflexión, y si es rugosa, retorna de acuerdo con un fenómeno de dispersión. En este caso las irregularidades de la superficie se deben medir en términos de longitud de onda [2]. Si la superficie limita con otro material sólido que esté adherido a este, la onda acústica se propagará más o menos alterada en dirección, intensidad y modo.

### 2.6.1 INCIDENCIA NORMAL

Si una onda acústica incide perpendicularmente sobre una superficie plana y suave que separa a dos medios distintos, una parte de la energía transmitida por la onda se refleja y vuelve en la misma dirección de la incidencia y otra parte se propaga a través del segundo medio manteniendo la dirección y sentido inicial.



Si  $I_i$  es la intensidad de la onda incidente,  $I_r$  la de la porción reflejada,  $I_t$  la transmitida y  $Z_1$ ,  $Z_2$ , las respectivas Impedancias Acústicas de los dos materiales, la incidencia perpendicular queda expresada gráficamente de la siguiente forma (Fig.2.4).

Fig. 2.4 Incidencia Perpendicular

De donde tenemos las siguientes relaciones [2] [4]:

$$R = \frac{I_r}{I_i} \text{ Coeficiente de reflexión y } T = \frac{I_t}{I_i} \text{ coeficiente de transmisión.} \quad (2.1)$$

Del balance energético expresado en intensidad tenemos:

$$I_i = I_r + I_t \quad (2.2)$$

En consecuencia:

$$R = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_1 + Z_2)^2} ; T = \frac{4Z_1 \cdot Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \quad (2.3)$$

Como podemos ver, para la intensidad acústica es indiferente el lado de la superficie límite sobre la cual incide la onda, ya que los valores de  $R$  y  $T$  no cambian al permutarse entre si  $Z_1$  y  $Z_2$ .

Análogamente tenemos para la Presión Acústica [2] [4] las siguientes relaciones:

$$R' = \frac{P_r}{P_i} \text{ Coeficiente de Reflexión y } T' = \frac{P_t}{P_i} \text{ Coeficiente de Transmisión.} \quad (2.4)$$

$$R' = \frac{P_r}{P_i} = \sqrt{\frac{2Z_1 \cdot I_r}{2Z_1 \cdot I_i}} = \sqrt{R} = \frac{(Z_2 - Z_1)}{(Z_2 + Z_1)} \quad (2.5)$$

$$T' = \frac{P_t}{P_i} = \sqrt{\frac{2Z_2 \cdot I_t}{2Z_1 \cdot I_i}} = \sqrt{T} \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \quad (2.6)$$

De la primera de estas expresiones se deduce que la presión acústica reflejada será de la misma amplitud, cualquiera que sea el lado de incidencia en la superficie límite, no ocurriendo lo mismo con la fase de la onda ya que como podemos observar la onda reflejada permanecerá en fase en el caso en que  $Z_2 > Z_1$ , mientras que será negativa si  $Z_2 < Z_1$ .

De la segunda de estas expresiones tenemos que la presión acústica transmitida depende del orden de los materiales, de manera que si  $Z_2 > Z_1$ ,  $T' > 1$ , lo que indica que la amplitud de la onda transmitida será mayor que la de la onda incidente y en caso contrario  $Z_2 < Z_1$ ,  $T' < 1$ , menor.

El balance de la presión acústica, en contraste con el de la energía o de intensidad, será:

$$P_i + P_r = P_t \quad (2.7)$$

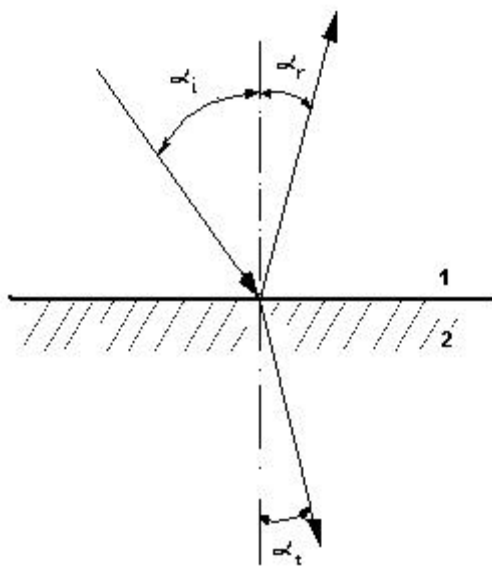
o bien

$$1 + R' = T' \quad (2.8)$$

Además podemos decir de estas expresiones matemáticas que:

1. Cuando las impedancias son iguales en ambos medios, la onda atraviesa la superficie límite sin ser perturbada ( $R = R' = 0$ ,  $T = T' = 1$ ).
2. Cuando las impedancias son muy distintas como en el caso de gases en contacto con sólidos o líquidos, las ondas se reflejan prácticamente en su totalidad, por lo que estas superficies límite pueden considerarse como contornos con el vacío (Superficies Libres).
3. Puesto que las ondas transversales no pueden transmitirse en medios líquidos o gaseosos, estas se reflejan totalmente en las superficies que limitan con gases, ( $R = R' = 1$ ,  $T = T' = 0$ ).

## 2.6.2 INCIDENCIA ANGULAR



Si una onda acústica incide oblicuamente en una superficie límite plana y suave que separa dos medios 1 y 2, con un ángulo de incidencia  $\alpha_i$ , se producen ondas reflejadas y transmitidas de modo semejante al fenómeno óptico (Fig. 2.5). Las ondas transmitidas se denominan ondas refractadas ya que su dirección cambia en relación con la dirección de incidencia.

Fig. 2.5 Reflexión y Refracción de una onda con incidencia oblicua en la interfase plana que separa 2 medios.

Los ángulos de reflexión  $\alpha_r$  y de refracción  $\alpha_t$ , dependen del ángulo de incidencia y de las velocidades acústicas de los dos materiales. Además de estos tenemos el fenómeno de la conversión de modos el cual consiste en que un tipo de onda puede transformarse en otro, es decir, las ondas transversales en longitudinales y viceversa (Fig. 2.6). Este fenómeno puede afectar la totalidad de la onda o solo una porción de esta. La suma de los cambios que ocurren en la superficie límite depende del ángulo de incidencia y de la velocidad de la onda que salen del punto de incidencia [2] [3].

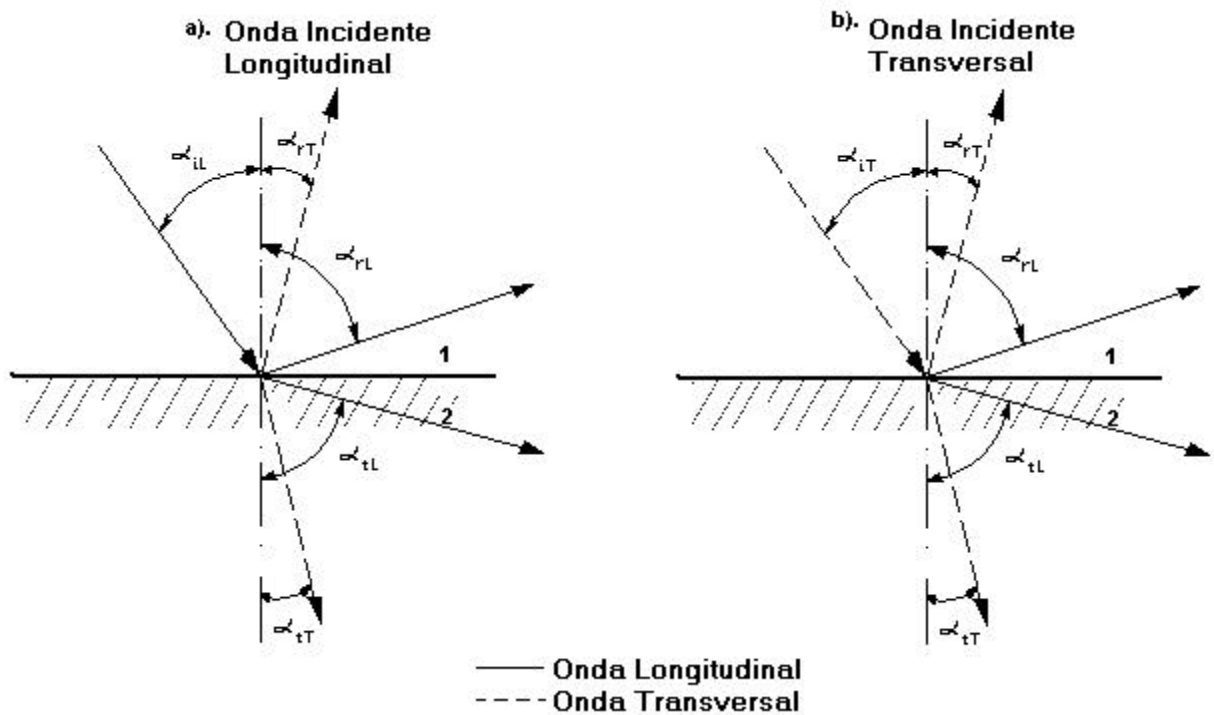


Fig. 2.6 Modos de transformación de una Onda Incidente

### 2.6.2.1 LEYES DE REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN

Las direcciones de las ondas reflejadas y transmitidas están dadas por la ley de Snell:

$$\frac{\text{Sen} \alpha_i}{\text{Sen} \alpha_r} = \frac{V_1}{V_2} \quad (2.9)$$

Donde los ángulos se identifican en la figura 2.6.

Se puede observar que si la onda incidente y la reflejada son del mismo tipo forman el mismo ángulo con la normal a la superficie límite, ya que poseen la misma velocidad acústica.

Si el ángulo de incidencia es pequeño las ondas se propagaran en el segundo medio experimentando un cambio de modo desde la superficie límite, resultando la propagación simultánea de ondas longitudinales y transversales. Si el ángulo aumenta, la dirección de la onda longitudinal refractada se acerca al plano de la superficie límite, para un valor específico del ángulo de incidencia  $\theta_i$ , el ángulo de refracción  $\theta_t$  será igual a  $90^\circ$  a partir del cual la onda longitudinal refractada no se propagara en el material, saliendo solo una onda transversal refractada que se propagara en el segundo medio, este valor de  $\theta_i$  es conocido **Primer Angulo Crítico**. Un segundo valor específico de  $\theta_i$  donde  $\theta_r$  será igual a  $90^\circ$  para la onda transversal refractada es llamado **Segundo Angulo Crítico** [3]

En la inspección por ultrasonido es bastante confusa para el operador la aparición de ondas longitudinales y transversales ya que como tienen velocidades de propagación distintas, ocasionan la recepción de dos ecos a diferentes velocidades haciendo más difícil la inspección. Esto se evita con la eliminación de la onda longitudinal a través de la utilización del **Primer Angulo Crítico** en el Palpador Angular.

## 2.7 ATENUACIÓN DE ONDAS ULTRASÓNICAS

La intensidad de una onda ultrasónica que es recibida por un transductor luego de su paso a través del material inspeccionado es considerablemente menor a la intensidad inicial de transmisión. Los factores primordialmente responsables de esta disminución de intensidad en la onda pueden ser clasificados como: Perdidas por Transmisión, Efectos de Interferencia y Difusión de la Onda.

Las Perdidas por Transmisión incluyen:

- La Absorción.
- La Dispersión y los efectos debidos a la Impedancia Acústica y las Superficies Límite.

Los efectos por Interferencia incluyen:

- La Difracción y otros Efectos que crean Cambios de Fase y Frecuencia.

La Difusión envuelve principalmente una transición de ondas planas a otras (Esféricas o Cilíndricas), dependiendo de la forma de la cara del elemento transductor [3].

## **2.8 CARACTERISTICAS DEL CAMPO ULTRASONICO**

Durante su propagación el haz sónico experimenta una serie de cambios, estos cambios ocurren dentro de unas zonas bien definidas las cuales se conocen como campos. Según su situación a lo largo del desplazamiento del haz sónico, pueden ser [1]:

- Campo Cercano.
- Zona de Transición.
- Campo Lejano.



### 2.8.1 CAMPO CERCANO Y CAMPO LEJANO

Debido a que la totalidad de las partículas que conforman un transductor no oscilan exactamente en una fase común, se presenta una superposición de las ondas generadas por cada una de ellas, que produce una onda resultante de comportamiento irregular en la proximidad del oscilador, lo que ocasiona un fenómeno de interferencia del campo ultrasónico, el cual se caracteriza por presentar una serie de máximos y mínimos de presión acústica (principio de Huygens) [3]. La extensión de este campo de interferencia depende de la relación entre el diámetro del oscilador  $D$  y la Longitud de onda transmitida  $\lambda$ .

En la dirección de propagación de la onda existe un último máximo localizado en el eje, es decir, el Máximo Principal, este último máximo de presión acústica determina el fin del campo de interferencia, también denominado campo próximo (Fig. 2.7), en contraste con el campo libre de interferencia llamado campo lejano (Fig. 2.8).

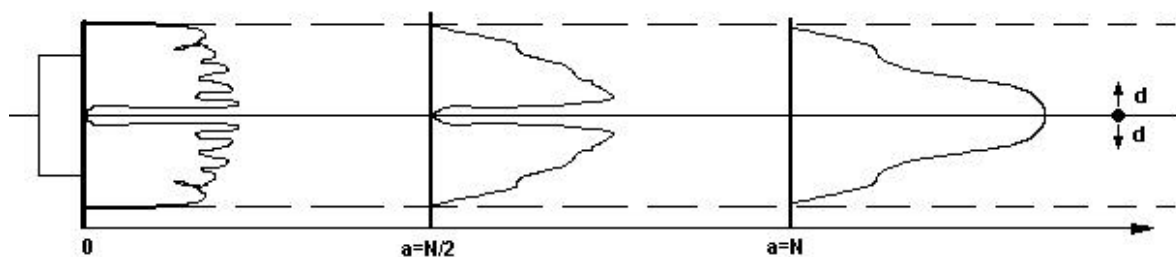


Fig. 2.7 Campo Próximo a un oscilador en una onda plana continua y distribución de presión acústica

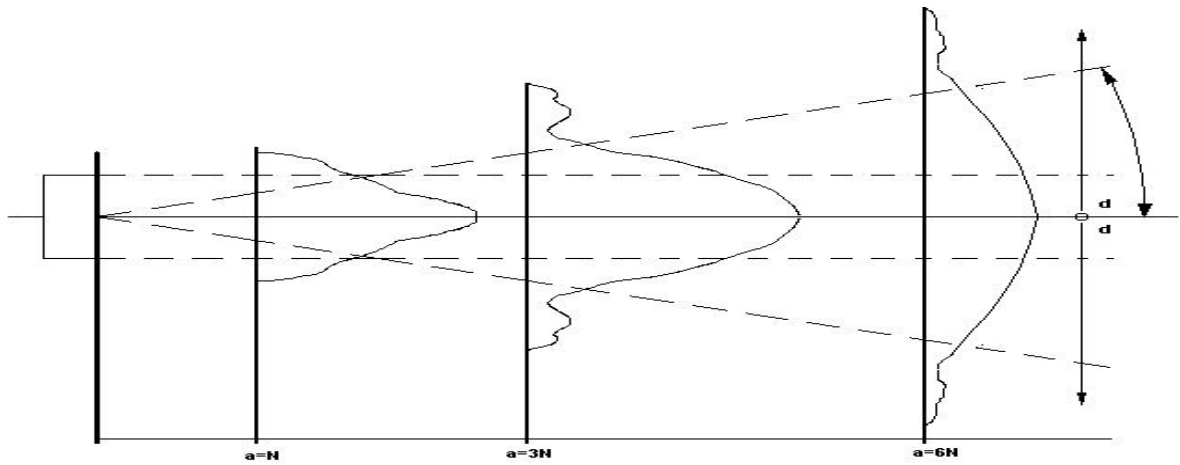


Fig. 2.8 Transición desde el campo próximo al campo lejano, con distribución de la presión acústica

La Longitud del campo próximo se puede calcular con precisión mediante la siguiente expresión:

$$N = \frac{D^2 - l^2}{4l} \quad (2.10)$$

Aunque para longitudes de onda muy cortas comparadas con el diámetro  $D$  del oscilador, se puede despreciar el término  $l^2$  en el numerador, con lo que en los casos prácticos es suficiente la siguiente expresión:

$$N = \frac{D^2}{4l} = \frac{R^2}{l} = \frac{S}{p \cdot l} \quad (2.11)$$

Donde:  $R$ = radio y  $S$ = superficie del oscilador.

El efecto del campo próximo en la detección de defectos es mostrado en la siguiente figura.

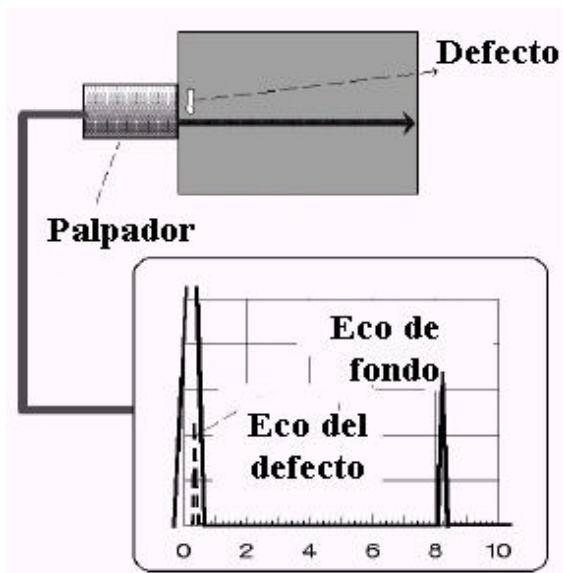


Fig. 2.9 Efecto del Campo próximo en la detección de defectos.

## 2.9 METODOS BÁSICOS DE INSPECCIÓN ULTRASÓNICA

Los dos principales métodos de inspección ultrasónica son los métodos de transmisión y los métodos pulso-eco. La principal diferencia entre estos métodos es que el de transmisión involucra solo la medición de la atenuación de la señal, mientras que el método pulso-eco puede ser usado para la medición tanto del tiempo de transito de la onda así como de la atenuación de esta.

El método pulso-eco es, el más usado de estos e involucra la detección de ecos producidos por la reflexión de los pulsos ultrasónicos en las discontinuidades o las interfases en el interior de la pieza de estudio. Este método es usado en la localización de defectos y medición de espesores. La profundidad de los defectos es determinada por el tiempo transcurrido entre la emisión del pulso hasta la recepción del eco producido por dichos defectos.

La mayoría de los métodos pulso-eco consisten de:

- Reloj Electrónico.
- Generador Eléctrico de Señales, o Pulsador.
- Transductor Emisor.
- Transductor Receptor.
- Amplificador de Señales.
- Dispositivo Presentador (Display).

En un sistema pulso-eco de transductor único, (Fig. 2.10) el reloj electrónico acciona el generador de señal, el cual genera un intervalo corto de alta frecuencia, simultáneamente el reloj activa un circuito medidor conectado al dispositivo presentador. El operador puede preseleccionar un intervalo constante entre pulsos mediante la manipulación de los controles del instrumento (usualmente entre 60 y 20000 veces por segundo), así como la frecuencia de salida del generador.

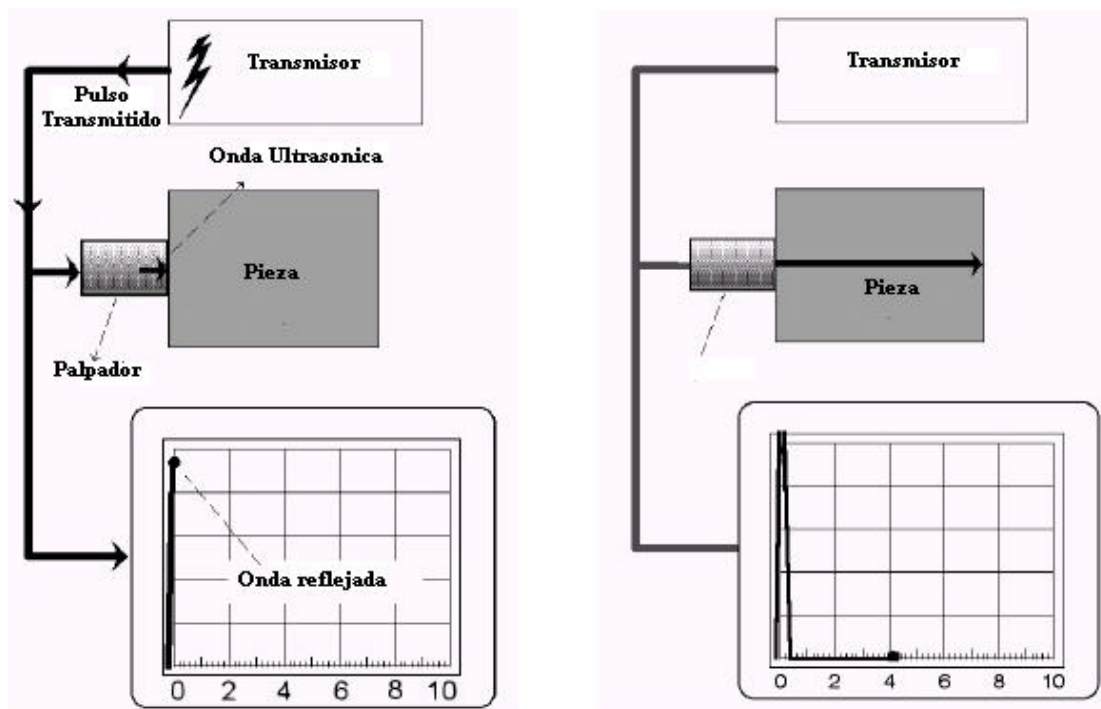


Fig. 2.10 Pulso eco.

Teóricamente la máxima profundidad de inspección es controlada por la tasa de repetición del pulso. Por ejemplo, si un pulso de 10 MHz es transmitido a una tasa de 500 pulsos por segundo, una onda longitudinal podrá viajar 12 m en acero o aluminio antes que el siguiente pulso sea emitido. Pero en la práctica la profundidad de inspección máxima es bastante menor debido a la atenuación de la onda.

### **2.9.1 PRESENTACIÓN DE LOS DATOS**

La información de la inspección pulso-eco puede ser presentada en diferentes formas. Los formatos básicos son:

- *A-scans*: Este formato provee información cuantitativa de las amplitudes y tiempos obtenidos para un punto único en la superficie de la pieza. Este es el formato de presentación mas usado. Este puede ser usado para analizar el tipo, tamaño, y localización de defectos.
- *B-scans*: Este formato provee información cuantitativa del tiempo obtenido a lo largo de una línea de la pieza. Este formato muestra la profundidad relativa del defecto y es usado ampliamente para determinar el tamaño, localización, y orientación del defecto.
- *C-scans*: Este provee información cuantitativa o semicuantitativa de las amplitudes obtenidas sobre un área de la superficie de la pieza.

En nuestro caso se utilizara la presentación *A-scans*, por ser no solo la mas utilizada en campo si no la mas sencilla y menos costosa.

### 2.9.2 INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS (*A-scans*)

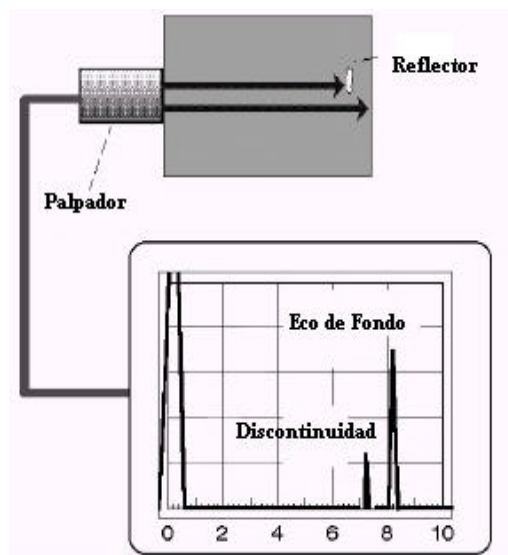


Fig. 2.11 Representación *A-scans*.

La presentación *A-scans* es siempre bastante compleja, esta puede contener Ruido Electrónico, Ecos Falsos, o Ecos Extra como resultado de la Dispersión o Modos de Conversión del Pulso Transmitido (Fig. 2.11). Además, los ecos producto de defectos presentan formas y amplitudes variables, por lo que la interpretación de la presentación *A-scans* depende de la habilidad del operador.

La forma del eco es principalmente afectada por la forma, orientación y característica de reflexión acústica de la interfase. Interfases Metal / Aire producen indicaciones agudas si la interfase es relativamente suave y paralela a la superficie. Si la interfase es curva (Poros), o rugosa (Grietas, Juntas o Laminaciones) o si no es un reflector ideal (Inclusiones Metálicas o de Escoria), la interfase producirá una indicación ancha.

La amplitud del eco es una medida de la intensidad de la onda sónica reflejada, esta es una función directa del área reflectora. Si la interfase es circular, curva o no paralela a la dirección de propagación de la onda, la amplitud del eco disminuye. Además la amplitud también disminuye al incrementarse la profundidad del reflector.

## 2.10 TECNICAS DE INPECCIÓN ANGULAR

En este tipo de técnica el pulso incide en la pieza con un ángulo oblicuo en lugar de un ángulo recto. En contraste con la inspección normal [3], esta técnica elimina los ecos de la cara frontal y trasera de la pieza, y solo muestra reflexiones de discontinuidades normales al ángulo de incidencia. La onda ultrasónica entra al material inspeccionado y se propaga por sucesivos zigzag de reflexión de los límites de la pieza hasta que es interrumpido por una discontinuidad o límite donde la onda cambia el sentido de propagación y regresa al transductor.

Esta técnica es usada para inspeccionar Juntas Soldadas, Tuberías, Chapas y Materiales Plaqueados (Cladding), donde la inspección normal no puede realizarse debido a la falta de un acoplamiento adecuado.

La (Fig. 2.12) muestra como la onda viaja a través del material desde un transductor angular por reflexiones desde la superficie en puntos llamados “nodos”. La distancia lineal entre dos nodos sucesivos en la misma superficie es llamada “*distancia de salto*” y es muy importante para definir el camino sobre el cual será desplazado para realizar una confiable y eficiente exploración de la pieza.

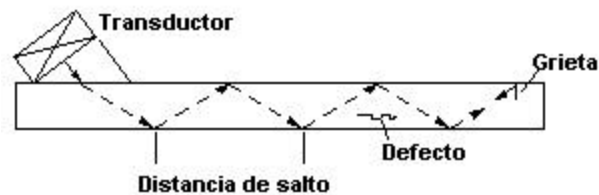


Fig. 2.12 Inspección angular

Las técnicas de inspección angular son usadas ampliamente para la localización de discontinuidades, para lo cual la base de tiempo (escala horizontal) en el osciloscopio debe ser cuidadosamente calibrada debido a la ausencia de eco de fondo [3], con lo cual no se tiene una referencia para la estimación de la profundidad de defectos.

Una vez conocida la “*distancia de salto*”, es determinada la región en la cual se debe desplazar el transductor. El palpador debe moverse en el área comprendida entre las distancias de “*medio salto*” y “*salto*”.

## **2.11 PALPADORES**

Los palpadores constituyen una de las unidades básicas del equipo de ultrasonidos y se deben considerar como parte integrante del mismo, ya que, de este conjunto, dependen las características y cualidades del haz de ultrasonidos que se propaga en el material.

Se dispone de una diversidad de tipos de palpadores, en los que se apoyan, primordialmente, el gran número de técnicas operatorias actualmente aplicables. Los palpadores se pueden clasificar en dos grandes grupos: palpadores de contacto y palpadores de inmersión [5].

### **2.11.1 PALPADORES DE CONTACTO**

Se aplican directamente a la superficie de la muestra, con cierta presión, interponiendo en la mayor parte de los ensayos un medio de acoplamiento, salvo en el caso de empleo de frecuencias muy bajas en el ensayo de ciertos materiales.



Según la dirección de propagación del haz con relación a la superficie de la muestra, estos palpadores de contacto se clasifican, a su vez, en:

- Palpadores de Incidencia Normal [5].
- Palpadores Angulares.

### 2.11.1.1 PALPADORES ANGULARES

Una cuña entre el elemento piezoeléctrico [3] y la superficie de contacto establece un ángulo fijo para el palpador (Fig. 2.13). La cuña plástica debe ser tal que reduzca o elimine las reflexiones internas que puedan existir dentro de ella, y que son causantes de efectos no deseados tales como, ecos falsos.



Fig. 2.14 Palpador Angular.

Estos palpadores son utilizados para la inspección de soldaduras en Chapas, Tuberías, así como en la inspección de piezas en las que es difícil hacer la inspección con palpador normal debido a su forma o posición.

La aplicación de estos palpadores depende de muchos factores como espesor del material y ángulo del bisel de la soldadura a inspeccionar, lo cual se encuentra en la normativa que rige este tipo de ensayo, en cuanto a la manera de efectuar los barridos este método también contempla una serie de normas a seguir [5] [8].

## ***Capítulo III***

# ***PRINCIPIOS DE SOLDADURA***

---

### **3.1 INTRODUCCIÓN**

La Soldadura es un método de trabajo que tiene por objeto unir los metales a través de técnicas razonablemente económicas, sin dejar de asegurar que la unión mantenga las propiedades Físicas, Químicas y Mecánicas adecuadas para los esfuerzos a la que estará sometida, además de ser químicamente compatible con el metal o los metales base [7].

La Soldadura tiene como finalidad, el crear enlaces atómicos entre sólidos adyacentes, aportando energía para ubicar los átomos en sus posiciones de equilibrio, reducir los óxidos presentes y evitar la formación de nuevos, produciendo continuidad metálica [3] [7].

En general la forma en que se aporta la energía para hacer posible la soldadura puede ser [7]:

- Con el uso de Calor.
- Con el uso de Presión.
- Con el uso de Ambos.

Según la forma en la que se ejecuta la soldadura tenemos que existen 3 tipos de soldadura:

- Unión por Fusión: Las partes a unir se funden juntas con la aplicación de calor y pueden usar o no presión y material de aporte (Soldadura manual al arco y Oxiacetileno).
- Unión por Resistencia Eléctrica: Debido a que la parte que se funde es muy pequeña, se hace necesario el uso de presión.
- Enlace en Fase Sólida: Ninguna de las partes se funde ni se usa material de aporte, la unión se realiza únicamente por presión, aunque se usan formas de energía tales como calor, inducción electromagnética y ultrasonido.
- Enlace en Fase Sólida-Líquida: Las partes se calientan, pero no funden y la unión se logra adicionando un metal fundido diferente, que tiene un punto de fusión mas bajo que el metal base.

### **3.2 SOLDADURA CON ARCO**

Son múltiples las posibilidades de la aplicación de la soldadura por arco eléctrico. Su campo de aplicación depende, entre otras cosas, del material a soldar y su espesor, de los requisitos que deba satisfacer el cordón de soldadura y la fabricación de la pieza a soldar.

Para cumplir con las diversas necesidades, se han desarrollado, varios procesos para soldar, los cuales se distinguen uno de otro en la manera en que se produce el arco eléctrico, forma en que se protege el electrodo y al metal de soldadura durante el proceso de soldadura, si hay o no un aporte de material y si se aplica o no presión para ayudar al proceso de unión.

Dentro de los procesos de soldadura por arco eléctrico podemos mencionar entre los más importantes [7]:

- Soldadura manual al arco con electrodo revestido (SMAW).
- Soldadura por arco con electrodo desnudo y gas protector (GMAW).
- Soldadura manual al arco con electrodo de tungsteno y gas protector (GTAW).
- Soldadura por arco sumergido (SAW).

### **3.3 ASPECTOS METALÚRGICOS DE LA SOLDADURA**

Los aspectos metalúrgicos que tienen lugar en la zona de soldadura durante el enfriamiento difieren algo de los que se observan durante el enfriamiento de una pieza fundida.

En la soldadura, el metal fundido se solidifica en cuestión de segundos, la cantidad de metal de aporte [7] rara vez excede de una pulgada cúbica. La fuente de calor y el pocillo [7] de metal fundido tienen una temperatura considerablemente más elevada que en los hornos de fusión. Como resultado del enfriamiento rápido del pocillo, las reacciones químicas que se inician en el metal fundido y en la escoria no tienen tiempo para completarse.

Al avanzar la formación del cordón, la temperatura del pocillo de soldadura descende, (debido a la abstracción del calor hacia el metal de base y a la radiación hacia la atmósfera del ambiente) y el metal se solidifica.

Los granos aparecen primero en la línea de fusión, en donde la temperatura es relativamente baja, y crecen con rapidez diferente, porque al aumentar de tamaño y al hacer presión los cristales unos contra otros, cada uno actúa de acuerdo con el estado de su crecimiento. Sin embargo, los granos en crecimiento pueden empujar hacia

afuera las inclusiones no metálicas, hasta la superficie de la soldadura. No se trata de flotación en absoluto, sino de un estado en el que el material no metálico es forzado hacia afuera del metal líquido al comenzar a formarse los cristales y a hacer presión unos contra otros.

La solidificación uniforme del pocillo de metal se altera por refusión cuando se aplican pasadas subsecuentes. Esto puede resultar en bolsas de metal fundido en las que se retarda el crecimiento de los granos. Estas regiones tienen, por tanto, probabilidades de contener inclusiones de escoria. La estructura del metal de la soldadura y la apropiada solidificación del pocillo de metal dependen en cierto grado de la “*relación de aspecto*” de la soldadura, es decir, la relación entre el ancho de la soldadura y su profundidad de penetración. Si la relación de aspecto de la ranura de la soldadura es menor de la unidad (de mayor profundidad que su anchura), las bolsas de metal fundido que se forman se encontrarán en el centro de la sección transversal de la soldadura, siendo posible allí la formación de acumulaciones de escoria, gas y cosas semejantes. En una ranura que es más ancha que profunda (relación de aspecto mayor que la unidad), las bolsas de metal fundido que se forman al final estarán en la parte media de la superficie de la soldadura, eliminándose todas las impurezas del metal de la soldadura.

La porción del metal base que está inmediatamente adyacente a la soldadura recibe el nombre de zona cercana a la soldadura. Como la estructura de esta zona es alterada por el calor de la soldadura, recibe también el nombre de área o zona afectada por el calor (HAZ) por sus siglas en ingles (Fig. 3.1).

Fig. 3.1 Diferentes zonas dentro de una junta soldada.

Uno de los principales problemas que se presenta al soldar cierto tipo de materiales es el agrietamiento. Básicamente existen dos tipos fundamentales de agrietamiento:

- Agrietamiento en frío o por Hidrógeno.
- Agrietamiento en caliente.

### **3.3.1 AGRIETAMIENTO EN FRIO**

Este problema se presenta en la soldadura de los aceros, y se produce por la combinación simultánea de tres factores:

- Presencia de Hidrógeno.
- Microestructuras duras.
- Esfuerzos térmicos en la soldadura.

Este tipo de agrietamiento se produce después que el material ha solidificado; pudiéndose presentar, incluso, después de varias semanas de haber puesto la pieza en servicio.

El hidrógeno puede entrar en la soldadura a partir de cualquiera de las siguientes fuentes:

- Grasa o aceite en la superficie del metal base o material de aporte.
- Humedad en el revestimiento del electrodo, fundente, gas de protección o en la superficie de la pieza.
- Cierta tipo de óxidos superficiales.

Otras fuentes de Hidrógeno pueden ser: los Asbestos, Arcillas, Olivína, Talco, Algodón, Aserrín, Hidrato de Aluminio y Celulosa.

La microestructura que presenta mayor tendencia al agrietamiento en los aceros es la martensita por su elevada dureza.

Los esfuerzos en el material soldado se producen inevitablemente debido a las expansiones y contracciones que sufre el material como consecuencia de los ciclos térmicos que se producen durante el proceso de soldadura.

### **3.3.2 AGRIETAMIENTO EN CALIENTE**

El agrietamiento en caliente se produce en la soldadura durante su proceso de enfriamiento, y antes de que el material logre alcanzar la temperatura ambiente. Este tipo de agrietamiento generalmente se produce en el depósito de soldadura [7], pero también puede presentarse en la zona afectada por el calor. Los factores que determinan este tipo de agrietamiento son:

- Los esfuerzos que se producen durante la ejecución de la soldadura debido a las expansiones y contracciones del material.
- La susceptibilidad del material al agrietamiento la cual depende de su composición química y microestructuras.

- La presencia de impurezas, tales como el Azufre y el Fósforo en los Aceros o el Plomo y Cobre en aleaciones de Aluminio.

Entre los materiales que presentan mayor tendencia a este tipo de agrietamiento, están:

- Aleaciones de Aluminio.
- Aceros Inoxidables Austeníticos.
- Aleaciones de Níquel.

### **3.3.3 RIESGOS DE LA ABSORCIÓN DE GASES EN EL METAL FUNDIDO**

Es uno de los problemas más importantes que afectan la calidad final de la soldadura y está presente en todas las clases de aceros, soldados por cualquiera de los procedimientos anteriormente mencionados.

- Oxígeno: El metal absorbe el oxígeno durante su fabricación. En los Aceros, el *Mn* y *Si*, que tienen gran afinidad con el Oxígeno, lo captan formando *MnO* y *SiO<sub>2</sub>* que pasan a la Escoria, el Oxígeno libre forma *CO* con el Carbono del Acero a la temperatura de la soldadura, este gas, si no dispone de tiempo para desprenderse, queda ocluido dentro del metal fundido formando porosidades esféricas o vermiculares originadas por la tendencia de escape del gas.
- Nitrógeno: El Acero fundido puede disolver grandes cantidades de *N<sub>2</sub>*. El exceso de *N<sub>2</sub>* precipita en forma de Nitruros o permanece como *N<sub>2</sub>* libre. Los Nitruros provocan fisuraciones en el cordón o en la zona afectada por el calor, debido a la disminución de la ductilidad y los esfuerzos térmicos. El *N<sub>2</sub>* libre provoca porosidad.



- Hidrógeno: Al igual que el  $N_2$  el Acero fundido puede disolver grandes cantidades de  $H_2$ , el paso de Austenita cargada de Hidrógeno a Ferrita provoca fisuras bajo el cordón.

### 3.3.4 CONVENIENCIA DE UN UMBRAL MÍNIMO DE S

El Hidrógeno penetra y tiende a concentrarse en el Acero en las zonas de máxima energía libre, es decir, en todos los defectos de la red tales como huecos y dislocaciones.

El S es un potente generador de inclusiones en el Acero. Se combina con el Mn formando  $SMn$  que tiene una densidad de  $3.99 \text{ g/cm}^3$  y un coeficiente de dilatación térmica [7] mayor que la matriz de Acero, de manera que durante el enfriamiento desde la temperatura de normalizado, o de conformación en caliente en el caso de un producto forjado, se forman cavidades en la interfase entre la inclusión y el Acero. Este fenómeno de los Sulfuros es diferente y contrario a lo que ocurre con otras inclusiones, como Óxidos y Silicatos, que presentan coeficientes de dilatación inferiores al del acero por lo que cabe esperar que después del enfriamiento mantengan un estrecho contacto con las paredes del acero matriz.

A efectos de seguridad es conveniente un contenido de S en el metal de base de al menos 0,025%. De esta manera se asegura la existencia de un número mínimo de inclusiones de  $SMn$  y con ello las vacantes suficientes dentro de la matriz del metal de base para captar el hidrógeno que accidentalmente pueda introducirse.

### **3.4 DEFECTOS ESTRUCTURALES EN LA SOLDADURA**

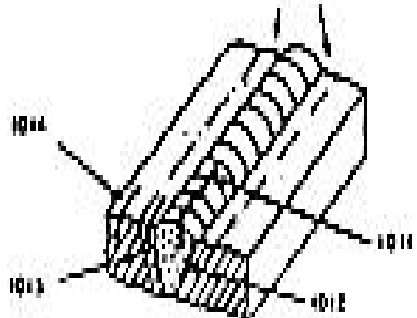
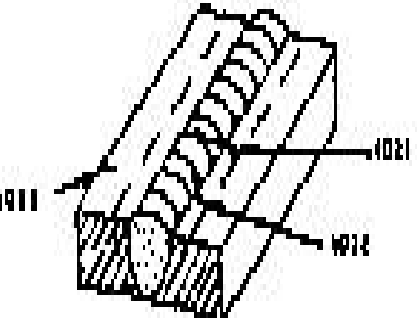
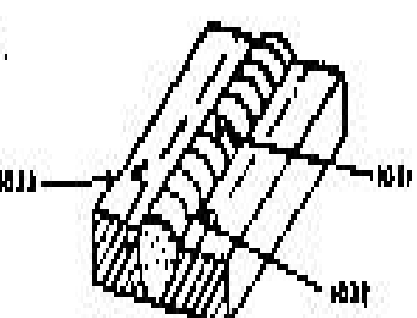
Estos defectos son discontinuidades estructurales, que producen alteración de las propiedades mecánicas de la junta:

- **Porosidad:** Se produce a partir de burbujas de gas que permanecen atrapadas en el cordón y provienen generalmente de la humedad contenida en el electrodo o depositada sobre la pieza. Este fenómeno se evita precalentando la pieza a soldar, o secando los electrodos. Otras fuentes de porosidad en las soldaduras, son: Grasa, Sucio, Pinturas y Revestimientos Metálicos en la pieza a unir.
- **Inclusiones de Escoria:** Por lo general se debe a la limpieza deficiente en los cordones internos.
- **Fusión Incompleta:** Son zonas donde la fusión no ha ocurrido, por falta de amperaje, exceso de velocidad de avance, remoción defectuosa de escoria o por la presencia de materiales extraños sobre la superficie a fundir.
- **Falta de Penetración:** Esto puede o no ser un defecto, ya que dependerá de la especificación para una determinada unión y puede ser consecuencia de un bisel inadecuado, electrodos muy gruesos, velocidad de avance excesiva o amperaje insuficiente.
- **Grietas:** En el cordón y la zona adyacente pueden presentarse diversos tipos de grietas, las cuales tienen varios orígenes, pero, lo que sí es común a todos los tipos es que se producen a partir de esfuerzos que superan la resistencia del metal.

### **3.5 DEFECTOLOGIA DE LAS UNIONES SOLDADAS**

A continuación se enumeran los defectos que pueden afectar las uniones soldadas así como sus posibles causas y respuesta ultrasónica para facilitar la clasificación de los defectos que pueden ser hallados en la práctica.

### 3.5.1 GRUPO 1. FISURAS

| Núm.                                       | Designación         | Comentarios                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                       |
|--------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>100</b>                                 | Fisuras             | Discontinuidad producida por una rotura local, que puede ser provocada por enfriamiento o tensiones.                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                       |
| 1001                                       | Microfisura         | Cuando la fisura tiene dimensiones microscópicas recibe el nombre de micro fisura.                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                       |
| <b>101</b><br>1011<br>1012<br>1013<br>1014 | Fisura longitudinal | <p>Fisura cuya dirección es aproximadamente la del eje de la soldadura. Puede situarse:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En el metal fundido</li> <li>- En la zona de la unión</li> <li>- En la zona térmicamente afectada</li> <li>- En el metal de base</li> </ul>                                 | <p>Zona afectada por el calor</p>  |
| <b>102</b><br>1021<br>1022<br>1023         | Fisura transversal  | <p>Fisura cuya dirección es sensiblemente perpendicular al eje de soldadura. Puede situarse:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En el metal fundido</li> <li>- En la zona térmicamente afectada</li> <li>- En el metal de base</li> </ul>                                                              |                                   |
| <b>103</b><br>1031<br>1032<br>1033         | Fisuras Radiales    | <p>Fisuras aisladas cuyo origen es un punto común. Pueden estar situadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En el metal fundido</li> <li>- En la zona térmicamente afectada</li> <li>- En el metal base</li> </ul> <p>Cuando estas fisuras son pequeñas se conocen con el nombre de 'star cracks'</p> |                                   |

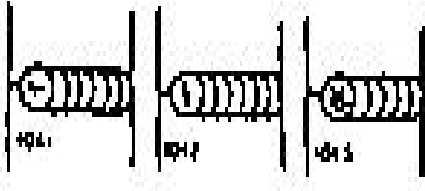
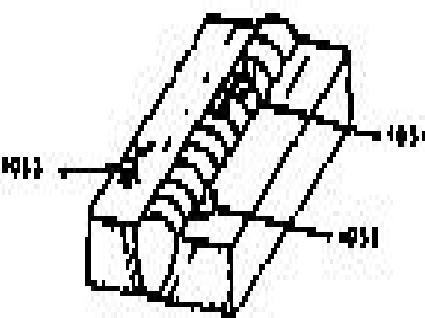
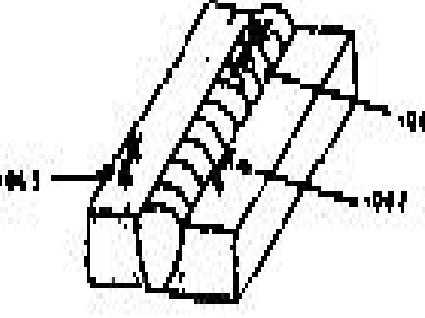
|                                    |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                     |
|------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>104</b><br>1041<br>1042<br>1043 | Fisura de cráter     | Fisura originada en un cráter de soldadura y que puede ser:<br>- longitudinal<br>- transversal<br>- en estrella                                                                                                                                                                                        |   |
| <b>105</b><br>1051<br>1052<br>1053 | Fisuras discontinuas | Grupo de fisuras discontinuas orientadas de cualquier forma, que pueden estar situadas:<br>- En el metal fundido<br>- En la zona térmicamente afectada<br>- En el metal base                                                                                                                           |   |
| <b>106</b><br>1061<br>1062<br>1063 | Fisuras ramificadas  | Grupo de fisuras ligadas entre sí, que se representan en forma arborescente a partir de una grieta común y se distingue de las fisuras discontinuas (105) y de las fisuras radiales (103). Pueden estar situadas:<br>- En el metal fundido<br>- En la zona térmicamente afectada<br>- En el metal base |  |

Tabla 3.1 Fisura.

Ningún código tiene aceptabilidad en fisuras.

Una causa muy frecuente en las fisuras es la técnica deficiente del soldador al carecer de prácticas y realizar su trabajo demasiado rápido.

### 3.5.1.1 RESPUESTA ULTRASÓNICA

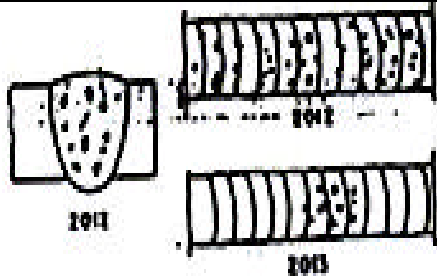
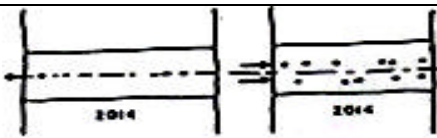
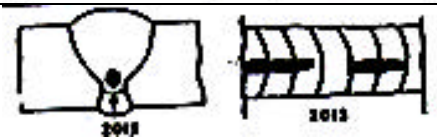
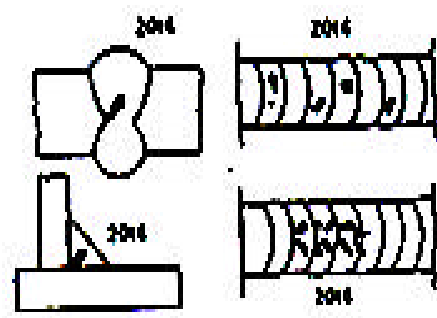
- Siempre buenos reflectores y de pared rugosa.
- El eco del defecto es de gran altura y estrecho. Si la grieta es inclinada puede dar eco solo desde un lado del cordón.
- Al girar el palpador orbitalmente el eco desaparece rápidamente, y al hacer el barrido el eco presenta altos y bajos, además de corrimientos.

### 3.5.1.2 CAUSAS Y CORRECCIÓN DEL DEFECTO

| Causa                                                                  | Corrección                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Electrodo incorrecto (Responsabilidad del supervisor y el soldador)    | Utilice electrodo correcto, en tamaño y que sea acorde a la aleación del metal base.                  |
| Escasa separación de la raíz (Responsabilidad del soldador)            | Cambie la secuencia de la soldadura; use electrodos más dúctiles y reduzca la rigidez del metal base. |
| Enfriamiento rápido de la soldadura (Responsabilidad del soldador)     | Use precalentamiento o aplíquelo en interpasos, para aumentar el tiempo de enfriamiento.              |
| Estructura muy rígida (Responsabilidad del diseñador de la estructura) | Soldar con electrodo mayor; utilice más corriente y aplique precalentamiento.                         |
| Mala preparación del bisel (Responsabilidad del taller)                | Corrija el bisel; dé pasadas más cortas con precalentamiento.                                         |

Tabla 3.2 Corrección de defecto Grupo 1

### 3.5.2 GRUPO 2. CAVIDADES Y POROSIDADES

| Núm.       | Designación                                   | Comentarios                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                      |
|------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>201</b> | Sopladura                                     | Cavidad formada por inclusiones gaseosas                                                                                                                                                                                      |                                                                                      |
| 2011       | Poro esferoidal                               | Sopladura de forma sensiblemente esférica                                                                                                                                                                                     |                                                                                      |
| 2012       | Porosidad esferoidal uniformemente repartida. | Poros esferoidales distribuidos regularmente en el metal fundido. Se diferencian de los poros alineados (2014)                                                                                                                |    |
| 2013       | Poros localizados                             | Grupo de poros                                                                                                                                                                                                                |                                                                                      |
| 2014       | Poros alineados                               | Porosidad distribuida paralelamente al eje de la soldadura                                                                                                                                                                    |    |
| 2015       | Poro alargado                                 | Poro grande no esferoidal, cuya dimensión principal es paralela al eje de la soldadura                                                                                                                                        |   |
| 2016       | Porosidad vermicular                          | Cavidades alargadas o tubulares producidas por el escape de gas. La forma y posición de las cavidades está determinada por el modo de solidificación y origen del gas; a veces están dispuestas en forma de espina de pescado |  |
| 2017       | Picadura                                      | Poro de pequeña dimensión abierto a la superficie                                                                                                                                                                             |                                                                                      |
| <b>202</b> | Rechupe                                       | Cavidad debida a la contracción del metal en el momento de la solidificación                                                                                                                                                  |                                                                                      |

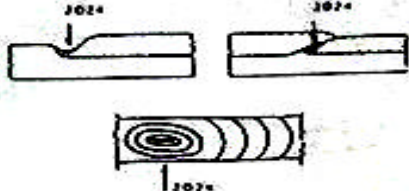
|      |                                 |                                                                                                                                                                                                   |                                                                                    |
|------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 2021 | Rechupe interdentrítico         | Cavidad de forma alargada que se produce entre dentritas, durante el enfriamiento y por aprisionado del gas. Este defecto es, generalmente, perpendicular a las caras exteriores de la soldadura. |                                                                                    |
| 2022 | Microrrechupe                   | Rechupes visibles solo al microscopio                                                                                                                                                             |                                                                                    |
| 2023 | Microrrechupes interdentríticos | Rechupes interdentríticos visibles solamente al microscopio                                                                                                                                       |                                                                                    |
| 2024 | Rechupe de cráter               | Cavidad (o depresión) producida en un final de cordón y no eliminada antes o durante la ejecución de la pasada siguiente.                                                                         |  |

Tabla 3.3 Cavidades y Porosidades.

### 3.5.2.1 RESPUESTA ULTRASÓNICA

- Son reflectores esféricos o cilíndricos en el caso de poros vermiculares. Son malos reflectores se encuentran aislados.
- Los ecos de estos suelen ser pequeños. Pueden localizarse a ambos lados del cordón.
- Al girar el palpador orbitalmente el eco permanece fijo en la pantalla.
- Los poros agrupados, a veces, dan ecos similares a los de las escorias, pero de menor amplitud.

### 3.5.2.2 CAUSAS Y CORRECCIÓN DEL DEFECTO

| Causa                                                                                                                                                                                        | Defecto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipos 2 y 3. Soldar mal limpiados y que contienen óxidos, aceites, grasa, pintura o suciedades.                                                                                              | Verificar que las superficies de los biseles se encuentren limpias así como las áreas adyacentes. Remover la soldadura porosa y volver a depositar cordones de soldadura.                                                                                                                                                                      |
| Tipos 2 y 4. Soldar con electrodos con el fundente contaminado ya sea humedad, aceites o suciedad; o bien usar electrodos muy viejos.                                                        | Utilizar electrodos secos, limpios y nuevos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Tipos 1, 2, 3 y 4. Metal base inadecuado con contaminación en el maquinado o con alto contenido de azufre.                                                                                   | Verificar el metal base y su preparación. Cuidar que los electrodos ligen y efectuar la acción de limpieza.                                                                                                                                                                                                                                    |
| Porosidades diversas en sistemas con gases protectores como: Argón y Bióxido de Carbono. Los gases están contaminados o no funcionan en la proporción correcta por falta de flujo.           | Verifique los gases, los sistemas, mangueras, flujómetros y mezclas de gases.                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Porosidades en el sistema de arco sumergido causadas por un fundente húmedo, superficie contaminada, alambre del electrodo sucio y oxidado o bien el uso de un fundente de textura muy fina. | Utilice fundente seco y limpio, verifique la limpieza y buena preparación del metal base; el alambre del electrodo debe ser nuevo, estar limpio y tener la altura y velocidad adecuada; verifique que el fundente tenga la granulación correcta y corresponda al tipo de metales; verifique la distancia de las boquillas y que estén limpias. |

Tabla 3.4 Corrección Grupo 2.



### 3.5.3 GRUPO 3. INCLUSIONES SÓLIDAS

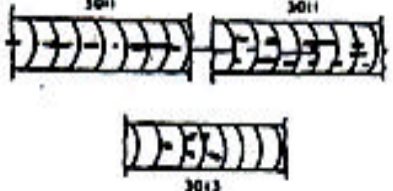
| Núm.                                   | Designación          | Comentarios                                                                                                                                                                                                     |                                                                                    |
|----------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>300</b>                             | Inclusión Sólida     | Materia sólida extraña aprisionada en el metal fundido                                                                                                                                                          |                                                                                    |
| <b>301</b><br><br>3011<br>3012<br>3013 | Inclusión de escoria | Residuo de escoria aprisionado en el metal fundido. Según su reparto, estas pueden encontrarse:<br>- alineadas<br>- aisladas<br>- de forma cualquiera                                                           |  |
| <b>302</b><br><br>3021<br>3022<br>3023 | Inclusión de flux    | Residuo de flux aprisionado en la soldadura. Según los casos, puede tratarse de inclusiones:<br>- alineadas<br>- alargadas<br>- de forma cualquiera                                                             | (ver Figura 3011 y 3013)                                                           |
| <b>303</b>                             | Inclusión de óxido   | Óxido metálico aprisionado en el metal fundido durante la solidificación.                                                                                                                                       |                                                                                    |
| 3031                                   | Capa de óxido        | Películas de óxidos metálicos formados en algunos casos, especialmente en las aleaciones de aluminio, por falta de protección y aprisionadas en forma estratificada debido a la turbulencia del baño de fusión. |                                                                                    |
| <b>304</b><br><br>3041<br>3042<br>3043 | Inclusión metálica   | Partícula de metal extraña aprisionada en el metal fundido. Puede ser de:<br>- tungsteno<br>- cobre<br>- otro metal                                                                                             |                                                                                    |

Tabla 3.5 Inclusiones Sólidas.

### 3.5.3.1 RESPUESTA ULTRASÓNICA

- Son reflectores muy escabrosos. Pueden estar situados en cualquier parte del cordón.
- En muchas ocasiones la forma del eco tiene forma de abeto, aunque a veces pueden aparecer, si la escoria es fina, ecos similares a los de falta de penetración. En la mayoría de los casos es localizable desde ambos lados del cordón.
- Al girar orbitalmente el eco varía su forma presentando muchos máximos y mínimos antes de desaparecer.

### 3.5.3.2 CAUSAS Y CORRECCIÓN DEL DEFECTO

| Causa                                                                            | Corrección                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Poco cuidado en la limpieza de escoria entre pasos de los cordones de soldadura. | Cepille y cincele la escoria al finalizar cada uno de los pasos del cordón.                                                                              |
| Inclusión de escoria a la orilla del cordón en forma intermitente y escalonada.  | Remueva la escoria de la orilla usando una técnica apropiada y evite realzar la corona y el dibujo del contorno, para no atrapar la escoria entre pases. |
| El corte y la superficie de los biseles quedó irregular.                         | ALISE la superficie de los biseles, que queden limpios y uniformes, use una lima. Si es necesario, esmerile con mucho cuidado.                           |
| Técnica incorrecta al manipular la soldadura.                                    | Utilice una técnica adecuada. Si el soldador no tiene experiencia suficiente, reemplácelo por uno que si la tenga.                                       |
| El voltaje y amperaje son inadecuados al tamaño del metal base.                  | Corrija sus valores eléctricos en su maquina.                                                                                                            |
| Inclusiones de escoria en el sistema de arco sumergido.                          | Corrija sus valores eléctricos.                                                                                                                          |
| Alambre sucio y torcido.                                                         | Cambie la soldadura de alambre.                                                                                                                          |
| Junta mal preparada o colocada.                                                  | Corrija la junta.                                                                                                                                        |

Tabla 3.6 Corrección Grupo 3.

### 3.5.4 GRUPO 4A. FALTA DE FUSIÓN

| Núm.       | Designación     | Comentarios                                                                                                                               |  |
|------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>401</b> | Falta de fusión | Falta de ligazón entre el metal depositado y el metal de base, o entre dos capas contiguas de metal depositado. Hay que distinguir entre: |  |
| 4011       |                 | - La falta de fusión lateral que afecta a los bordes a unir                                                                               |  |
| 4012       |                 | - La falta de fusión entre pasadas                                                                                                        |  |
| 4013       |                 | - La falta de fusión en la raíz de la soldadura                                                                                           |  |

Tabla 3.7 Falta de Fusión

#### 3.5.4.1 RESPUESTA ULTRASÓNICA

- Suele localizarse en los bordes del chaflán o cerca de estos. Son buenos reflectores y en la mayoría de los casos de paredes lisas.
- El eco es grande, pero casi siempre se detecta solo de un solo lado del cordón.
- Al girar el palpador orbitalmente el eco desaparece rápidamente.
- Si el defecto es entre pasadas su localización puede ser difícil.

#### 3.5.4.2 CAUSAS Y CORRECCIÓN DEL DEFECTO

| Causa                                                 | Corrección                                                  |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Soldar con exceso de velocidad.                       | Reduzca la velocidad y dé mejor movimiento hacia los lados. |
| Electrodo de diámetro mayor al necesario.             | Cambie el electrodo por uno de diámetro correcto.           |
| Corriente de amperaje muy bajo.                       | Ajuste el valor del amperaje para mayor penetración.        |
| Junta preparada con las paredes de la raíz muy altas. | Corrija los biseles y la altura del cordón de raíz.         |
| Abertura del cordón de raíz muy escasa                | Corrija la preparación del cordón de raíz; sepárelo.        |

Tabla 3.8 Corrección Grupo 4A.

### 3.5.5 GRUPO 4B. FALTA DE PENETRACIÓN

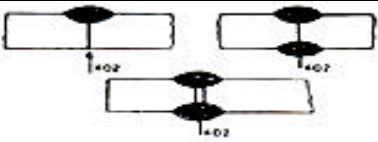
| Núm. | Designación          | Comentarios                                                                        |                                                                                    |
|------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 402  | Falta de penetración | - Fusión parcial de los bordes, que da lugar a una discontinuidad entre los mismos |  |

Tabla 3.9 Falta de Penetración.

#### 3.5.5.1 RESPUESTA ULTRASÓNICA

- Son de pared lisa. Suelen ser buenos reflectores. Su orientación es casi siempre paralela al cordón.
- El eco es grande y siempre se localiza desde ambos lados del cordón.
- Al girar el palpador orbitalmente el eco desaparece rápidamente.
- La falta de penetración puede ser confundida a menudo con exceso de penetración.

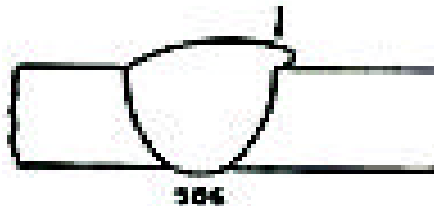
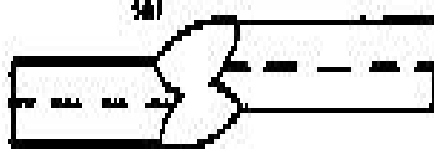
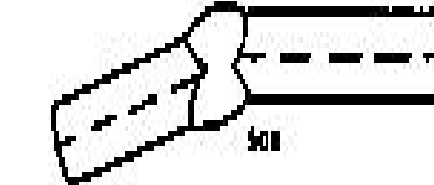
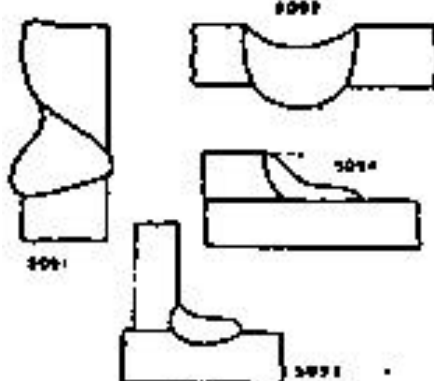
#### 3.5.5.2 CAUSAS Y CORRECCIÓN DEL DEFECTO

| Causa                                                    | Corrección                                                                                |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bisel demasiado cerrado en el hombro del cordón de raíz. | Vuelva a preparar correctamente dando la separación adecuada.                             |
| Electrodo de diámetro excesivo.                          | Utilice el electrodo del diámetro correspondiente.                                        |
| Amperaje escaso.                                         | Gradué el amperaje adecuado al diámetro del electrodo y espesor de paredes de metal base. |

Tabla 3.10 Corrección Grupo 4B.

### 3.5.6 GRUPO 5. DEFECTOS DE FORMA

| Núm.       | Designación           | Comentarios                                                                                                            |  |
|------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>500</b> | Forma defectuosa      | Falta de conformación de orden geométrico de la superficie externa con relación al perfil correcto                     |  |
| 5011       | Mordedura             | Falta local de metal, situada en los bordes del cordón de soldadura                                                    |  |
| 5012       | Mordedura             | Falta de metal, en forma de surco de longitud variable, en los bordes de la soldadura                                  |  |
| 5013       | Mordedura en la raíz  | Insuficiencia de metal en los bordes laterales de la raíz, provocada por contracción del metal de soldadura. (ver 515) |  |
| <b>502</b> | Sobreespesor excesivo | Excesivo espesor del metal depositado en las paredes finales                                                           |  |
| <b>503</b> | Convexidad Excesiva   | Defecto de una soldadura en ángulo, caracterizado por un perfil exageradamente convexo                                 |  |
| <b>504</b> | Exceso de penetración | Exceso de metal en la raíz de una soldadura ejecutada por un solo lado en una o en varias pasadas                      |  |

|                                     |                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                      |
|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 5041                                | Goterón                            | Exceso de penetración localizada                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                      |
| 505                                 | Ángulo del sobreespesor incorrecto | Valor excesivo del ángulo formado por el plano tangente al cordón de soldadura pasando por la línea de la unión                                                                                                                                                                                             |    |
| 506                                 | Desbordamiento                     | Exceso de metal depositado que se solapa en la superficie del metal de base, sin unión íntima con éste                                                                                                                                                                                                      |    |
| 507                                 | Defecto de alineación              | - Diferencia de nivel entre las dos piezas soldadas, las que, aun siendo paralelas, no se mantienen en el mismo plano                                                                                                                                                                                       |    |
| 508                                 | Deformación angular                | - Angulo de las piezas soldadas distinto al previsto                                                                                                                                                                                                                                                        |   |
| 509<br>5091<br>5092<br>5093<br>5094 | Hundimiento                        | Desplazamiento del metal depositado, debido a una fusión excesiva que origina (por gravedad) o un exceso o una falta de metal. Según el caso, se puede distinguir:<br>- Hundimiento en cornisa vertical<br>- Hundimiento en posición plana o en techo<br>- Hundimiento en ángulo<br>- Hundimiento en solape |  |

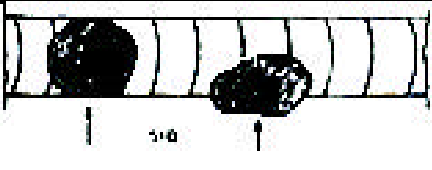
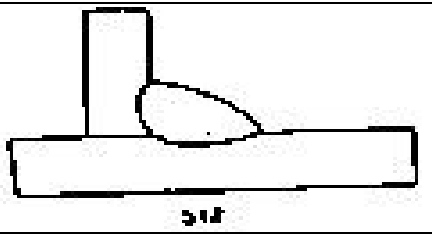
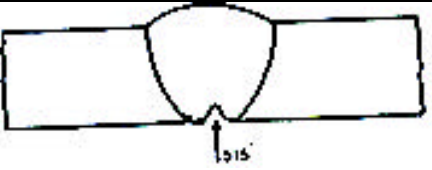
|     |                                             |                                                                                                                                     |                                                                                      |
|-----|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 510 | Hueco                                       | Hundimiento del baño de fusión, que da a lugar a la perforación de la soldadura                                                     |    |
| 511 | Falta de espesor                            | Insuficiencia local o continua del metal depositado, que origina un perfil del cordón contraído en relación con el perfil correcto. |    |
| 512 | Defecto simétrico de la soldadura en ángulo | Desigualdad de los catetos del triángulo que forma la soldadura                                                                     |    |
| 513 | Anchura irregular                           | Falta de regularidad en la anchura del cordón a lo largo del mismo.                                                                 |                                                                                      |
| 514 | Superficie irregular                        | Falta de regularidad en la superficie del cordón a lo largo del mismo                                                               |                                                                                      |
| 515 | Rechupe de raíz                             | Falta de espesor en la raíz de la soldadura, debido a una contracción del metal fundido                                             |  |
| 516 | Quemado                                     | Formación esponjosa en la raíz de la soldadura, debida a la ebullición del metal fundido en el momento de su solidificación         |                                                                                      |
| 517 | Empalme defectuoso                          | Irregularidad local de la superficie del cordón en la zona de empalme.                                                              |  |

Tabla 3.11 Defectos de Formas.

La mayoría de estos defectos es detectable con inspección visual, excepto el exceso de penetración.

### 3.5.6.1 CAUSAS Y CORRECCIÓN DEL DEFECTO

- **Socavado.**

| Causa                                                                         | Corrección                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Exceso de calor.                                                              | Corrija el amperaje.                                       |
| Electrodo inadecuado.                                                         | Cambie el electrodo.                                       |
| Manipulación incorrecta.                                                      | Mejore el movimiento manual.                               |
| Arco muy intenso.                                                             | Corrija el arco.                                           |
| Velocidad inadecuada, saliéndose de los límites del cordón con técnica pobre. | Mejore la velocidad y corrija el movimiento del electrodo. |

Tablas 3.12.

- **Corona baja.**

| Causa                                            | Corrección                      |
|--------------------------------------------------|---------------------------------|
| Mala manipulación del electrodo y técnica pobre. | Practicar.                      |
| Soldar con exceso de corriente.                  | Corrija la corriente.           |
| Velocidad y altura del arco muy alta.            | Corrija la velocidad y el arco. |
| Electrodo en mal estado.                         | Use electrodos en buen estado.  |

Tablas 3.13.

- **Penetración excesiva.**

| Causa                                                  | Corrección                                              |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Hombro del bisel muy abierto.                          | Corrija abertura del bisel.                             |
| Corriente muy alta.                                    | Reduzca y equilibre la corriente.                       |
| Velocidad muy lenta y ángulo inadecuado del electrodo. | Aumente la velocidad e incline el ángulo del electrodo. |
| Electrodo de diámetro muy grueso.                      | Utilice el electrodo de la medida y tipo correcto.      |

Tablas 3.14.



- **Soldadura desalineada.**

| <b>Causa</b>                                       | <b>Corrección</b>                                                                  |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Falta de cuidado.                                  | Ser más cuidadosos.                                                                |
| Falta de experiencia o técnica pobre y descuidada. | Capacitarse, y auxiliares con el señalamiento de los límites correctos del cordón. |
| Soldar en posición incómoda.                       | Colocar su trabajo en forma cómoda y práctica.                                     |

Tablas 3.15.

- **Quemada en la placa.**

| <b>Causa</b>                                                                                              | <b>Corrección</b>                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Lugar donde estuvo soldado un puente para el armado, soldador descuidado; inicio del arco sobre la placa. | Arme con punteado muy ligero. Nunca encienda el arco sobre el metal base. |

Tablas 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, 3.16 Corrección Grupo 5.

## Capítulo IV

# PROCESAMIENTO DE SEÑALES

---

### 4.1 INTRODUCCIÓN

Una señal puede ser definida como una función que transporta información, generalmente sobre el estado o comportamiento de un sistema físico. Aunque la señal puede ser representada de muchas maneras, la información que esta contiene se encuentra dentro de un patrón de variación, el cuál puede tomar la forma de una variación en el tiempo o en el espacio. Las señales son representadas matemáticamente como funciones de una o más variables independientes.

Las variables independientes de la representación matemática de una señal pueden ser continuas o discretas. Las señales de Tiempo Continuo o Analógicas son señales que están definidas en un rango continuo de tiempo y estas son representadas por funciones continuas. Las señales de Tiempo Discreto o Digitales son definidas para instantes de tiempo, en ellas las variables independientes solo toman valores puntuales (Discretos) (Fig. 4.1).

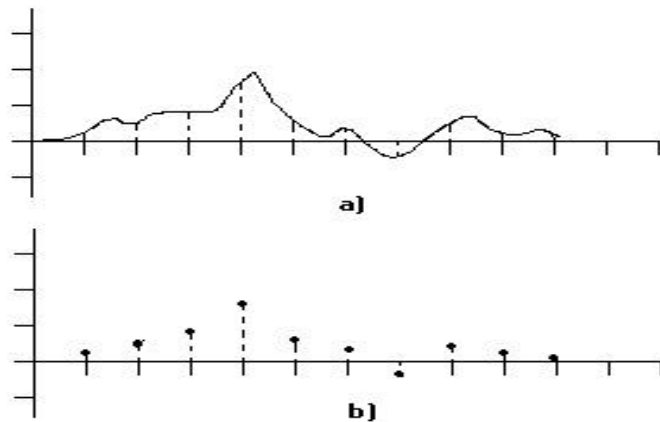


Fig. 4.1 a) Señal Analógica. b) Señal Digital.

Las señales obtenidas en los equipos de ultrasonido en algunos casos, no aportan claramente toda la información necesaria para determinar las características de un componente o material, por tanto se hace necesario el uso del procesamiento de señales, para así poder extraer la información requerida.

## 4.2 PROCESAMIENTO DE SEÑALES

El procesamiento de señales consiste en una serie de estrategias que se encargan de analizar las características de una señal, descomponerla, codificarla y adecuarla para otros propósitos si es necesario, para extraer de ella la información requerida. En general, el procesamiento de señales es realizado por un computador digital, el cual ofrece grandes ventajas como la posibilidad de manejar un volumen de datos mucho más grande a mayor velocidad. De todas formas, el procesamiento no siempre puede ser realizado en tiempo real, en consecuencia el computador solo puede ser usado para aproximar o “*Simular*” un sistema analógico de procesamiento.

Las técnicas de procesamiento de señales toman usualmente la forma de una transformación, que aplicada a la señal inicial la convierte en otra más fácil de manipular y analizar, entre las transformaciones más comunes tenemos [9]:

- Transformada de Fourier.
- Transformada Z.
- Transformada de Hilbert.
- Filtros.

En el procesamiento de señales es común el análisis de la señal en el dominio del tiempo y el dominio de la frecuencia. La señal en el dominio del tiempo, se obtiene a través de las mediciones que se realizan por el método de pulso-eco para el caso del ultrasonido; la señal en el dominio de la frecuencia, puede ser obtenida gracias a un simple procesamiento a través del Análisis de Fourier. Determinando el contenido de

frecuencias de una señal, se puede conocer si este se encuentra limitado a una banda en particular, o bien, si contiene ciertas frecuencias características.

### 4.3 TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER

Representamos una señal digital que ha sido muestreada de una señal continua usando la siguiente notación:

$$x_n = x(nT) \quad (4.1)$$

Donde  $n$  es un entero y  $T$  el tiempo de muestreo.

La señal digital es una sucesión de muestras  $x_n$ . Por lo general, se toma como tiempo cero el instante en que se comienza a obtener la señal digital, así, la primera muestra de una señal digital usualmente se designa con  $x_0$ .

Normalmente para la representación de señales se emplean impulsos unitarios desplazados como señales básicas, pero con el fin de realizar el análisis de Fourier es más conveniente el uso de exponenciales complejas, ya que esta tiene una forma particularmente simple. Las representaciones resultantes son conocidas como la serie y la transformada de Fourier.

Ahora si la entrada a un sistema de tiempo discreto se representa como una combinación lineal de exponenciales compleja, entonces, la salida también puede ser representada como una combinación lineal de las mismas señales exponenciales complejas.

La serie de Fourier  $X(k)$ , puede ser vista como la superposición pesada por coeficientes, de las exponenciales complejas antes mencionadas, a menudo se denominan los coeficientes de la serie de Fourier como los coeficientes de  $x(n)$ , los cuales especifican una descomposición de  $x(n)$  en una suma de  $N$  exponenciales complejas relacionadas armónicamente.

Se usa el algoritmo de Transformada Discreta de Fourier (DFT), para convertir una señal digital en el dominio del tiempo en un conjunto de puntos en el dominio de la frecuencia.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W_N^{kn} \quad (4.2)$$

Donde:  $W_N = e^{-j(2\pi/N)}$

Entre sus principales propiedades se encuentran [9]:

- Linealidad.
- Simetría.
- Convolución Circular.

El algoritmo de la Transformada Discreta de Fourier (DFT), calculado directamente, requiere de  $4N^2$  multiplicaciones y  $N(4N-2)$  sumas reales y por lo tanto, requiere de un tiempo de cálculo considerable, y aun más, si la cantidad de puntos muestreados  $N$  es considerablemente grande.

Con el fin de reducir el número de operaciones de cálculo se empiezan a desarrollar a mediados de los años 60 una serie de algoritmos los cuales en conjunto son llamados Transformada Rápida de Fourier o (FFT) por sus siglas en ingles.

#### 4.4 TRANSFORMADA RAPIDA DE FOURIER (FFT)

El principio fundamental de estos algoritmos esta basado en descomponer el cálculo de la Transformada Discreta de Fourier de una secuencia de longitud  $N$  en pequeñas Transformadas de Fourier sucesivas. Existen dos maneras fundamentales en la que estos algoritmos logran implementar este principio; la primera llamada Decimacion en Tiempo descompone la secuencia  $x(n)$  en pequeñas subsecuencias sucesivas, y la segunda Decimacion en Frecuencia descompone los coeficientes de la Transformada Discreta de Fourier  $X(k)$  en pequeñas subsecuencias [9].

El número de operaciones requeridas con el uso de la FFT es de  $4N\log_2 N$  operaciones. El número de puntos muestreados o valores en el dominio del tiempo que deben ser introducidos debe ser una potencia de dos ( $2^M$ ) [9]. La FFT provee una eficiente manera de calcular estimaciones del poder espectral a frecuencias igualmente espaciadas de valor  $\omega_k = (2\pi/M)k$ , donde  $M$  es el número de puntos muestreados. El espectro de frecuencia es la representación de una señal en el dominio de frecuencias, este es muy importante para el estudio del comportamiento de las señales ya que de su observación podemos identificar las bandas de frecuencia de interés y de esta manera reducir el estudio del espectro a una zona determinada.

## **Capítulo V**

# **RECONOCIMIENTO DE PATRONES**

---

### **5.1 INTRODUCCIÓN**

Un Patrón es un individuo o conjunto de individuos cuyas características definen un Grupo o Clase, por ejemplo tenemos los rasgos étnicos de una población en donde las características que definen a cada uno de sus Grupos (Clases) serán: Estatura, Complexión Muscular, Color de Cabello, etc. Aunque parezca sencillo diferenciar una Clase de otra en la practica no lo es, ya que no siempre se tienen claros cuales son los distintos Grupos (Clases) a diferenciar dentro de una población y además tampoco sabemos de antemano cuales serán las características mediante las cuales se podrá separar una Clase de otra.

El Reconocimiento de Patrones es el proceso mediante el cual podemos identificar y clasificar Muestras no Controladas (Individuos que aun no han sido asignados a una clase o grupo) [6], mediante un criterio de comparación (Regla de Decisión) de sus características relevantes.

En la (Figura 5.1) observamos varias regiones o zonas definidas por muestras controladas claramente diferenciadas unas de otras, y una muestra no controlada que se puede asociar con el patrón número 2, ya que después de comparar los valores de sus características con el de los distintos patrones, observamos que se encuentran en el rango perteneciente a dicha región.

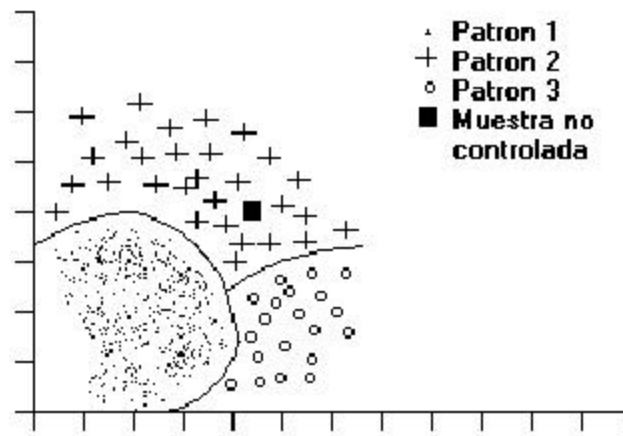


Fig. 5.1 Representación Gráfica del Reconocimiento de Patrones.

Un ejemplo sencillo de Reconocimiento de Patrones es un ser humano que a simple vista puede distinguir entre una taza de café y un vaso regular. Mediante simple inspección visual, el cerebro, de alguna forma reconoce ciertas características que permiten asignar ambos elementos en Clases distintas.

Una de las posibilidades mas controversiales del Reconocimiento de Patrones es la expectativa de poder desarrollar maquinas que se comporten como el hombre (en cuanto a la capacidad de reconocer y diferenciar de manera intuitiva unas clases de otras), basado en las posibilidades de computadores digitales de alta velocidad. Inicialmente el objetivo del Reconocimiento de Patrones incluía cualquier intento por desarrollar descripciones (Modelos) de fenómenos que imitaban al hombre. Esto incluía la investigación en el área de: Inteligencia Artificial, Computadores Interactivos, Diseño Asistido por Computadoras, Reconocimiento de Patrones Psicológicos y Biológicos, Reconocimiento de Patrones Lingüísticos y Estructurales, entre otros. Como podemos observar el Reconocimiento de Patrones ha evolucionado gracias a contribuciones de todos estos campos y más importante aún, mediante herramientas matemáticas, es decir, los resultados de la investigación en un campo pueden ser relacionados o aplicados a otros campos.



En conclusión el Reconocimiento de Patrones es el estudio y aplicación de Técnicas Matemáticas que buscan simular el comportamiento del ser humano en el proceso de clasificación empleándose para ello, la enorme ventaja del computador en el manejo de grandes cantidades de datos numéricos, un lado débil del ser humano. El éxito de su aplicación depende de la formulación de los algoritmos y de la comprensión de las hipótesis que se consideran en su descripción.

El objetivo final de las técnicas de Reconocimiento de Patrones consiste en asignar una Muestra no controlada a la Clase que reporte un menor riesgo de clasificación. Este proceso requiere de varias etapas:

- Selección de Características
- Desarrollo del Clasificador
- Validación de Resultados

## **5.2 SELECCIÓN DE CARACTERÍSTICAS**

Probablemente el aspecto más importante del reconocimiento de patrones es la selección de características que definen a una Clase o Grupo, ya que esta clasificación no depende del número de variables o características utilizadas sino de la relevancia de dichas características para definir la clase. Con una selección eficiente y apropiada de características, puede lograrse un esquema de clasificación confiable ya que se reduce enormemente la dimensionalidad a causa del proceso de extracción de variables del vector o matriz de características que definen a una clase. En otras palabras, este proceso consiste en eliminar las variables redundantes y tomar solo aquellas que en verdad diferencien las clases.

A veces no es tan obvia la selección de características aun haciendo uso de muestras controladas, por lo que se suelen utilizar herramientas matemáticas como transformaciones lineales y no lineales [6]. Dichas técnicas de transformación van de la más simple, donde las dimensiones son pesadas de acuerdo a su importancia dentro del esquema de clasificación propiamente dicho, a técnicas más avanzadas como el uso de Expansiones Ortogonales (Rotación). Mientras más conocimiento estadístico se tenga disponible, se vuelve más relevante la técnica basada en esa información. Sin embargo, las transformaciones lineales no son necesariamente suficientes para una efectiva selección de variables por lo que debe haber alguna clase de mecanismo de retroalimentación (feedback) y/o aprendizaje para mejorar la confiabilidad del clasificador.

En conclusión, el proceso de selección de características es muy importante ya que reduce el número de variables que serán utilizadas en la comparación entre clases y simplifica los algoritmos computacionales para una precisa y correcta clasificación en el proceso de reconocimiento de patrones.

### **5.3 DESARROLLO DEL CLASIFICADOR**

Luego de seleccionar las características relevantes que definen los grupos o clases de estudio, se procede al desarrollo del clasificador, el cual se encarga de definir las distintas clases para su correcta comparación e identificación, mediante un conjunto de reglas definidas de antemano.

El diseño del Clasificador comienza con la representación adecuada de los Patrones. Ya que los Patrones están formados por un conjunto de características que lo definen, la forma más sencilla de representarlos es mediante el uso de un vector, que representa un punto en el espacio donde el numero de dimensiones esta definido por el numero de variables utilizadas. Esto facilita el proceso de comparación ya que

matemáticamente es más sencillo comparar un vector con múltiples características, que comparar cada una de las características independientemente.

Con el fin de hacer cualquier clasificación es necesario definir una medida de similitud o método de comparación entre las muestras. El esquema más simple de comparación, es el que se fundamenta en la distancia entre dos puntos y ya que cada muestra es representada por un vector, la distancia entre dichos puntos nos da una idea de la semejanza entre ellos y puede ser utilizada como uno de los métodos de comparación.

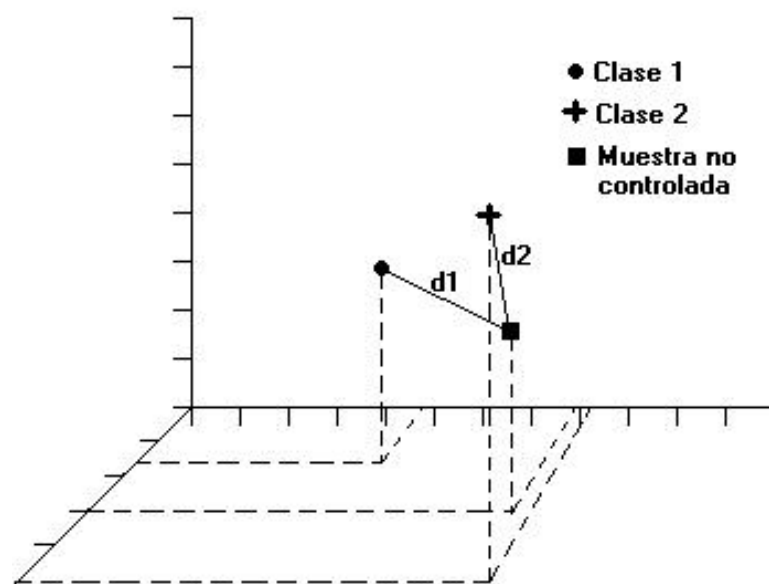


Fig. 5.2 Distancia como criterio de identificación de muestras no controladas.

Se decidió utilizar la distancia Euclídea o Cartesiana como método de comparación debido a su simplicidad.

$$d^2(X_i, X_j) = (X_i - X_j)^t (X_i - X_j) \quad (5.1)$$

Donde  $t$  indica la Transpuesta y  $X_i, X_j$  son los puntos o vectores que definen las Clases objeto de estudio.

Debido a que en nuestro trabajo el tamaño relativo de las dimensiones no era relevante se procedió a normalizar las dimensiones antes de definir cualquier similitud de medidas ya que la distancia Euclídea es susceptible al problema de múltiples dimensiones y variedad de unidades [6].

Otras medidas de similitud o distancia son:

- Correlación.

$$d(X_i, X_j) = X_i^t X_j \quad (5.2)$$

- Correlación Normalizada:

$$d(X_i, X_j) = \frac{X_i^t X_j}{((X_i^t X_i)(X_j^t X_j))^{1/2}} \quad (5.3)$$

- Porcentaje de Similitud:

$$d(X_i, X_j) = \frac{X_i^t X_j}{X_i^t X_j + X_j^t X_j - X_i^t X_j} \quad (5.4)$$

## 5.4 VALIDACION DE RESULTADOS

Luego de determinar los métodos de comparación se procede a identificar la pertenencia de las muestras no- controladas en las clases definidas mediante una regla de decisión y en base a estos resultados podemos observar la certeza del clasificador. La utilización de una regla de decisión puede ser fija o adaptativa. Decimos que la regla de decisión es fija si el clasificador no es modificado luego de ser construido y adaptativa si este se ajusta de acuerdo a los resultados obtenidos por un criterio de error que indica si la clasificación ha sido correcta, en cuyo caso no se modifica el clasificador, o si es preciso proceder a su modificación si el resultado ha sido erróneo, esto es muy útil para *ajustar* el clasificador mejorando su utilización futura.

En la práctica podemos decir que un reconocedor de patrones exitoso es aquel que tiene una certeza mayor de 70%, ya que en un mundo lleno de irreversibilidades siempre existirá incertidumbre. La confiabilidad de un reconocedor de patrones ira mejorando mientras mayor sea el conocimiento estadístico que se tenga de las muestras controladas

Por ejemplo, un reconocedor de texto no esta exento de cometer errores debido a las infinitas formas de letras que existen ya que este podría confundir la letra i mayúscula: “I” con la L minúscula “l”, el numero uno “1” o inclusive no poder reconocer cierto tipo de escritura manual, sin embargo su certeza ira mejorando mientras mas grande sea el número de moldes de letras en su base de datos.

## Capítulo VI

# PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

---

### 6.1 DESCRIPCIÓN DE RECURSOS UTILIZADOS

#### 6.1.1 EQUIPOS

- **Osciloscopio:** Marca Hewlett Packard, Modelo 54603B, 60 MHz.
- **Tarjeta Interfase:** Marca Hewlett Packard, Modelo 82341 SICL, Puerto serie RS-232.
- **Palpador:** Marca Krautkramer Branson,  $f = 2.25$  MHz,  $d = 0.375$  in, enroscable con cable coaxial.
- **Zapata:** Marca Krautkramer Branson,  $\theta = 45^\circ$ .
- **Generador de Ultrasonido:** Marca Krautkramer Branson, Modelo USN-50.



Fig. 6.1 Generador de Ultrasonido Krautkramer USN-50.

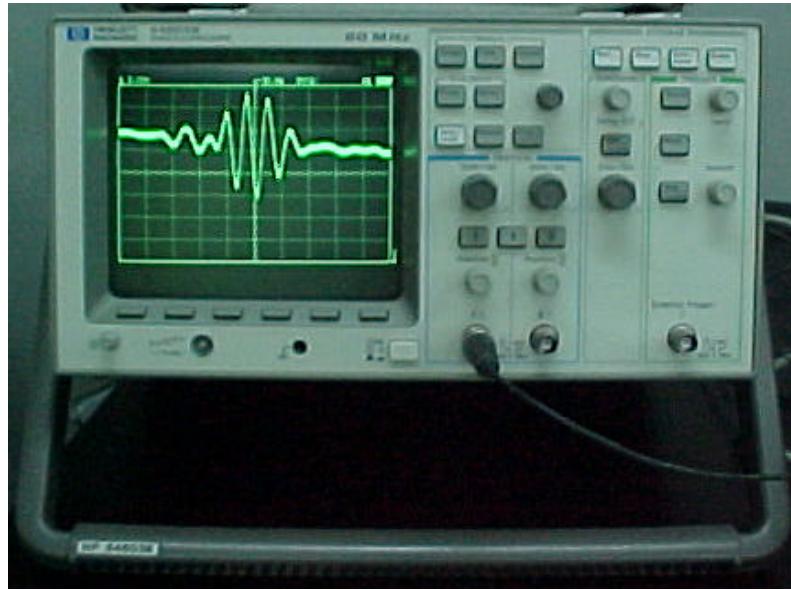


Fig. 6.2 Osciloscopio Hewlett Packard de 60 MHz.

### 6.1.2 SOLDADURAS PATRÓN

- **Origen:** SONASPECTION Co.
- **Dimensiones:** e: 25mm, a: 150 mm, l: 199mm.
- **Material:** Acero al Carbono.
- **Tipo de junta:** A tope V.
- **Acabado Superficial:** Pulido, libre de corrosión y pintura.
- **Acoplante:** Gel de mediana viscosidad.

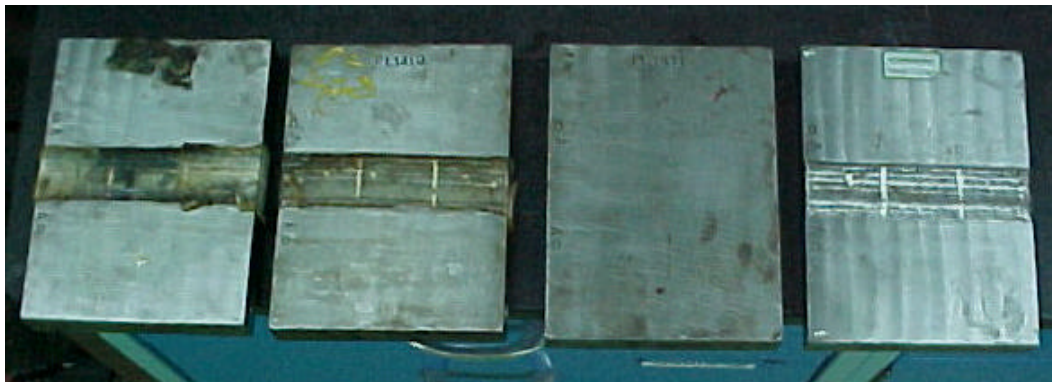


Fig. 6.3 Soldaduras Patrón.



Fig. 6.4 Bloque de Calibración VI.

### 6.1.3 SOFTWARE

- Microsoft Visual Basic 6.0 ©Copyright 1987-1998 Microsoft Corporation.
- Software de captura de señales HP34810B Bench Link Scope ©Copyright V1.5 Hewlett Packard Company 1994-1996.

## 6.2 INSPECCIÓN ULTRASÓNICA

La Inspección Ultrasónica fue realizada por el método de Impulso Eco, como se explico en el Capitulo II este método es uno de los mas utilizados para realizar la inspección de juntas soldadas. Los parámetros y forma en que este se realizo están contemplados en las distintas normas que rigen este tipo de ensayo y se explicaran a continuación.



### **6.2.1 FRECUENCIA DE ENSAYO**

En muestras de Acero y Aluminio, se opera, generalmente, con frecuencias de 2 a 25 MHz, lo que corresponde a longitudes de onda del orden de 1.5 mm. Esto permite detectar en principio Heterogeneidades de al menos 1 mm.

No suele interesar Heterogeneidades menores, ya que, dentro de los niveles de calidad establecidos, las uniones soldadas rara vez están totalmente desprovistas de Inclusiones y Poros diminutos. Por esta razón se selecciono un Palpador cuya Frecuencia Principal es de 2.25 MHz, la cual esta contenida en el intervalo recomendado por el código ASME [8].

### **6.2.2 CALIBRACIÓN ESTANDAR DEL EQUIPO DE ULTRASONIDO**

Para la calibración del equipo se procedió según el código ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE AN AMERICAN NATIONAL STANDARD Sección V Ensayos no Destructivos 1 julio 1986, apartes T- 431 y T-432. A-2.

### **6.2.3 TECNICA DE INSPECCIÓN**

La Inspección de la soldadura se hizo mediante el siguiente procedimiento:

- Seleccionar el Angulo adecuado para el Palpador.
  - Calcular la distancia de  $\frac{1}{2}$  salto y salto para el Angulo seleccionado.
  - Marcar sobre ambos lados de la soldadura dichas distancias desde el eje de la soldadura.
  - Calibrar la Base de Tiempo del equipo para un rango adecuado.
  - Inspeccionar la pieza en forma de zigzag entre las marcas de  $\frac{1}{2}$  salto y salto
- Fig. 6.7 el Barrido debe realizarse de tal forma que las líneas descritas por el

Palpador se solapen al menos un 10%, para asegurar la que toda la superficie de la soldadura ha sido inspeccionada.

- Marcar las áreas donde se encuentran los ecos, para la posterior caracterización de la discontinuidad en cuanto a Localización, Tamaño y Naturaleza.

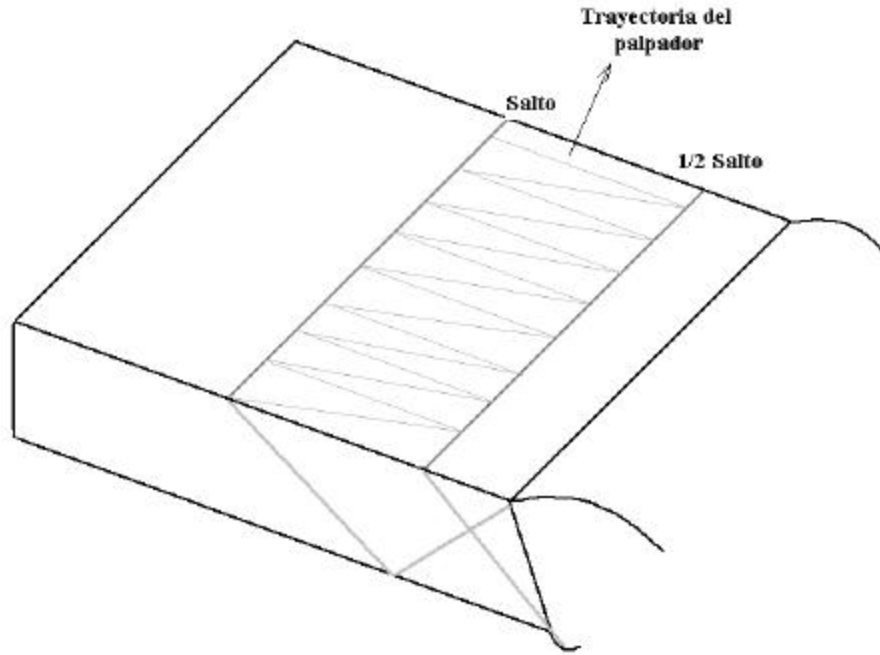


Fig. 6.5 Inspección del cordón de soldadura.

Con el fin de asegurar una presión constante sobre el palpador para minimizar los posibles errores por diferencias en el acoplamiento del Palpador y la pieza, se aplicó un peso de aproximadamente 200 grs.

Para la caracterización de las discontinuidades también se realizan movimientos Laterales, Orbitales, Rotacionales y Transversales, estos se realizan a fin de observar el comportamiento del eco (Ecodinámica) [3] [5].

Para determinar la longitud del defecto se uso la técnica de 6 dB [8] la cual no es más que hallar los puntos en que la amplitud del eco cae hasta el 50% de su máxima amplitud.

### **6.3 RECOLECCION DE DATOS**

Se recopilaron diez lecturas a cada lado de la soldadura para cada defecto usando el generador de pulso USN-50, dichas lecturas corresponden a los ecos máximos alcanzados. Esto se realizo con la finalidad de asegurar que el comportamiento del Espectro de Frecuencia se mantiene constante para cada tipo de defecto. Además se recopilaron cinco lecturas del eco de fondo para cada probeta.

Luego las lecturas fueron digitalizadas y almacenadas en la computadora a través del osciloscopio y la tarjeta de recolección de data, tomándose 4000 puntos de muestreo para poder obtener la máxima aproximación a la curva real y de esta manera reducir en lo posible las perdidas de información contenida en la señal. A dichos puntos se les agregaron valores nulos hasta llegar a la potencia de dos mas cercana, es decir hasta completar 4096 puntos de muestreo, esto un requisito indispensable para poder aplicar el algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier.

De las veinte lecturas que se obtuvieron de cada defecto fueron escogidas al azar diez, es decir cinco por lado. Estas lecturas se usaron para la construcción de la base de datos que usa el clasificador, las mismas fueron nuestras Muestras Controladas, y las diez restantes fueron usadas solo para la verificación de resultados (Muestras no Controladas).

## 6.4 DISEÑO DEL CLASIFICADOR

El diseño de un clasificador por lo general es bastante complejo por cuanto se deben encontrar características que permitan diferenciar las clases examinadas, estas diferencias pueden ser halladas por ensayo y error, o propuestas mediante argumentos de plausibilidad. Los valores de las variables para las distintas clases deben ser analizados para así escoger aquellas características que sean más favorables. De las características resultantes se crea una base de datos, de la cual partirá el clasificador. Las características que fueron probadas son:

- Amplitud de la Señal de Radiofrecuencia: Valor absoluto entre los puntos de máximo y mínimo valor de la señal digitalizada en el osciloscopio.
- Máximo de Señal: Máximo valor de la señal digitalizada en el osciloscopio.
- Mínimo de Señal: Mínimo valor de la señal digitalizada en el osciloscopio.
- Máximo Espectro: Máximo valor de la curva resultante de la aplicación de la transformada de Fourier a la señal de radiofrecuencia.
- Energía: Área bajo la curva resultante de la aplicación de la transformada de Fourier a la señal de radiofrecuencia.
- Frecuencia Fundamental: Valor de la frecuencia en donde el espectro alcanza su máximo valor.
- Momento de Segundo Orden del Espectro: Este valor puede ser considerado como una medida de semejanza ya que este depende de la ubicación del centro de gravedad del área bajo la curva.

$$M = \sum_0^N F(f_i) * f_i^2 \quad (6.1)$$

- Número de Picos en Espectro: Número de máximos alcanzados por la curva de espectro.

Estas variables serán evaluadas para cada una de las señales recopiladas, inclusive las correspondientes al eco de fondo [5] de las probetas. Con las veinte lecturas obtenidas para el eco de fondo, (que para los efectos de nuestro trabajo serán la referencia), se obtiene el promedio para cada una de las variables para así obtener un único valor de referencia. Esta referencia fue tomada para normalizar los valores correspondientes a las lecturas de los distintos defectos estudiados con cada una de las variables (excepto el número de picos). Luego de hacer el estudio de las características comprobaremos si es factible realizar la clasificación mediante ellas.

La manera en que el clasificador ejecuta su función es muy sencilla, y consiste en la comparación del Vector de Características de un Patrón referencia, con el Vector de Características de la Clase o Defecto estudiado, este valor normalizado define un punto en el espacio, el cual al ser comparado con la base de datos define las posibles Clases a la que puede pertenecer la muestra en estudio.

## **6.5 DISEÑO DEL SOFTWARE**

Una vez comprobada la factibilidad de la identificación y clasificación de las discontinuidades por medio de las características seleccionadas se procederá a la automatización de dicho proceso desarrollando un software que cumpla los objetivos del clasificador y que a su vez sea sencillo de manipular por el usuario, para hacer esto posible se utilizará el lenguaje Visual Basic, ya que este trabaja en ambiente Windows y tiene una interfaz sencilla e intuitiva.

El programa debe tener la capacidad de leer los datos digitalizados del osciloscopio. Dichos datos constan de un par ordenado (Tiempo vs. Amplitud), pero estos datos pueden estar almacenados en diferentes formatos tales como: .csv (valores separados por comas), separados por tabulación, etc.

El siguiente paso es que el software compruebe si el número de puntos de muestreo contenidos en el archivo es potencia de dos ( $2^n$ ), y en caso contrario completar dichos puntos con valores nulos hasta la potencia de dos superior inmediata.

Luego se procede a atenuar el ruido contenido en la señal mediante el uso de dos filtros. El primero reduce la componente de voltaje continuo presente en esta (Fig. 6.6 y Fig. 6.7), mediante la siguiente expresión:

$$Y(t) = S(t) - F(t) \quad (6.2)$$

$$F(t) = \frac{(Y_N - Y_0)}{N} * X + Y_0 \quad (6.3)$$

Donde:  $S(t)$  son los valores de la señal de entrada y  $N$  el valor de puntos muestreados

El segundo filtro atenúa el ruido mediante un suavizado de la curva (Fig.6.8 y Fig. 6.9) a través de una interpolación calculando el promedio de los tres valores superiores e inferiores de cada punto.

$$Y(t) = \frac{\sum_{i=1}^3 S(t-i) + S(t+i)}{6}$$

Donde  $t = 0,1,2,\dots,N$

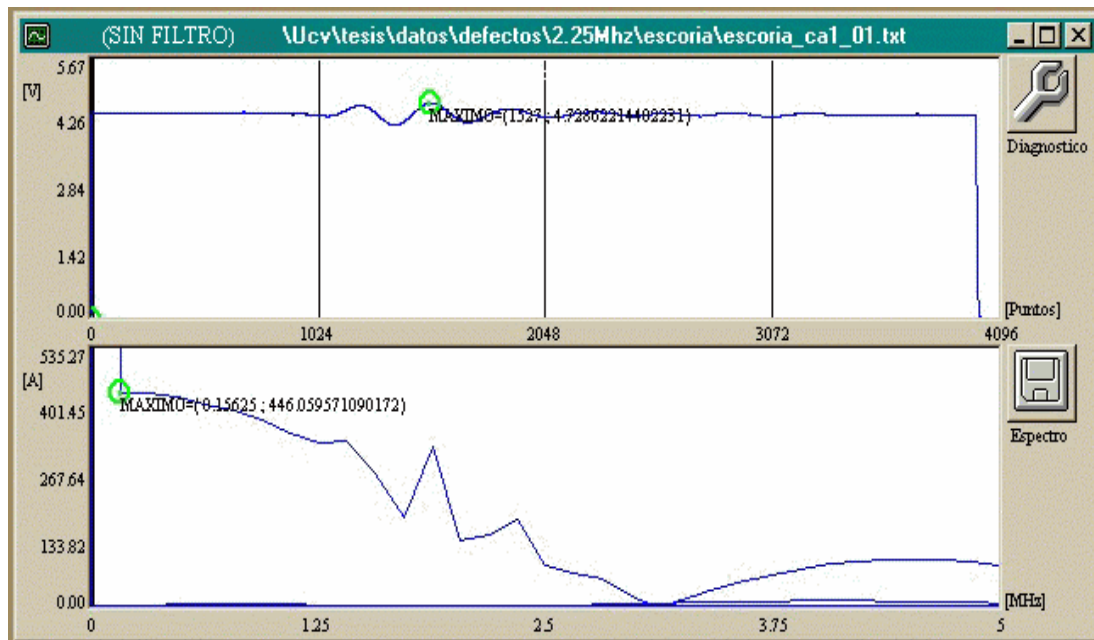


Fig.6.6 Efecto de la componente de voltaje continuo en la señal.

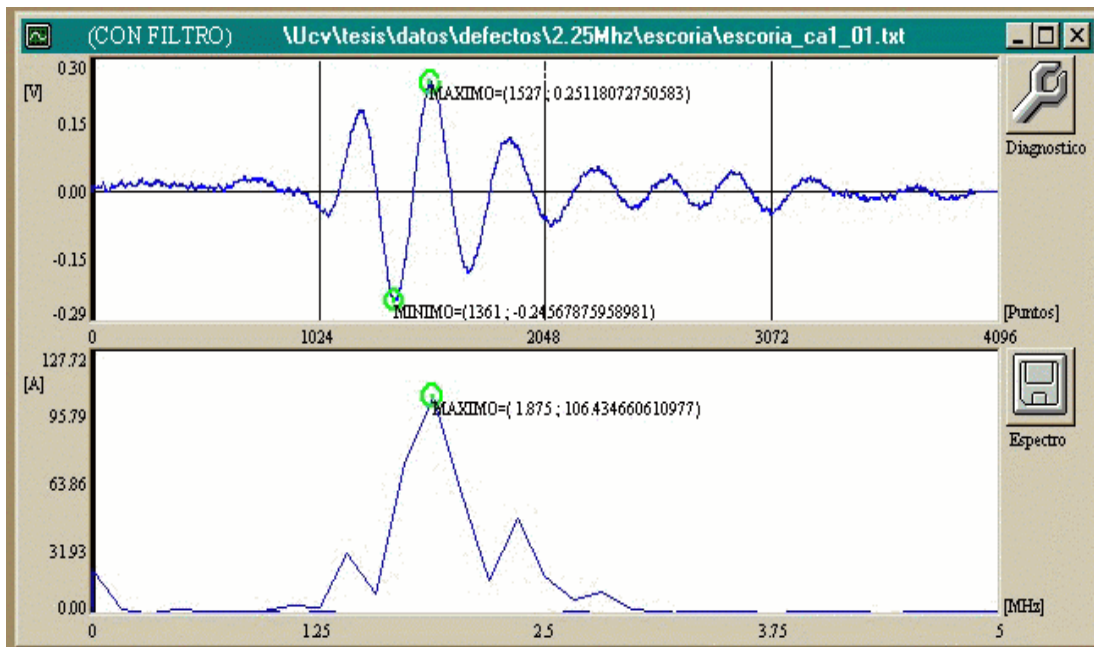


Fig. 6.7 Señal luego de aplicarse el filtro

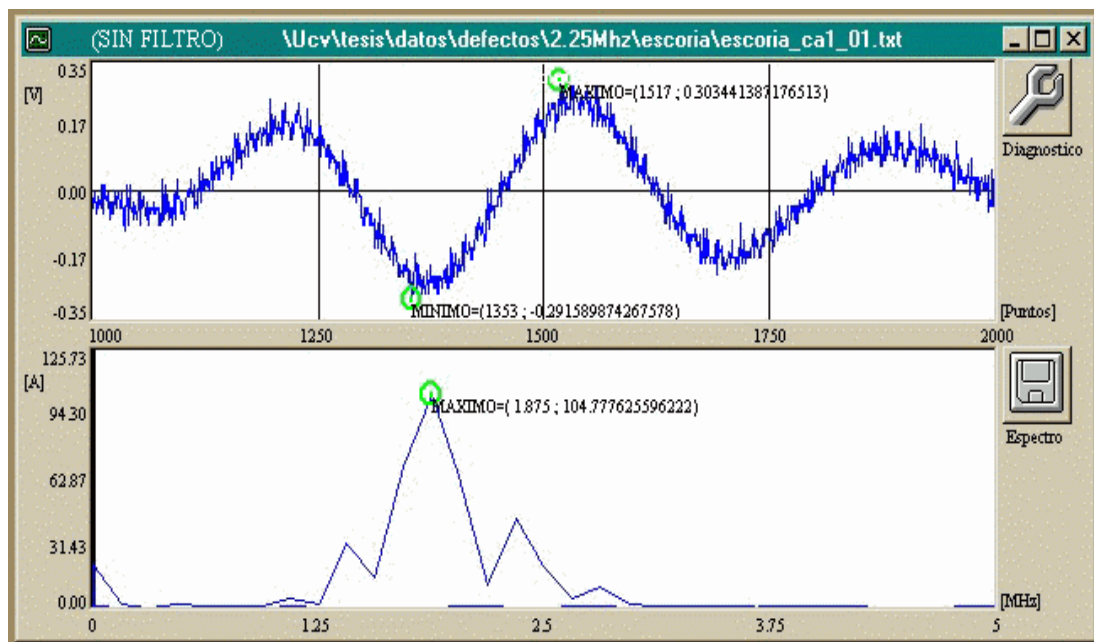


Fig. 6.8 Señal con ruido.

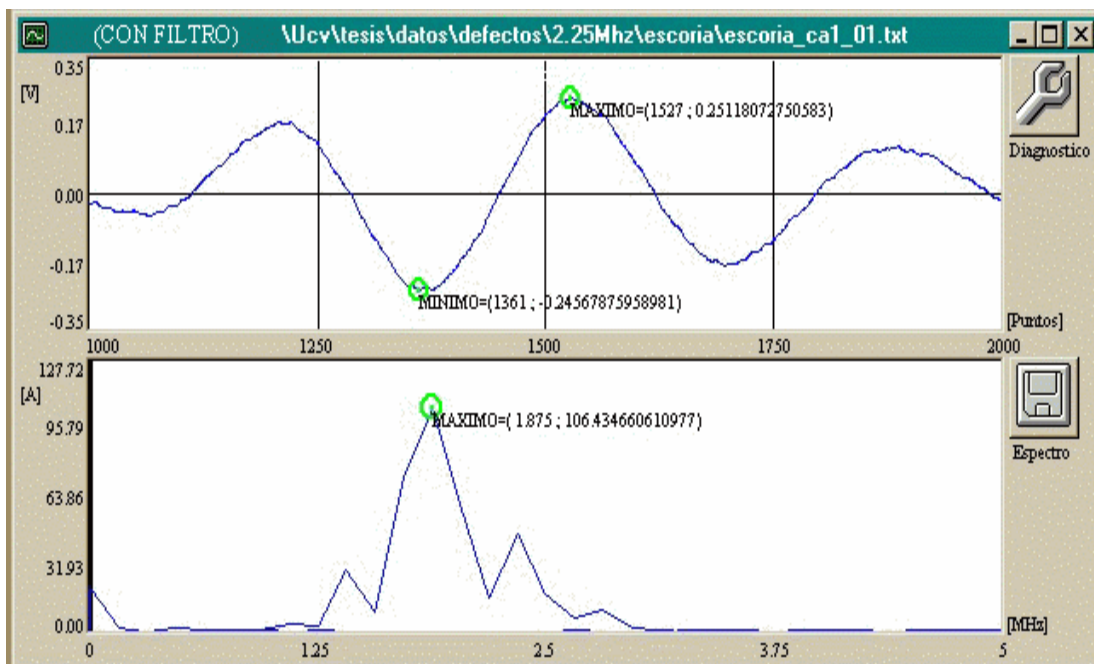


Fig. 6.9 Señal filtrada.



Después se procede a calcular la Transformada Discreta de Fourier, dicho algoritmo FFT se obtuvo de Internet [10] y esta incluido como un modulo del Software.

Además el programa debe calcular a partir de los datos, las características mencionadas anteriormente para poder ejecutar la función del clasificador. Para calcular los valores de dichas características se utilizaron herramientas matemáticas como: interpolaciones, primera derivada, aproximación de la integral mediante el método de los trapecios, etc.

Adicionalmente el programa debe hacer una clara representación gráfica tanto de la señal de radiofrecuencia como del espectro calculado. Esto se hará mediante la representación de pares ordenados en el plano cartesiano. En el caso de la señal de radiofrecuencia el par ordenado será “Puntos de muestreo vs. Voltaje” y en el caso del Espectro de Frecuencia será “Frecuencia vs. Amplitud”

Para que el programa funcione se debe cargar primero una referencia (señal del eco de fondo o respuesta de pared), dicha referencia se utiliza para normalizar los valores obtenidos de la señal a caracterizar ya que la base de datos con que el programa realizara la comparación esta normalizada para evitar conflictos de unidades.

Luego de obtener los valores característicos de la señal de estudio, el programa procederá a comparar dichos valores con los almacenados en la base de datos la cual se obtiene a partir de las muestras controladas.

El sistema de comprobación constara de dos partes, el primero verificará si el valor de la característica esta dentro de los rangos determinados para cada defecto. Dicho rango puede estar modificado por un factor de tolerancia el cual puede ser configurado desde las opciones del programa. Aquellos valores que estén dentro del rango admisible del defecto pasan a la segunda fase del comprobador, en la cual se calcula la distancia entre el valor de comparación y un valor promedio definido para cada defecto. Dicha distancia nos servirá luego para establecer un patrón de semejanza con cada defecto. Finalmente el programa debe presentar un reporte o diagnostico de las clases a las que puede pertenecer la señal estudiada, descartando los demás defectos.

# **Capítulo VII**

## **RESULTADOS**

---

### **7.1 CARACTERIZACION PRIMARIA DE DEFECTOS**

Luego de realizar la Inspección Ultrasónica de la manera indicada en el capítulo anterior, y detectar los defectos en las cuatro Probetas, fueron caracterizados y ubicados los ocho tipos existentes en ellas, lo cual es el punto de partida para verificar la toma de data. Los defectos encontrados en las probetas fueron:

- Escoria
- Exceso de Penetración
- Falta de Penetración
- Falta de Fusión en Bisel
- Falta de Fusión entre Pases
- Falta de Fusión en la Raíz
- Grieta Conectada a la Superficie Externa
- Porosidad

Estos resultados fueron comparados con los datos suministrados por la compañía proveedora de probetas, los cuales fueron obtenidos por ensayos de Rayos X [3] [4].

La ubicación de los defectos se determino como la distancia entre el cero de referencia y el comienzo del defecto (Fig. 7.1).

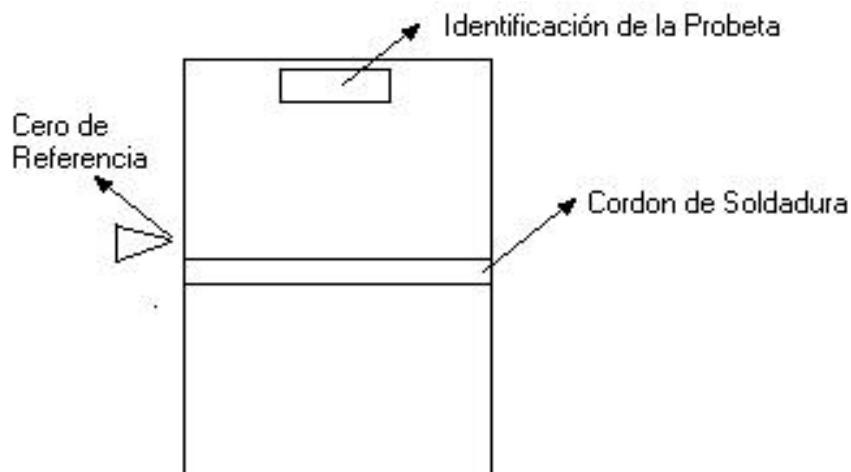


Fig. 7.1 Diagrama de un a Probeta SONASPECTON.

| DEFECTO                               | UBICACIÓN<br>[mm] | LONGITUD<br>[mm] |
|---------------------------------------|-------------------|------------------|
| Escoria                               | 77                | 28               |
| Exceso de Penetración                 | 96                | 29               |
| Falta de Penetración                  | 32                | 14               |
| Falta de Fusión en Bisel              | 19                | 27               |
| Falta de Fusión entre Pases           | 31                | 28               |
| Falta de Fusión en la Raíz            | 65                | 21               |
| Grieta Conectada a Superficie Externa | 90                | 22               |
| Porosidad                             | 28                | 20               |

Tabla 7.1 Resultados de referencia (Rayos X), compañía SONASPECTION.

| DEFECTO                               | UBICACIÓN<br>[mm] | LONGITUD<br>[mm] |
|---------------------------------------|-------------------|------------------|
| Escoria                               | 74                | 30               |
| Exceso de Penetración                 | 95                | 27               |
| Falta de Penetración                  | 32                | 16               |
| Falta de Fusión en Bisel              | 18                | 29               |
| Falta de Fusión entre Pases           | 30                | 29               |
| Falta de Fusión en la Raíz            | 64                | 24               |
| Grieta Conectada a Superficie Externa | 90                | 21               |
| Porosidad                             | 27                | 18               |

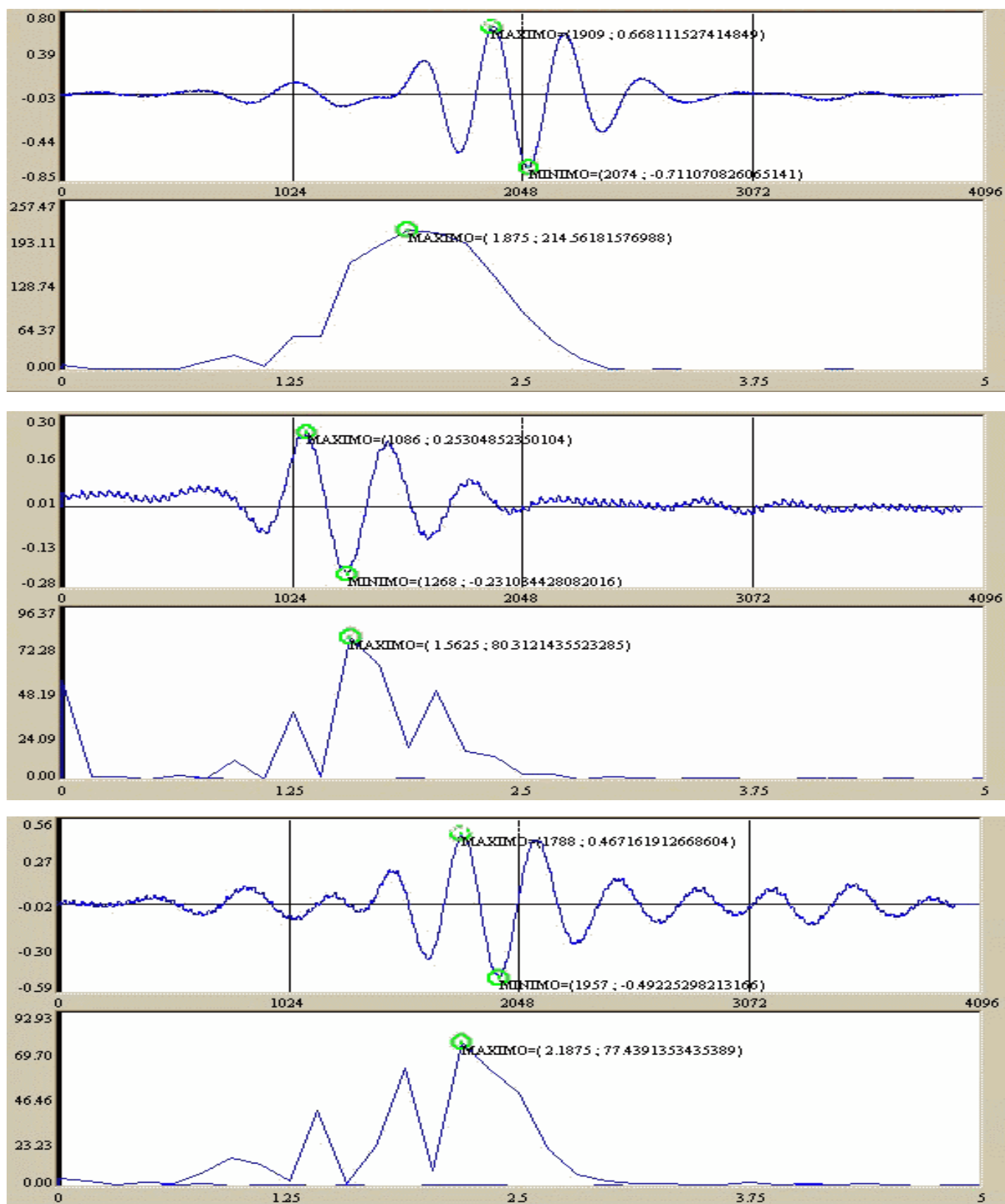
Tabla 7.2 Resultados de la Inspección por Ultrasonidos.

## 7.2 CURVAS

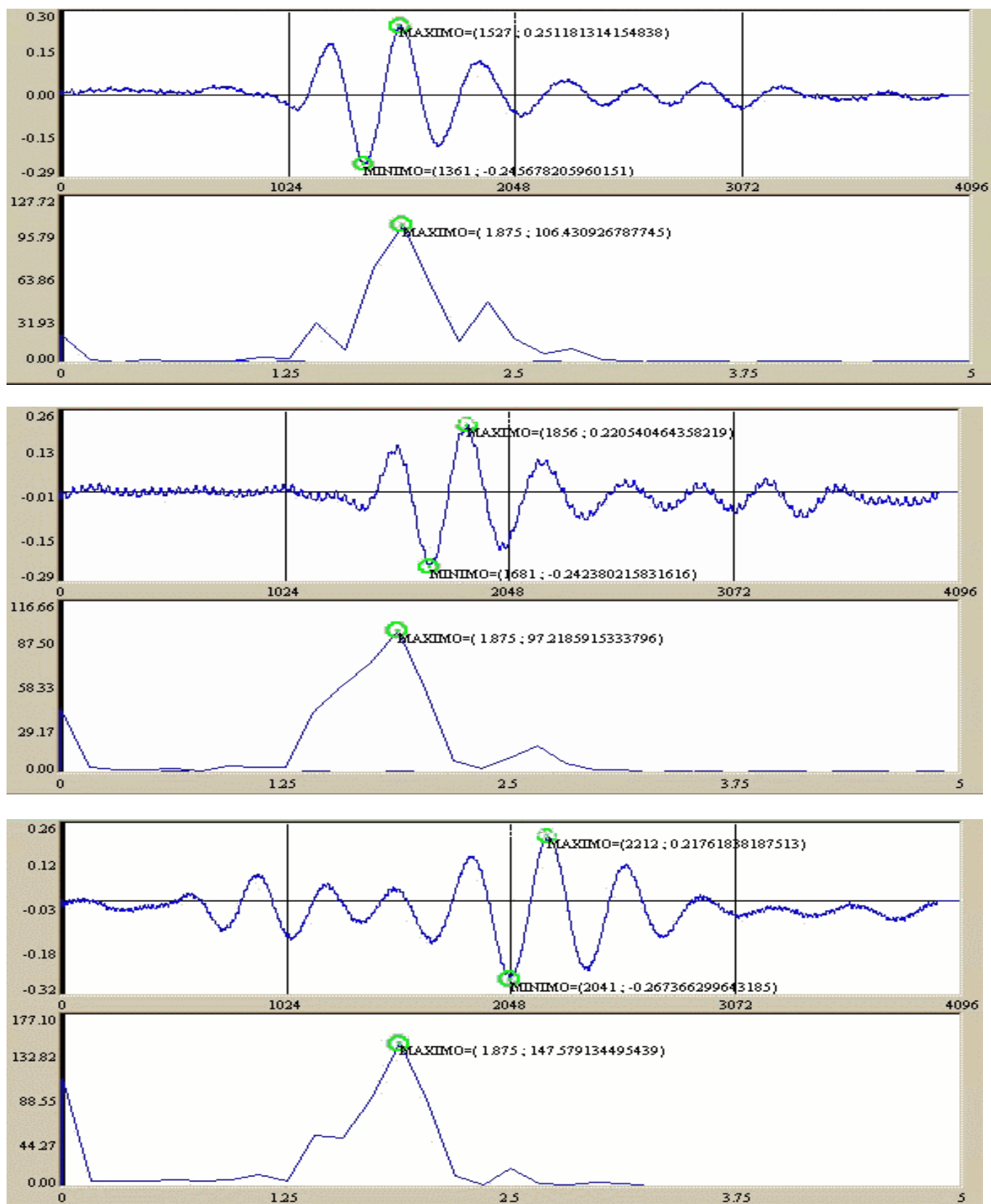
Las siguientes curvas muestran las señales de radiofrecuencia correspondientes a los distintos defectos hallados en las probetas y sus respectivos espectros de frecuencia, estas se obtuvieron mediante la aplicación del ultrasonido con eco pulsado, seguido por la digitalización. Mediante el software desarrollado se puede observar en ellas tanto la frecuencia fundamental como el máximo y mínimo de la señal de radiofrecuencia y el máximo valor del espectro.

Debemos tener claro que estas graficas no tienen unidades definidas para el eje de las ordenadas por lo que estos valores solo tienen sentido cuando se les compara con otra señal. Es muy importante que el operador del software tenga presente esto ya que todos los datos introducidos al mismo deben tener los mismos rangos y puntos muestreados para todas las señales a analizar inclusive las referencias.

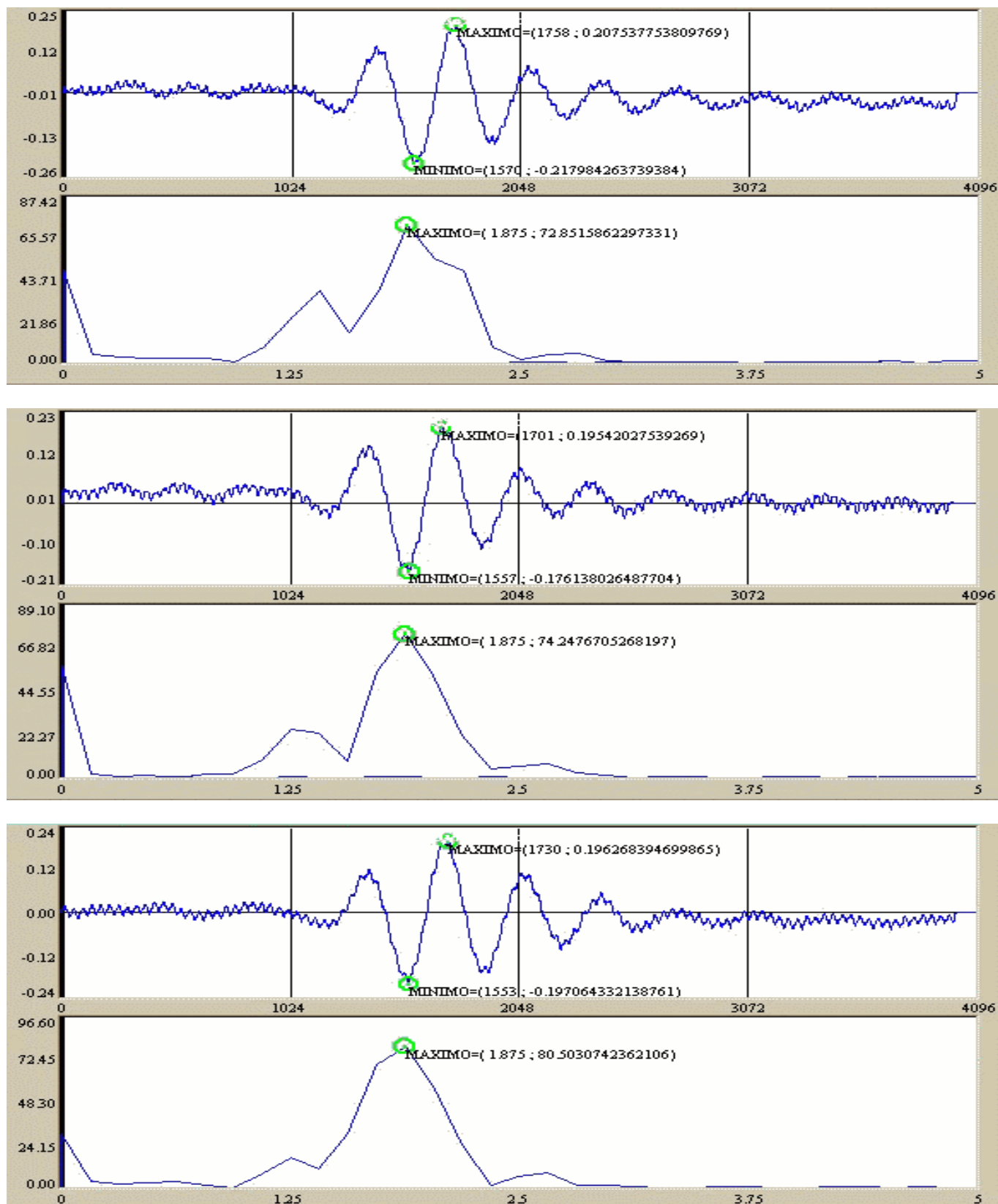
## Exceso de penetración



## Escoria

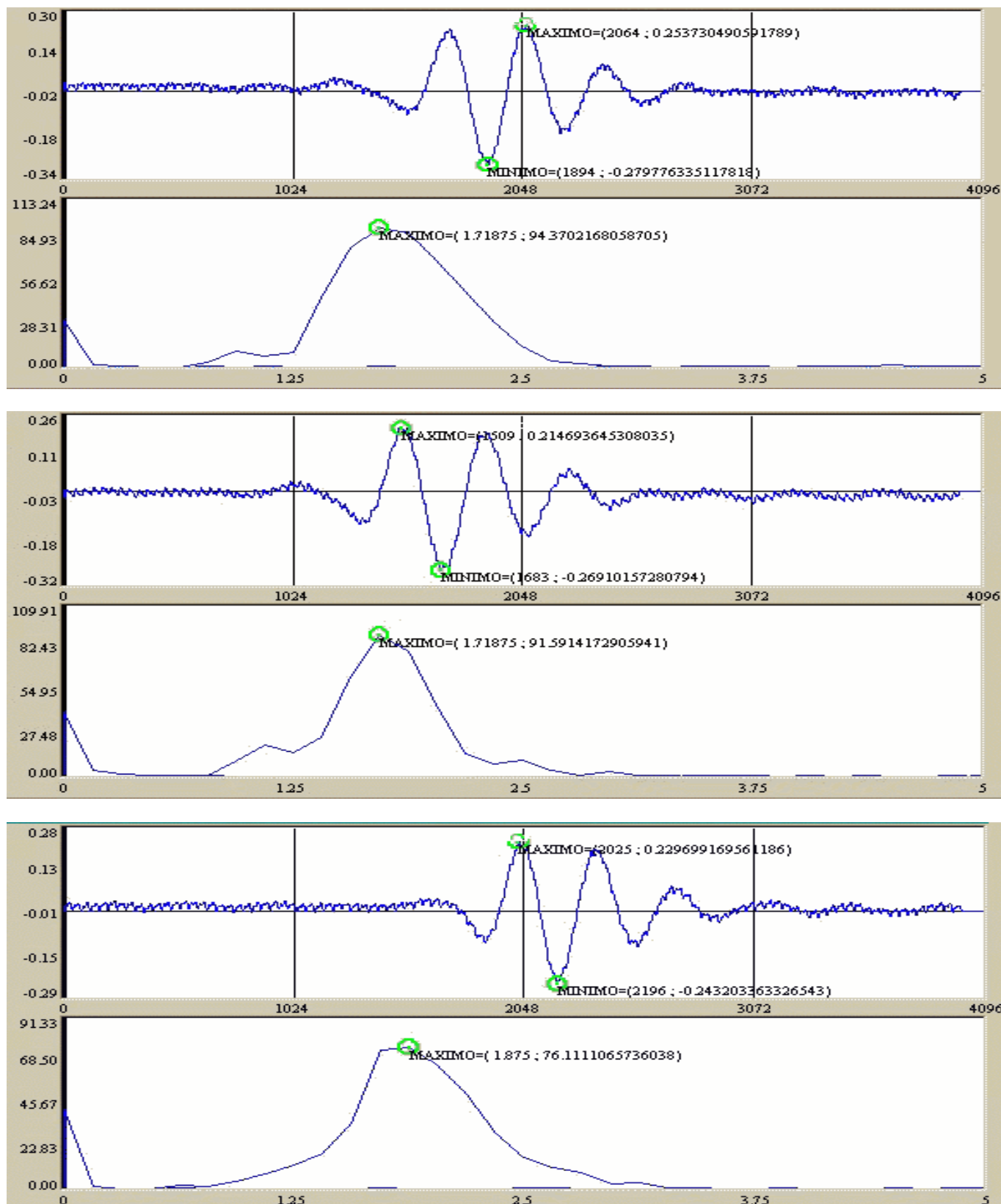


## Falta de Fusión en Bisel

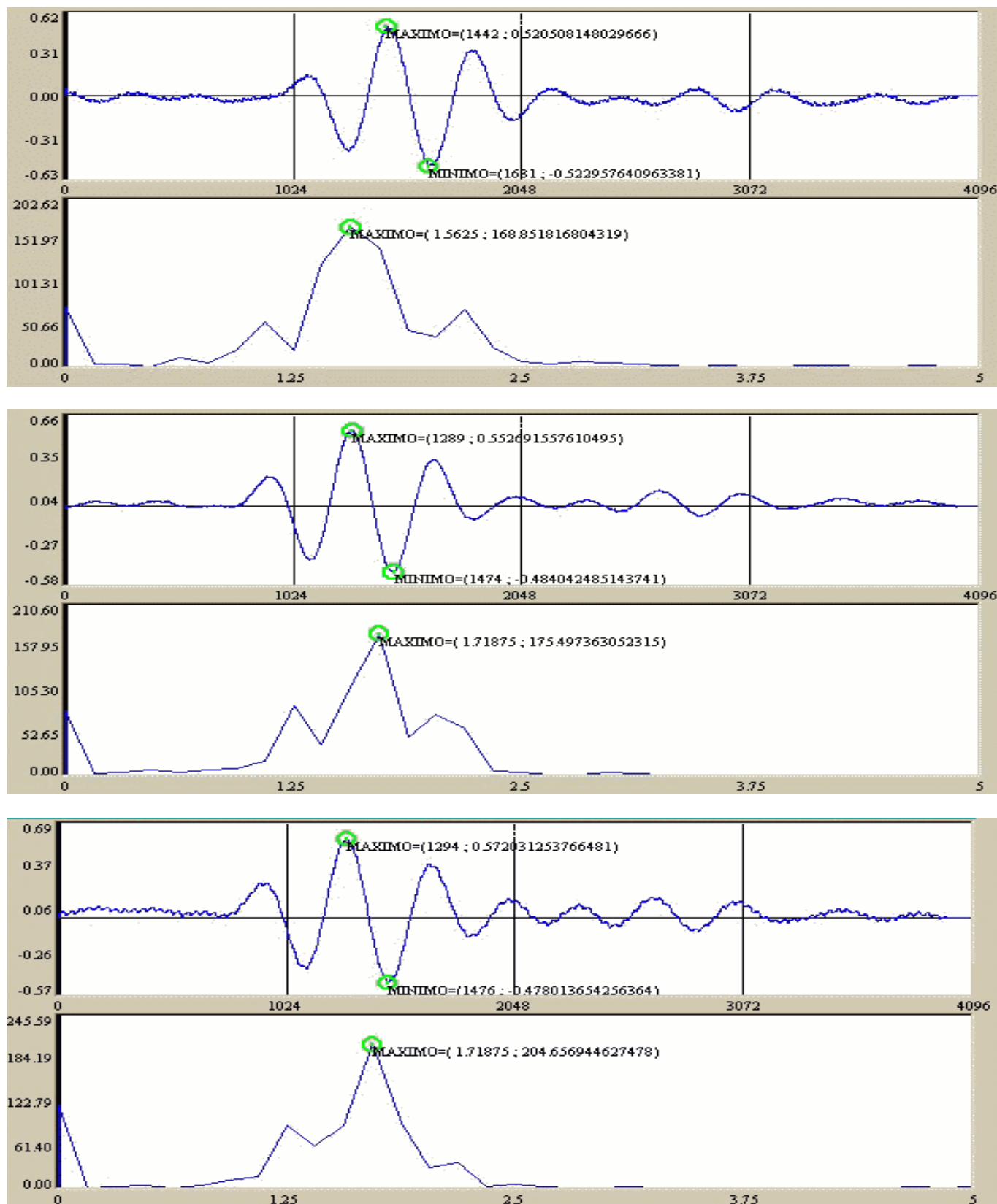




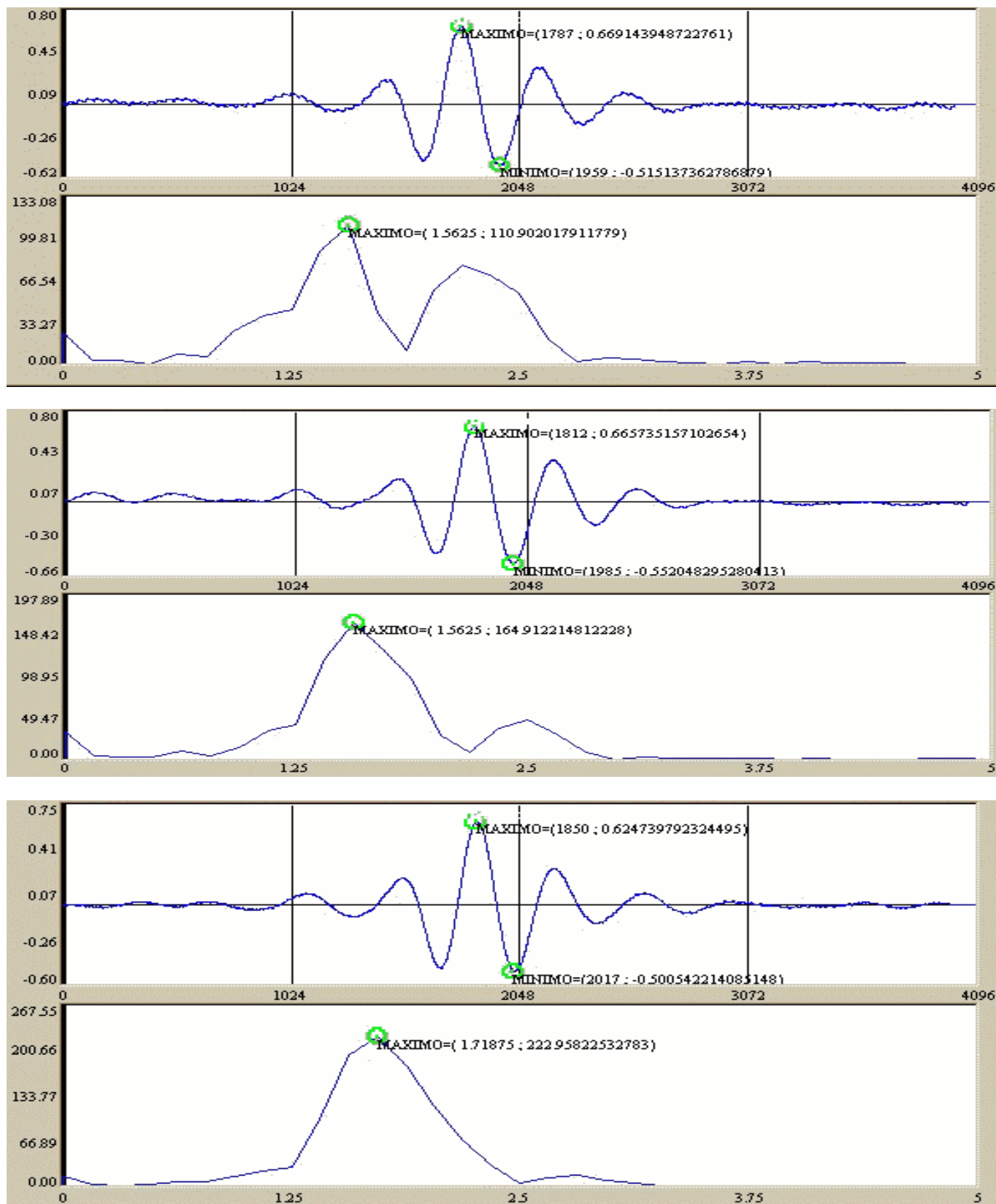
## Falta de Fusión entre Pases



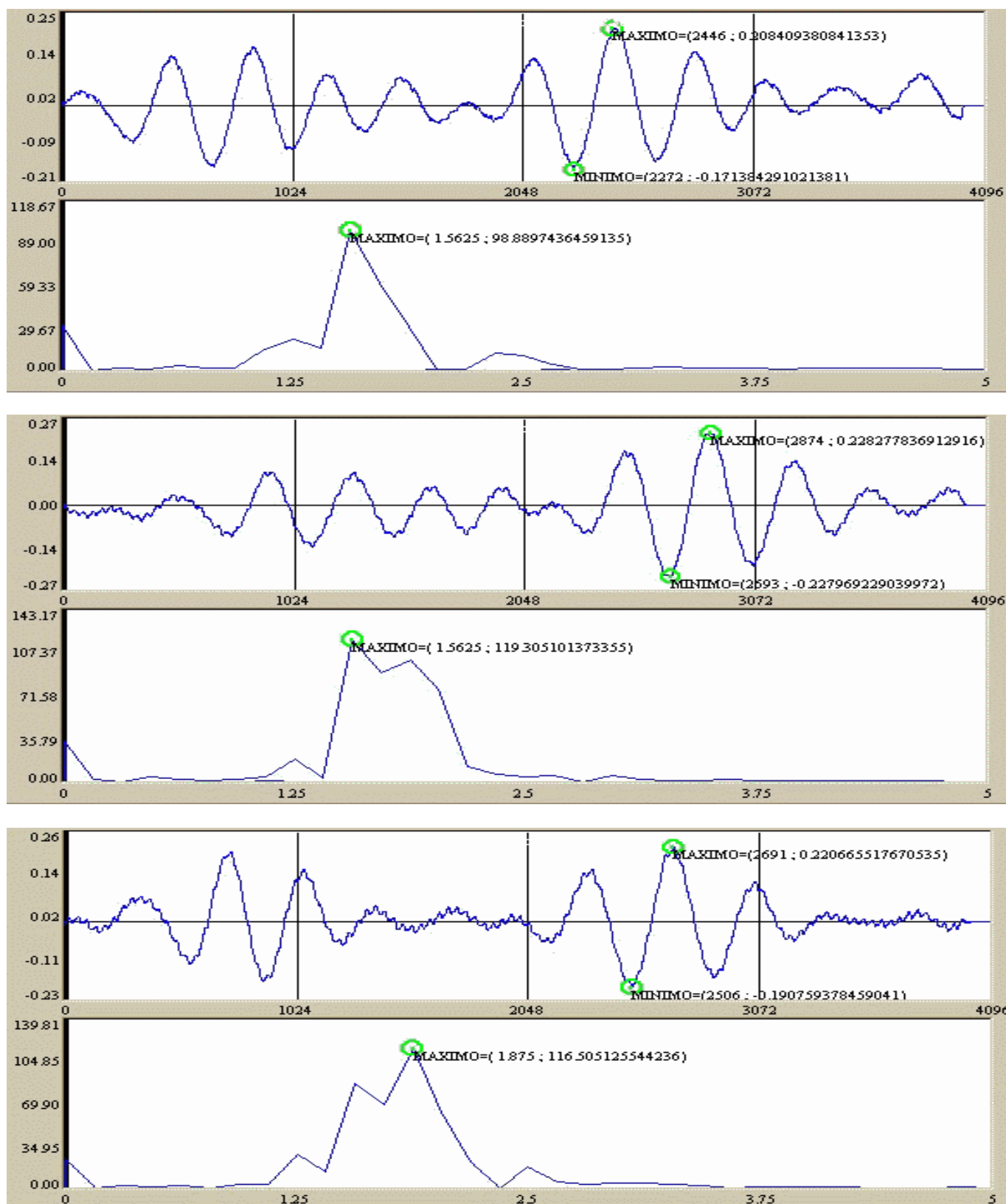
## Falta de Fusión en la Raíz



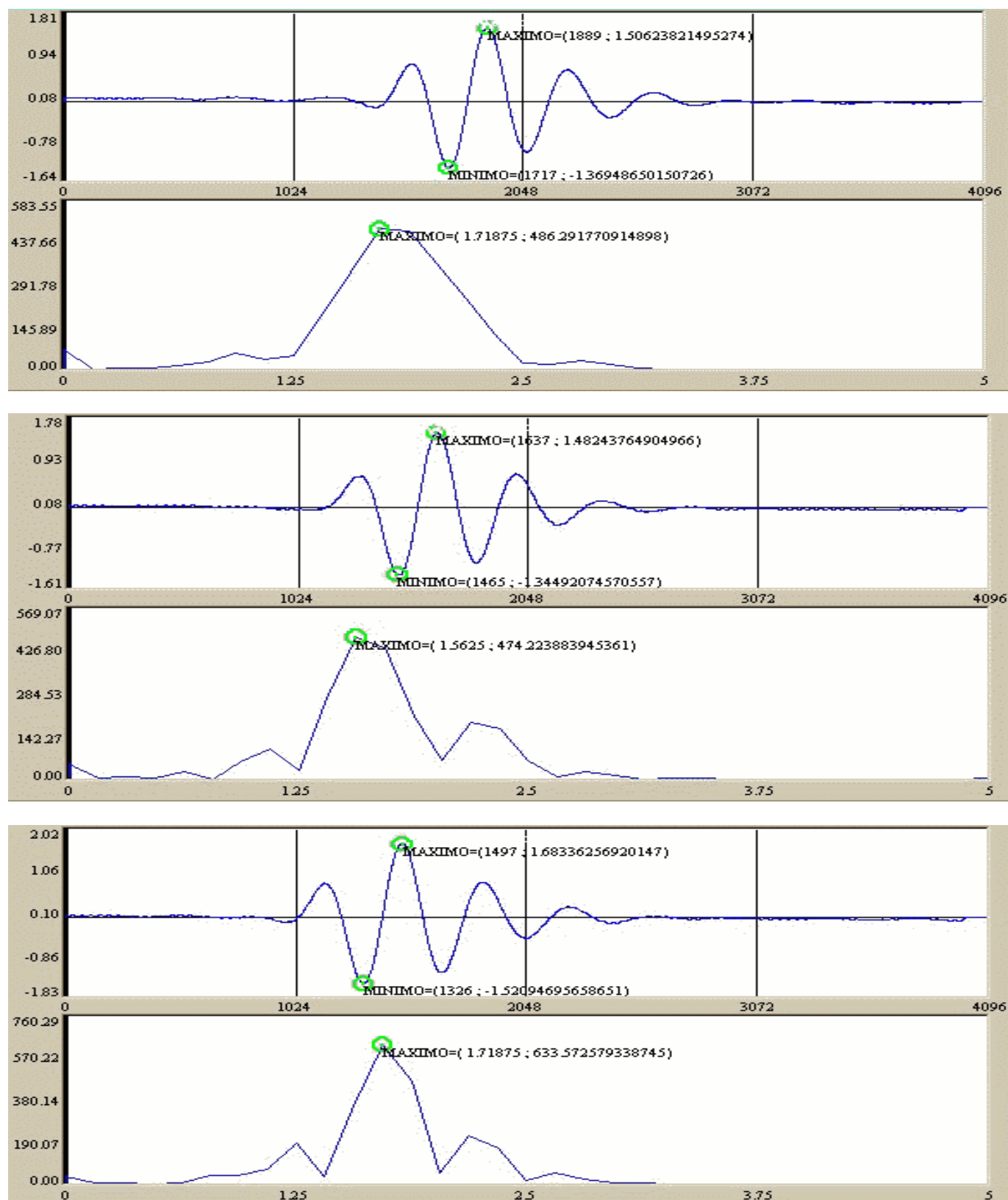
## Falta de Penetración



## Porosidad



## Referencia



### 7.3 CARACTERISTICAS UTILIZADAS POR EL CLASIFICADOR

Basados en la hipótesis que cada defecto se comporta como un filtro de frecuencia y energía, la selección preliminar fue un conjunto de características que se relacionan directa o indirectamente con la energía contenida en la respuesta ultrasónica.

Para esta preselección de características se muestran los resultados obtenidos en las siguientes tablas y gráficos. Los valores son presentados como Máximo, Promedio y Mínimo de las características estudiadas para cada uno de los defectos. Los gráficos representan la relación entre el valor obtenido para cada defecto estudiado y el valor obtenido de la característica en la señal de referencia (respuesta de pared) en porcentaje.

Defectos estudiados:

E= Escoria.

EP= Exceso de Penetración.

FP= Falta de Penetración.

FBB= Falta de Fusión en Bisel.

FFP= Falta de Fusión entre Pases.

G= Grieta.

M o FFR= Falta de Fusión en la Raíz o Mordedura

P= Porosidad.

- **Máximo de Señal:** Máximo valor de la señal digitalizada en el osciloscopio.

| E      | EP     | FP     | FBB     | FFP    | G      | M      | P      |
|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| 14.743 | 20.241 | 42.478 | 15.611  | 13.062 | 52.917 | 34.012 | 10.688 |
| 18.870 | 40.930 | 74.469 | 16.930  | 18.832 | 66.750 | 49.222 | 17.835 |
| 24.461 | 57.444 | 110.26 | 19.5676 | 54.942 | 82.531 | 74.563 | 24.176 |

Tabla 7.3 Resultados Máximo Señal.

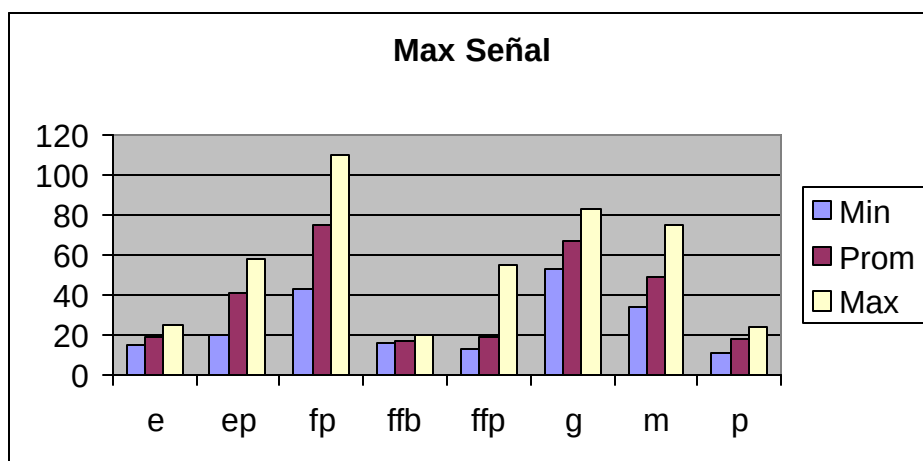


Grafico 7.1 Resultados máximo señal de radiofrecuencia.

- **Mínimo de Señal:** Mínimo valor de la señal digitalizada en el osciloscopio.

| E      | EP     | FP     | FFB    | FFP    | G      | M      | P      |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 16.552 | 18.256 | 38.815 | 14.725 | 13.534 | 55.802 | 34.892 | 13.174 |
| 22.739 | 46.963 | 68.630 | 19.273 | 22.992 | 73.741 | 50.121 | 19.033 |
| 28.955 | 65.937 | 102.80 | 22.742 | 62.164 | 93.285 | 70.930 | 26.892 |

Tabla 7.4 Mínimo de Señal.

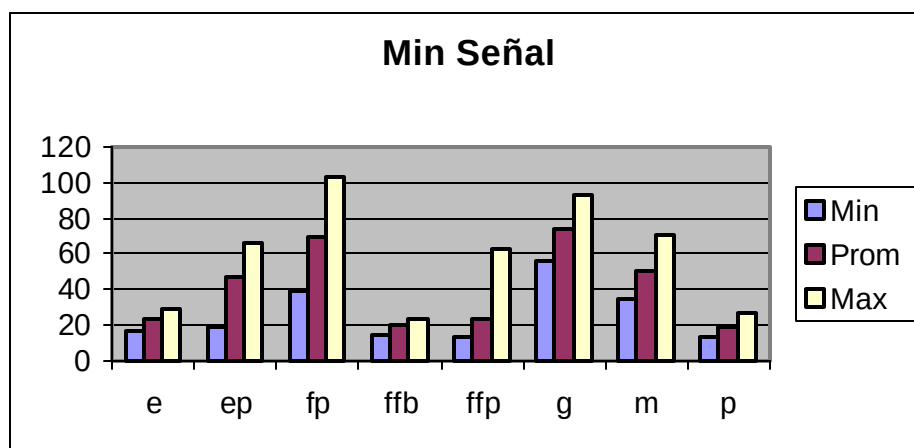


Grafico 7.2 Resultados mínimo señal de radiofrecuencia.

- **Amplitud de la Señal de Radiofrecuencia:** Valor absoluto de entre los puntos de máximo y mínimo valor de la señal digitalizada en el osciloscopio.

| E      | EP     | FP     | FFB    | FFP    | G      | M      | P      |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 16.226 | 19.294 | 41.145 | 15.746 | 13.593 | 56.382 | 35.924 | 15.117 |
| 20.716 | 43.808 | 71.683 | 18.048 | 20.817 | 70.086 | 49.651 | 18.407 |
| 25.039 | 60.558 | 106.43 | 19.463 | 58.388 | 85.516 | 72.677 | 24.667 |

Tabla 7.5 Amplitud de Señal de Radiofrecuencia.

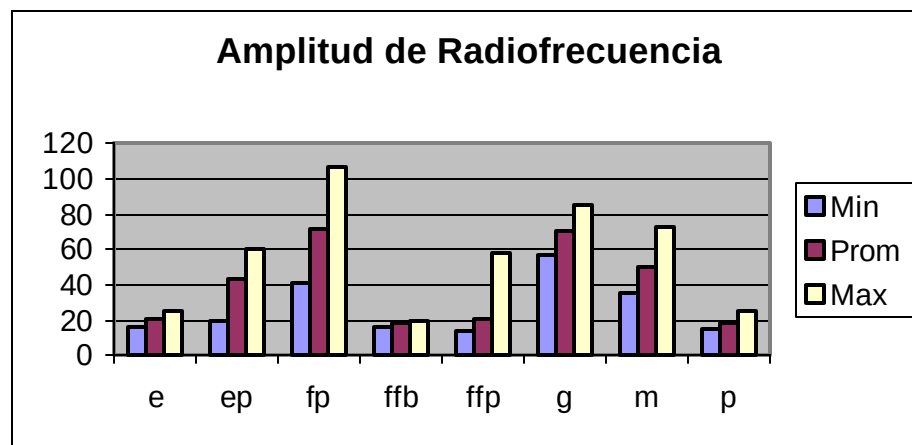


Grafico 7.3 Resultados Amplitud de radiofrecuencia.

- **Máximo Espectro:** Máximo valor de la curva resultante de la aplicación de la transformada de Fourier a la señal de radiofrecuencia.

| E      | EP     | FP     | FFB    | FFP    | G      | M      | P      |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 11.730 | 13.071 | 19.895 | 12.034 | 7.106  | 26.532 | 28.628 | 10.371 |
| 20.850 | 40.201 | 63.473 | 15.545 | 16.646 | 76.668 | 49.970 | 23.599 |
| 38.275 | 69.742 | 106.34 | 20.784 | 66.240 | 111.71 | 88.470 | 40.999 |

Tabla 7.6 Valor máximo de Espectro.



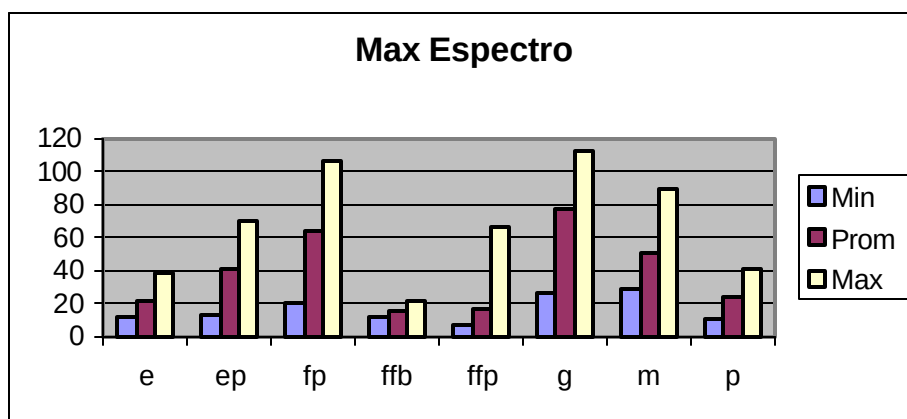


Grafico 7.4 Resultados valor máximo de Espectro.

- **Energía:** Área bajo la curva resultante de la aplicación de la transformada de Fourier a la señal de radiofrecuencia.

| E      | EP     | FP     | FFB    | FFP    | G      | M      | P      |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 31.737 | 38.773 | 43.881 | 37.076 | 33.653 | 46.920 | 47.598 | 32.499 |
| 40.679 | 58.058 | 77.925 | 40.333 | 42.836 | 74.806 | 60.068 | 39.535 |
| 51.459 | 81.891 | 115.79 | 45.317 | 76.674 | 101.06 | 86.582 | 48.105 |

Tabla 7.7 Valor máximo de Energía.

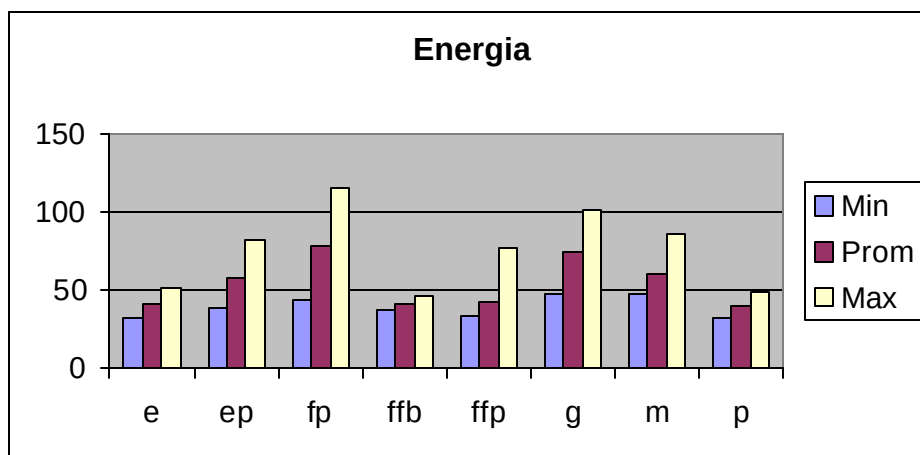


Grafico 7.5 Resultados Energía.

- **Frecuencia Fundamental:** Valor de la frecuencia en donde el espectro alcanza su máximo valor.

| E     | EP    | FP    | FFB   | FFP   | G     | M     | P     |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.562 | 1.562 | 1.562 | 1.562 | 1.25  | 1.562 | 1.406 | 1.562 |
| 1.812 | 2     | 1.726 | 1.805 | 1.75  | 1.804 | 1.710 | 1.789 |
| 2.031 | 2.343 | 2.187 | 2.031 | 2.187 | 2.187 | 2.187 | 2.187 |

Tabla 7.8 Frecuencia Fundamental.

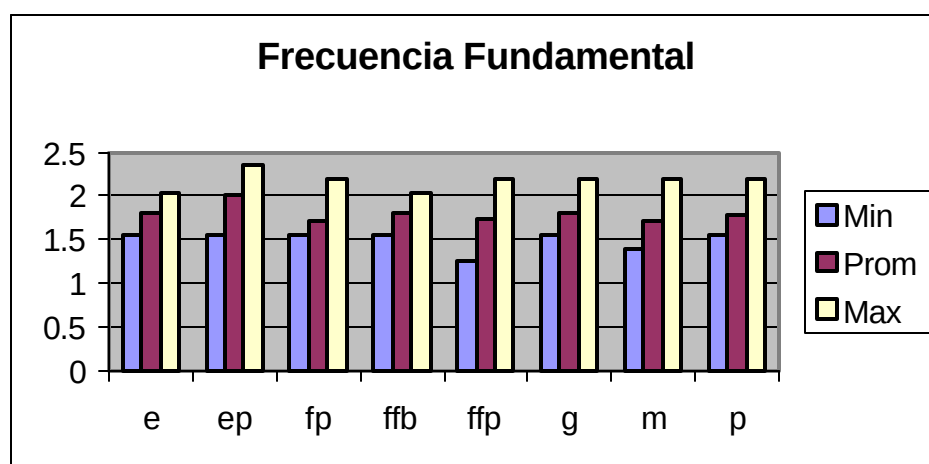


Grafico 7.6 Resultados Frecuencia Fundamental.

- **Momento de 2º orden:** Este valor puede ser considerado como una medida de semejanza ya que este depende de la ubicación del centro de gravedad de la curva.

| E      | EP     | FP     | FFB    | FFP    | G      | M      | P      |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 76.466 | 81.501 | 74.307 | 90.292 | 76.553 | 69.454 | 78.908 | 75.833 |
| 95.279 | 102.78 | 101.09 | 99.112 | 101.51 | 90.681 | 97.176 | 86.066 |
| 117.95 | 122.74 | 147.47 | 109.13 | 135.36 | 113.79 | 128.30 | 102.77 |

Tabla 7.9 Momento Angular de la curva de Espectro.

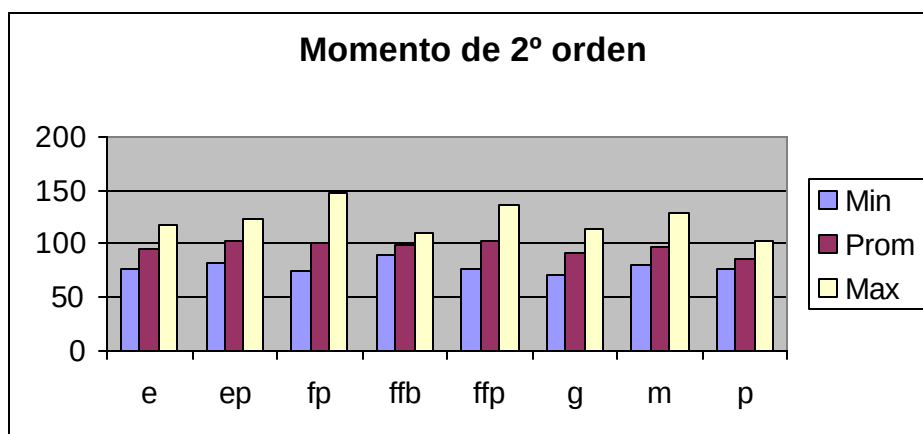


Grafico 7.7 Resultados para el momento de segundo orden de la curva de Espectro.

- **Número de Picos en Espectro:** Número de máximos alcanzados por la curva de espectro.

| E   | EP   | FP   | FFB | FFP | G   | M   | P   |
|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2   | 1    | 0    | 2   | 0   | 1   | 1   | 2   |
| 3.1 | 2.55 | 1.45 | 2.7 | 2   | 2.4 | 2.3 | 3.4 |
| 4   | 5    | 3    | 4   | 4   | 4   | 4   | 5   |

Tabla 7.10 Numero de Picos de Espectro.

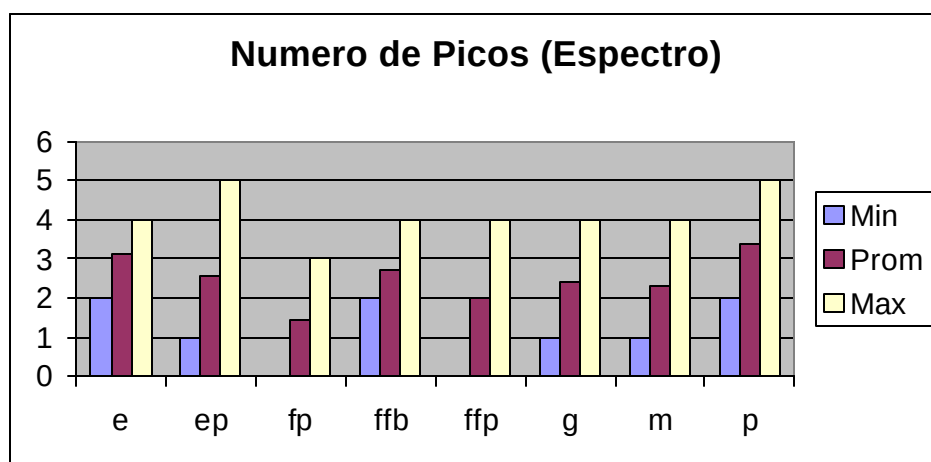


Grafico 7.8 Resultados número de picos de la curva de Espectro.

Adicionalmente a estas características también fueron probadas algunas combinaciones de estas y el estudio de la energía contenida en la banda comprendida entre 0,9375-3,125 MHz, esto se realizó con el fin de descartar la posibilidad de contribuciones no despreciables debidas al remanente de voltaje continuo contenido en la señal.

Luego de observar el comportamiento de las características de las señales de radiofrecuencia y sus respectivos espectros, se tomaron solo aquellas características que mostraron una mayor capacidad de diferenciación entre las distintas clases de defectos y se descartaron aquellas características que presentaban un comportamiento no discriminante o muy similar a las características seleccionadas.

Las características escogidas para realizar la identificación de defectos fueron: Amplitud de Radiofrecuencia (diferencia entre el máximo y mínimo valor de la Radiofrecuencia), La Energía Espectral y el Número de Picos del Espectro.

Luego se procedió a hacer una base de datos evaluando las características seleccionadas para cada uno de los defectos en las muestras controladas.

Debido a la notable desviación observada entre los valores correspondientes a ambos lados del cordón de soldadura para el defecto Falta de Penetración, y ya que el clasificador trabaja con los valores superior, inferior y promedio, se tomó la decisión de separar los datos correspondientes a dichas señales para lograr una mejor caracterización

En el siguiente gráfico podemos observar la desviación para cada uno de los lados del cordón de soldadura para la Amplitud de Radiofrecuencia, en el defecto Falta de Penetración:

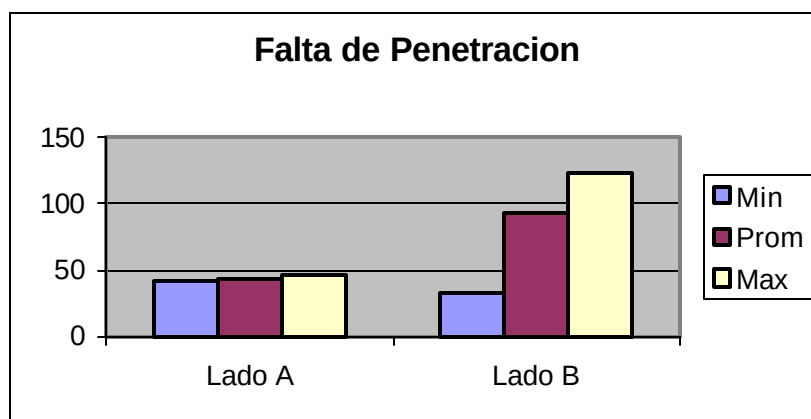


Grafico 9 Desviación existente en los valores de la Amplitud de Radiofrecuencia para el defecto Falta de Penetración

Es por eso que se trabajó con ambos lados del defecto por separado y observamos nueve y no ocho columnas como se esperaba en la base de datos que se muestra a continuación.

#### Base de Datos

|               | A[%]  | B[%]  | C[%]  | C'[%]  | D[%]  | E[%]  | F[%]  | G[%]  | H[%]  |
|---------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Min. Amp.     | 13.04 | 16.83 | 39.13 | 92.97  | 12.92 | 10.84 | 56.11 | 33.89 | 12.69 |
| Prom. Amp.    | 17.75 | 41.76 | 42.09 | 100.00 | 14.64 | 15.96 | 69.83 | 48.14 | 15.96 |
| Máx. Amp.     | 22.07 | 59.71 | 44.50 | 107.05 | 16.33 | 20.09 | 84.80 | 72.13 | 22.67 |
| Min. Energía  | 12.49 | 16.47 | 27.92 | 64.64  | 14.59 | 11.07 | 27.76 | 26.59 | 14.49 |
| Prom. Energía | 18.19 | 39.51 | 36.90 | 97.95  | 16.14 | 16.89 | 65.27 | 42.39 | 20.45 |
| Máx. Energía  | 28.96 | 70.16 | 57.48 | 116.40 | 17.37 | 24.76 | 98.68 | 77.70 | 29.02 |
| Min. # Picos  | 2.00  | 1.00  | 0.00  | 1.00   | 2.00  | 0.00  | 1.00  | 1.00  | 2.00  |
| Prom. # Picos | 3.10  | 2.55  | 1.40  | 1.50   | 2.70  | 2.00  | 2.40  | 2.30  | 3.40  |
| Máx. # Picos  | 4.00  | 5.00  | 3.00  | 2.00   | 4.00  | 4.00  | 4.00  | 4.00  | 5.00  |

Tabla 7.11 Base de Datos

Donde:

A= Escoria.

B= Exceso de Penetración.

C= Falta de Penetración 1.

C'= Falta de Penetración 2.

D= Falta de Fusión en Bisel.

E= Falta de Fusión entre Pases.

F= Grieta.

G= Falta de Fusión en la Raíz.

H= Porosidad.

Esta Base de Datos muestra los distintos valores de las características evaluadas para cada una de las clases definidas por las discontinuidades dichos valores son el porcentaje del valor de una característica específica contra el valor de la misma característica para la referencia (respuesta de pared).

Los siguientes gráficos muestran los valores de referencia de los distintos tipos de defectos encontrados para las características usadas por el clasificador.

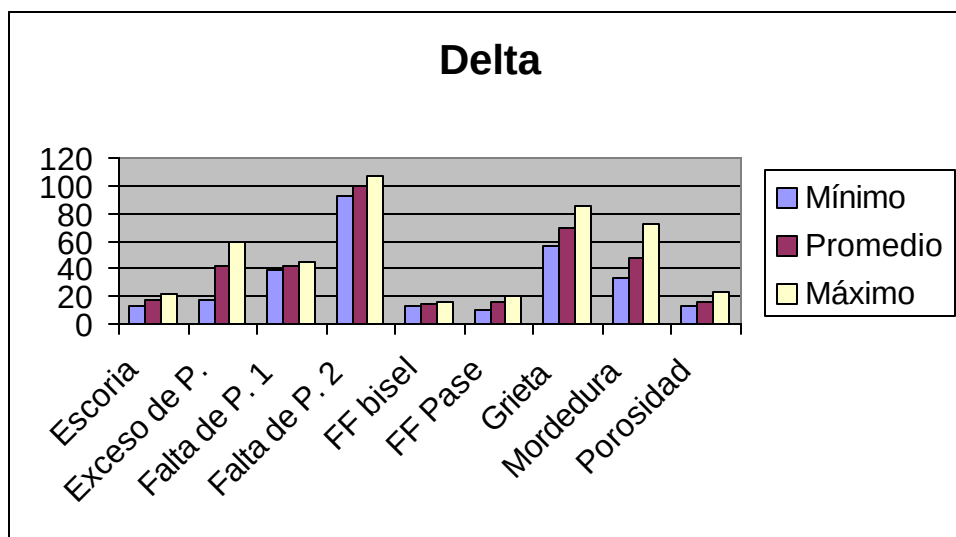


Grafico 7.10 Comportamiento del valor de la Amplitud de Radiofrecuencia para los distintos defectos.

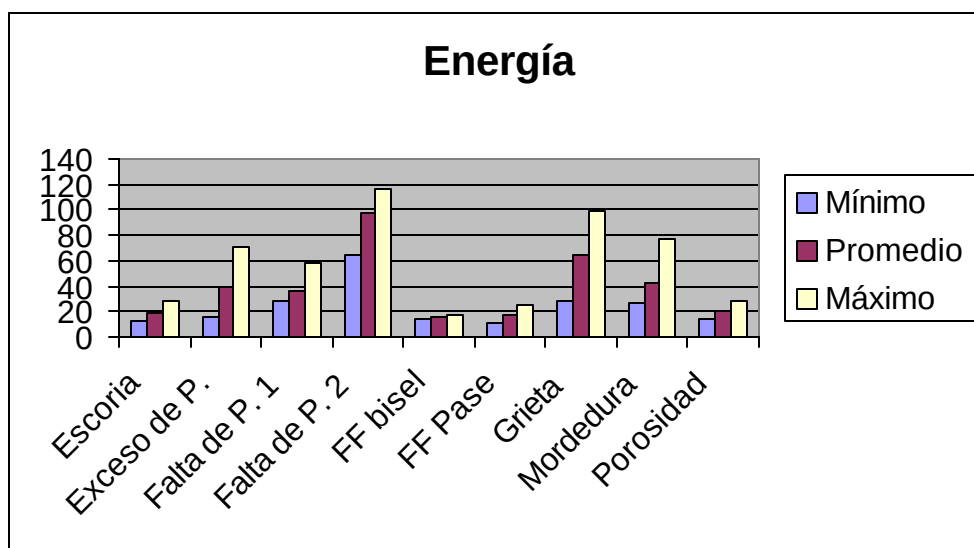


Grafico 7.11 Comportamiento del valor de la Energía para los distintos defectos.

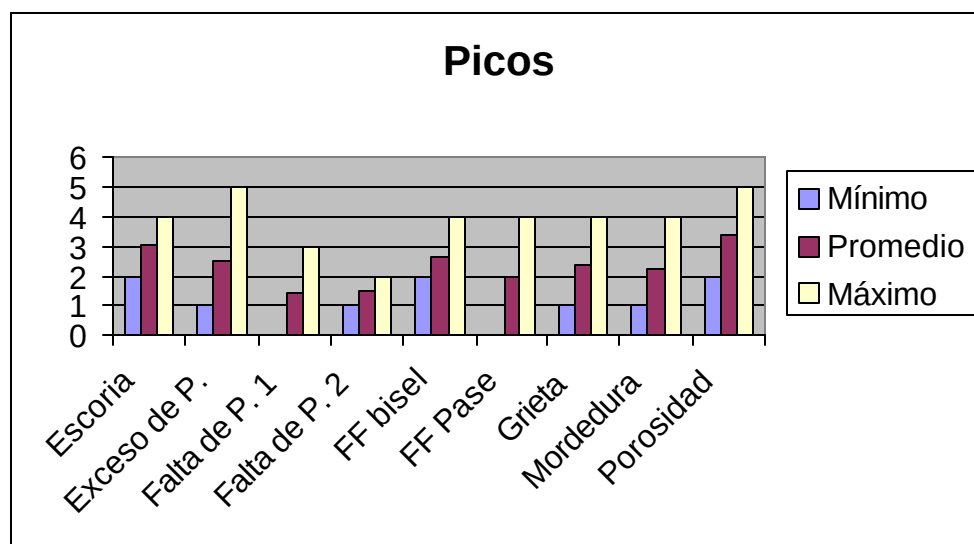


Grafico 7.12 Comportamiento del número de picos para los distintos defectos.

## 7.4 RESULTADOS DEL CLASIFICADOR

La verificación de los resultados del clasificador se obtuvo mediante el diagnóstico de las muestras no controladas, (aquellos datos que no se tomaron en cuenta para la construcción de la base de datos en la cual se basa el clasificador).

El nivel de clasificación alcanzado con el uso de las variables escogidas no siempre es el deseado por lo que en principio el programa logra separar los defectos estudiados en dos grupos (Tabla 7.12). Esto se debe al solapamiento existente entre los valores de las características escogidas.

| Grupo 1                  | Grupo 2                    |
|--------------------------|----------------------------|
| Escoria                  | Exceso de Penetración      |
| Falta de Fusión en Bisel | Falta de Penetración       |
| Porosidad                | Grieta                     |
|                          | Falta de Fusión en la Raíz |

Tabla 7.12 División primaria de los defectos estudiados.

A pesar de este solapamiento el programa en ocasiones ha sido capaz de clasificar de manera exacta, dando una única respuesta posible a una muestra no controlada con lo que se demuestra el potencial del desarrollo de este programa.

Puesto que los resultados obtenidos por el clasificador son estimaciones del posible defecto al cual pertenece la muestra no controlada, la siguiente tabla de resultados muestra el número de veces en que el clasificador incluyó la respuesta correcta, en su diagnóstico; los resultados son los siguientes:



| Defecto                     | Numero de muestras Clasificadas para una Tolerancia 0% | Numero de muestras Clasificadas para una Tolerancia 10% |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Escoria                     | 9                                                      | 9                                                       |
| Exceso de Penetración       | 6                                                      | 8                                                       |
| Falta de Penetración        | 6                                                      | 8                                                       |
| Falta de Fusión en Bisel    | 8                                                      | 9                                                       |
| Falta de Fusión entre Pases | 6                                                      | 7                                                       |
| Falta de Fusión en la Raíz  | 4                                                      | 6                                                       |
| Poros                       | 9                                                      | 10                                                      |
| Grieta                      | 5                                                      | 7                                                       |

Tabla 7.12 Verificación de Resultados.

A continuación se muestran las subrutinas más importantes del software desarrollado en este trabajo.

```
Function FourierTransform(NumSamples As Long, RealIn() As Double,
ImageIn() As Double, RealOut() As Double, ImagOut() As Double, Parametros() As
Double, Optional InverseTransform As Boolean = False) As Boolean
```

```
    Dim AngleNumerator As Double
```

```
    Dim NumBits As Byte, i As Long, j As Long, K As Long, n As Long,
BlockSize As Long, BlockEnd As Long
```

```
    Dim DeltaAngle As Double, DeltaAr As Double
```

```
    Dim Alpha As Double, Beta As Double
```

```
    Dim TR As Double, TI As Double, AR As Double, AI As Double
```

```
    If InverseTransform Then
```

```
        AngleNumerator = -2# * Pi
```

```
    Else
```

```
        AngleNumerator = 2# * Pi
```

```
    End If
```

```
    If (IsPowerOfTwo(NumSamples) = False) Or (NumSamples < 2) Then
```

```
        Call MsgBox("Error in procedure Fourier:" + vbCrLf + " NumSamples is " +
CStr(NumSamples) + ", which is not a positive integer power of two.", , "Error!")
```

```
        Exit Function
```

```
    End If
```

```
    NumBits = NumberOfBitsNeeded(NumSamples)
```

```
    For i = 0 To (NumSamples - 1)
```

```

    j = ReverseBits(i, NumBits)
    RealOut(j) = RealIn(i)
    ImagOut(j) = ImageIn(i)
Next

BlockEnd = 1
BlockSize = 2

Do While BlockSize <= NumSamples
    DeltaAngle = AngleNumerator / BlockSize
    Alpha = Sin(0.5 * DeltaAngle)
    Alpha = 2# * Alpha * Alpha
    Beta = Sin(DeltaAngle)

    i = 0
    Do While i < NumSamples
        AR = 1#
        AI = 0#

        j = i
        For n = 0 To BlockEnd - 1
            K = j + BlockEnd
            TR = AR * RealOut(K) - AI * ImagOut(K)
            TI = AI * RealOut(K) + AR * ImagOut(K)
            RealOut(K) = RealOut(j) - TR
            ImagOut(K) = ImagOut(j) - TI
            RealOut(j) = RealOut(j) + TR
            ImagOut(j) = ImagOut(j) + TI
            DeltaAr = Alpha * AR + Beta * AI
            AI = AI - (Alpha * AI - Beta * AR)
            AR = AR - DeltaAr
            j = j + 1
        Next

        i = i + BlockSize
    Loop

    BlockEnd = BlockSize
    BlockSize = BlockSize * 2
Loop

'Calcular Maximo
Dim sum As Double
Parametros(5) = 0
Parametros(7) = 0

```

```

For j = 1 To (NumSamples / 2)
    If Abs(RealOut(j)) > Parametros(5) Then
        Parametros(5) = Abs(RealOut(j))
        Parametros(10) = j
    End If
    'calcula la energia
    sum = (Abs(RealOut(j)) + Abs(RealOut(j + 1))) * (2 ^ 6) * 10 *
(FrequencyOfIndex(NumSamples, 1)) / 2
    Parametros(7) = Parametros(7) + sum
Next

sum = 0
Parametros(11) = 0
For j = 1 To (NumSamples / 2)
    sum = Abs(RealOut(j)) * ((2 ^ 6) * 10 * (FrequencyOfIndex(NumSamples, 1)))
    Parametros(11) = Parametros(11) + sum
Next

Parametros(6) = (2 ^ 6) * 10 * FrequencyOfIndex(Int(Parametros(1)),
Parametros(10))
If Referencia = True Then
    RefParametros(2) = Parametros(2)
    RefParametros(3) = Parametros(3)
    RefParametros(4) = Parametros(4)
    RefParametros(5) = Parametros(5)
    RefParametros(6) = Parametros(6)
    RefParametros(7) = Parametros(7)
    RefParametros(11) = Parametros(11)
    For j = 1 To NumSamples / 2
        ArregloReferencia(j) = RealOut(j)
    Next
End If

If InverseTransform Then
    'Normalize the resulting time samples...
    For i = 0 To NumSamples - 1
        RealOut(i) = RealOut(i) / NumSamples
        ImagOut(i) = ImagOut(i) / NumSamples
    Next
End If

FourierTransform = True
n = calculapicos(RealOut(), Parametros())
End Function

```

Function FrequencyOfIndex(NumberOfSamples As Long, ByVal Index As Long)  
As Double

'Based on IndexToFrequency(). This name makes more sense to me.

If Index >= NumberOfSamples Then

FrequencyOfIndex = 0#

Exit Function

ElseIf Index <= NumberOfSamples / 2 Then

FrequencyOfIndex = CDbl(Index) / CDbl(NumberOfSamples)

Exit Function

Else

FrequencyOfIndex = -CDbl(NumberOfSamples - Index) /  
CDbl(NumberOfSamples)

Exit Function

End If

End Function

Function Comprobador(Parametros() As Double) As Boolean

Dim fc As Single

'Factor de Correccion en base a la tolerancia

fc = (Tolerancia / 100)

'Comparar con la Base de Datos [Matriz 8x9]

' 1(E) 2(EP) 3(FP) 4(FFB) 5(FFP) 6(G) 7(M) 8(P)

'1 Delta (Min)

'2 Delta(Prom)

'3 Delta (Max)

'4 Energ (Min)

'5 Energ(Prom)

'6 Energ (Max)

'7 Momen (Min)

'8 Momen(Prom)

'9 Momen (Max)

Dim j As Integer

Dim nombreDefecto(1 To 9) As String

nombreDefecto(1) = "Escoria"

nombreDefecto(2) = "Exceso de Penetracion"

nombreDefecto(3) = "Exceso de Penetracion"

nombreDefecto(4) = "Falta de Penetracion"

nombreDefecto(5) = "Falta Fusion de Bisel"

nombreDefecto(6) = "Falta Fusion entre Pases"

nombreDefecto(7) = "Grieta"

nombreDefecto(8) = "Mordedura"

nombreDefecto(9) = "Porosidad"

```

Diagnostic.Command4.Enabled = False
Diagnostic.Command5.Enabled = False
Diagnostic.Command6.Enabled = False
Diagnostic.Command7.Enabled = False
Diagnostic.Command8.Enabled = False
Diagnostic.Command9.Enabled = False
Diagnostic.Command10.Enabled = False
Diagnostic.Command11.Enabled = False

```

```

Dim segunDelta As Boolean
Dim segunEnergia As Boolean
Dim segunPicos As Boolean
Diagnostic.Label5.Caption = ""
For j = 1 To 9

```

```

'Comprobacion Segun Delta
segunDelta = False
If ((Parametros(4) / RefParametros(4)) * 100 >= (BaseDatos(1, j) - (fc *
BaseDatos(2, j)))) And ((Parametros(4) / RefParametros(4)) * 100 <= (BaseDatos(3,
j) + (fc * BaseDatos(2, j)))) Then

```

```

    segunDelta = True
End If

```

```

'Comprobacion Segun Energia
segunEnergia = False
If ((Parametros(7) / RefParametros(7)) * 100 >= (BaseDatos(4, j) - (fc *
BaseDatos(5, j)))) And ((Parametros(7) / RefParametros(7)) * 100 <= (BaseDatos(6,
j) + (fc * BaseDatos(5, j)))) Then

```

```

    'Form1.Text1.Text = Form1.Text1.Text & "Segun Energia, Puede ser " &
nombreDefecto(j) & ". Distancia: " & ((Parametros(7) / RefParametros(7)) * 100 -
BaseDatos(5, j)) & vbCrLf

```

```

    segunEnergia = True
End If

```

```

'Comprobacion Segun picos
segunPicos = False
If Parametros(12) >= BaseDatos(7, j) And Parametros(12) <= BaseDatos(9, j)
Then

```

```

    segunPicos = True
End If

```

```

'CALCULO DE LA DISTANCIA
Dim dCuadrado As Double
dCuadrado = (((Parametros(4) / RefParametros(4)) * 100 - BaseDatos(2, j))) ^ 2 +
(Parametros(12) - BaseDatos(8, j)) ^ 2 + (((Parametros(7) / RefParametros(7)) * 100 -
BaseDatos(5, j))) ^ 2

If ((segunDelta * segunPicos * segunEnergia = True) And (dCuadrado < (25 + 25
* fc) ^ 2)) Then

'Diagnostico.Label5.Caption = Diagnostico.Label5.Caption & "Puede ser *** " &
nombreDefecto(j) & " ***" & vbCrLf
Select Case j
Case 1
Diagnostico.Command4.Enabled = True
Case 2
Diagnostico.Command5.Enabled = True
Case 3
Diagnostico.Command6.Enabled = True
Case 4
Diagnostico.Command6.Enabled = True
Case 5
Diagnostico.Command7.Enabled = True
Case 6
Diagnostico.Command8.Enabled = True
Case 7
Diagnostico.Command9.Enabled = True
Case 8
Diagnostico.Command10.Enabled = True
Case 9
Diagnostico.Command11.Enabled = True
End Select
End If

Next

Comprobador = True
End Function

Function calculapicos(ArregloY() As Double, Parametros() As Double) As
Boolean
Dim j As Integer
Dim contadordepicos As Integer
Dim anterior As Double
Dim m As Double
Dim PendienteEntrePicos As Double

```

---

```

        PendienteEntrePicos      =      Abs(ArregloY(Parametros(10))      -
ArregloY(Parametros(10)      -      1))      '(ArregloX(Parametros(8))      /
ArregloX(Parametros(9))))
        contadordepicos = 0
        anterior = 1
        For j = 6 To 18
            m = Abs(ArregloY(j + 1)) - Abs(ArregloY(j))
            If (m / anterior) < 0 Then 'verifica si la pendiente cambia de signo
                contadordepicos = contadordepicos + 1
            End If
            If m = 0 Then
                anterior = 0.0000001
            Else
                anterior = m
            End If
        Next
        Parametros(12) = Int(contadordepicos / 2)
        calculapicos = True

End Function

```

# CONCLUSIONES

---

Al concluir nuestro trabajo de grado se cumplieron todos los objetivos específicos, pudiendo desarrollar un software que sirve de herramienta para la caracterización de discontinuidades de soldaduras a tope.

Se comprobó la factibilidad de identificar y clasificar discontinuidades mediante características dependientes de la energía, ya que se observó que los defectos se comportan como filtros de la misma.

Se recomienda la búsqueda de otras características y la aplicación de otros métodos de procesamiento de señales que diferencien aun más las discontinuidades, para así lograr una clasificación más efectiva.

El uso de las técnicas de procesamiento de señales basadas en el algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier demostró ser una herramienta matemática de gran utilidad, que permitió obtener los espectros de frecuencia de la data experimental de señales de Radiofrecuencia.

Se observó que el uso de la distancia Euclídea o Cartesiana, a pesar de su simplicidad, arrojó buenos resultados como criterio de comparación. Sin embargo, se recomienda la exploración de otros métodos y su comparación mediante muestras controladas.

Se obtuvo una efectividad de hasta 75% en las muestras estudiadas, es decir, en la mayoría de los casos el software es capaz de descartar seis posibilidades de un total de ocho, reduciendo la incertidumbre a dos tipos de defectos o discontinuidades.



## ***RECOMENDACIONES***

---

Recomendamos la ampliación de la base de datos, con valores característicos de los defectos para distintos espesores, ya que si bien el comportamiento de las características asociadas a cada clase de discontinuidad se mantiene, dichos valores dependen del espesor y la composición del acero debido a las leyes que rigen la propagación de una onda ultrasónica en un medio sólido.

Se recomienda el estudio de los defectos variando los parámetros de la inspección ultrasónica, es decir, variar el ángulo de la zapata y la frecuencia del palpador.

Se recomienda aprovechar el potencial del software desarrollado para aumentar el número de defectos posibles de identificar, así como perfeccionar los algoritmos de clasificación utilizados.

# REFERENCIAS

---

- 1- Laya, Juan C *Introducción a los Métodos de Ensayo no Destructivos*, Facultad de Ingeniería U.C.V. Caracas 1996.
- 2- Alonso, M./ Finn, E.J. *Física*, USA, Addison Wesley Iberoamericana, 1995.
- 3- ASM HANDBOOK, *Mechanical Testing*, USA, 1994, Vol. A.1.
- 4- Pessolano, Jonata. / Jiménez, Gorki. *Estudio de la Factibilidad de la Caracterización de Defectos en Uniones Soldadas Mediante un Análisis Espectral con Ultrasonidos*, Escuela de Ingeniería Mecánica, U.C.V. Caracas, 2000
- 5- Krautkramer, J./ Krautkramer, H., *Ultrasonic Testing of Materials*, Springer-Verlag Berlin, 1969.
- 6- Andrews, Harry C. *Mathematical Techniques in Pattern Recognition*, USA, Wiley-Interscience, 1972.
- 7- Ignoto, Vicente. *Soldadura para Ingenieros.* ", Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de los Materiales, Centro Venezolano de Soldadura, U.C.V. Caracas, 1999.
- 8- ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE AN AMERICAN NATIONAL STANDARD Sección V Ensayos no Destructivos 1 Julio 1986.
- 9- Oppenheim, Alan, V. / Schafer, Ronald, W. *Digital Signal Processing*, New Jersey, Prentice-Hall, 1975.
- 10- <http://www.intersrv.com/~dcross/fft.html>

# **BIBLIOGRAFÍA**

---

Alonso, M./ Finn, E.J. **Física**, USA, Addison Wesley Iberoamericana,1995.

Andrews, Harry C. **Mathematical Techniques in Pattern Recognition**, USA, Wiley-Interscience,1972.

ASM HANDBOOK, **Mechanical Testing**, USA, 1994,Vol. A.1.

ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE AN AMERICAN NATIONAL STANDARD Sección V Ensayos no Destructivos 1 julio 1986.

Bingham, Oran. **The Fast Fourier Transform**, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1974.

Oppenheim, Alan, V. / Schafer, Ronald, W. **Digital Signal Processing**, New Jersey, Prentice-Hall, 1975.

Fernández de la Torriente, Gastón. Como Escribir Correctamente, **Domine su Lenguaje**, Madrid, Editorial Playor. 1994.

Fraudita, F. / Serrano, C. Curso de Extensión Profesional, **Ultrasonidos Nivel I** U.C.V Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de los Materiales. Caracas, 1994.

IAEA-TECDOC-462 **Ultrasonic Testing of Materials at Level 2**.

Ignoto, Vicente. ***Soldadura para Ingenieros.***, U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuelas de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de los Materiales Caracas, 1999.

Krautkramer, J./ Krautkramer, H., ***Ultrasonic Testing of Materials***, Springer-Verlag Berlin, 1969.

Laya, Juan C ***Introducción a los Métodos de Ensayo no Destructivos***, U.C.V. Facultad de Ingeniería Caracas 1996.

Pessolano, Jonata. / Jiménez, Gorki. ***Estudio de la Factibilidad de la Caracterización de Defectos en Uniones Soldadas Mediante un Análisis Espectral con Ultrasonidos***, U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, Caracas, 2000.

Krüger, S. E. / Rebello, J. M. A. / de Camargo, P.C. ***Hydrogen Damage Detection by Ultrasonic Analysis*** NDT & Internacional 32(1999) 275-281.

# ***ANEXOS***

# ANEXO A-1

## Calibración del Equipo

---

### DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DEL PALPADOR

- Se coloca el palpador sobre el bloque VI Fig. A-1.1 y se maximiza el eco del cuadrante de 100 mm.
- Una vez conseguido el máximo, marcar el índice del palpador o zapata.

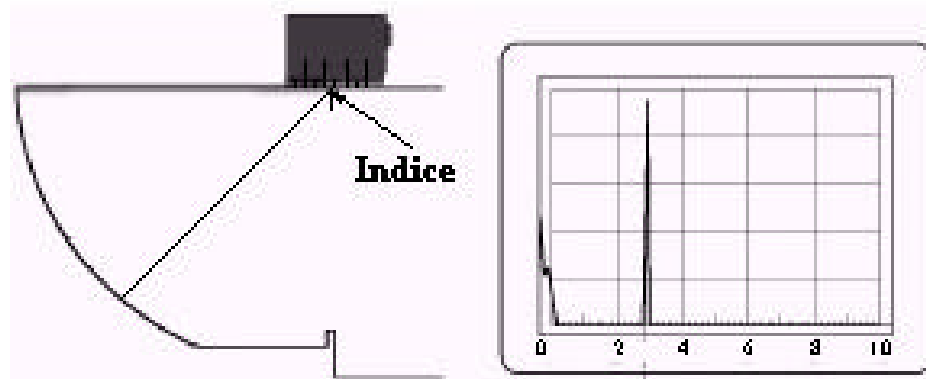


Fig. A-1.1 Determinación del índice del palpador.

### DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO REAL DEL PALPADOR

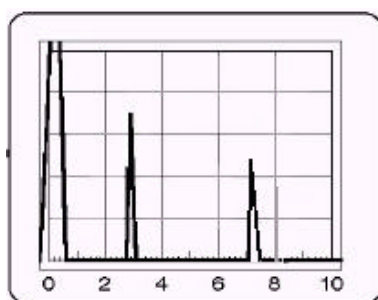
- Se coloca el palpador sobre la superficie de 25 mm de espesor en el bloque VI y se localiza el máximo eco del diámetro inserto de plexiglás Fig. A-1.2.
- Cuando el máximo eco sea localizado marque el ángulo, el cual viene dado por la coincidencia entre el índice del palpador y la calibración del bloque.



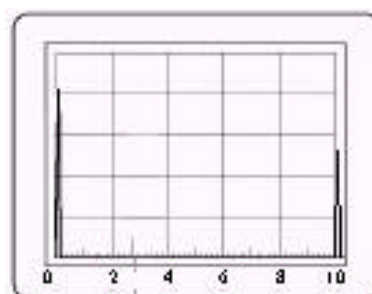
Fig. A-1.2 Angulo real del palpador.

## CALIBRACIÓN PARA UN RANGO DE 100 mm

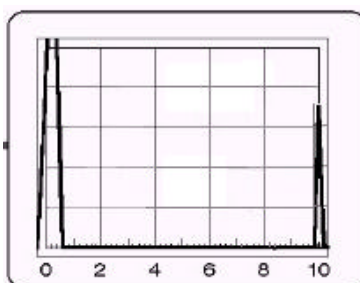
- Se obtiene el máximo eco del cuadrante de 100 mm y se aumenta la ganancia del instrumento hasta que el segundo eco sea de 50% de amplitud de pantalla Fig. A-1.3 a.
- Se ajusta la base de tiempo hasta colocar el primer eco en el punto cero y el segundo en la décima división de la escala Fig. A-1.3 b.
- Desplace el primer eco hasta la décima división usando el control de retardo (Delay) Fig. A-1.3 c.



(a)



(b)



(c)

Fig. A-1.3 Calibración de base de tiempo para un rango de 100 mm

Para la calibración en un rango de 200, 400 mm o más, repita el procedimiento anterior y usando los controles de, Rango de tiempo y Delay coloque los ecos en sus respectivas divisiones de porcentaje, es decir, si se desea calibrar el equipo para 400 mm bastara con colocar los ecos a  $\frac{1}{4}$  del rango cada uno para hacer la calibración.

## LOCALIZACIÓN DE UN REFLECTOR USANDO PALPADOR ANGULAR

- Coloque el palpador y obtenga el máximo eco del taladro de 1.5 mm en el bloque VI.
- Cuando se obtiene el máximo eco, tome la distancia del camino sónico S y la distancia entre el índice del palpador y la cara frontal del palpador X Fig. A-1.4.
- Calcule la distancia proyectada a:

$$a = S \cdot \text{Sen } \varnothing \quad (\text{A-1.1})$$

- La profundidad del hoyo desde la superficie de inspección será:

$$d = S \cdot \text{Cos } \varnothing \quad (\text{A-1.2})$$

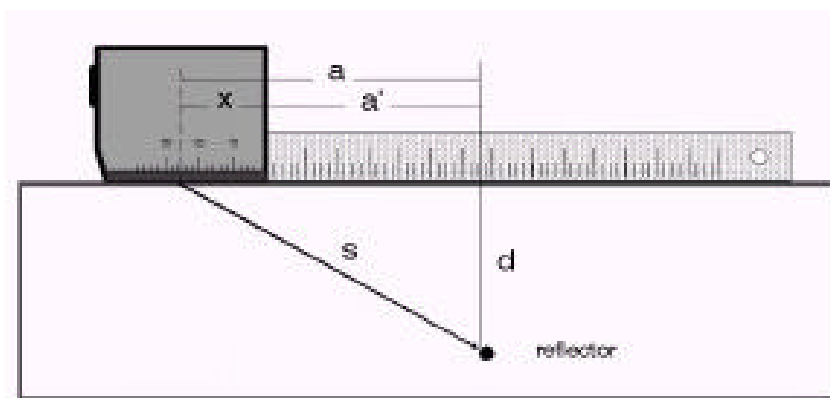


Fig. A-1.4 Ubicación de un reflector usando palpador angular.



## **CALIBRACIÓN DEL EQUIPO KRAUTKRAMER PARA LA MEDICIÓN POR VENTANA**

El equipo usado para obtención de la data patrón cuenta con un sistema de medición automática el cual visualiza en pantalla el Camino Sónico, la Distancia Proyectada y la Profundidad del Reflector Fig. A-1.8.

Esta calibración se efectúa ajustando los controles de Base de Tiempo, Velocidad, Delay y Cero, lo particular de esta calibración es que las divisiones de pantalla pierden su utilidad, por el defasaje en el Angulo.

- Introduzca los valores del Angulo Real del Palpador, la distancia desde el índice real y la Cara Frontal del Palpador y el Espesor de la pieza a inspeccionar.
- Active la medición de ventana.
- Ajuste el rango de tiempo deseado.
- Coloque el Delay y el Control de Cero en cero.
- Coloque el Palpador en el cuadrante de 100 mm del bloque VI.
- Coloque los ecos en sus respectivos porcentajes de Base de Tiempo, ajustando solo el control de Velocidad y el Delay.
- Una vez colocados en su posición compare los valores dados por la ventana y ajuste el control de cero hasta que el valor del Camino Sónico de los ecos coincida con el valor deseado.
- Si es necesario haga ajustes en la Velocidad y el Cero para mantener la linealidad del aparato.

## CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DAC

Para la evaluación de las discontinuidades presentes en la soldadura de las probetas, se elaboraron las curvas de Corrección Distancia Amplitud (DAC). Estas curvas sirven de referencia al inspector de soldadura, según norma ASME T-441.3.2.8, la cual dice que todos aquellos reflectores que excedan el 50% de altura de la curva DAC Fig. A-1.6 deberán ser examinados y registrados.

El procedimiento para la construcción de esta curva aparece en los apéndices no mandatorios de la misma norma en el aparte C-20.

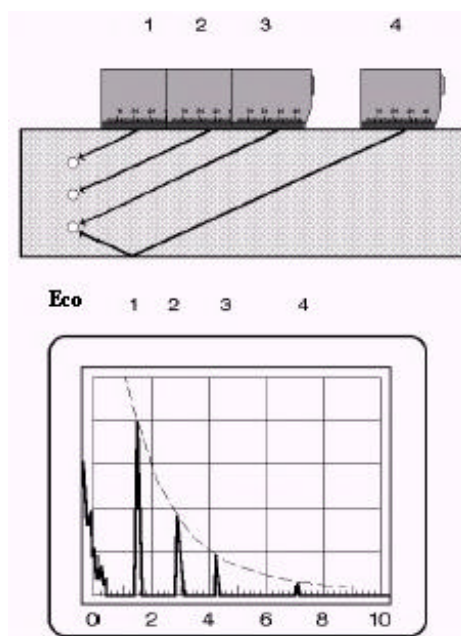


Fig. A-1.6 Curva Corrección Distancia Amplitud (DAC).

## ANEXO A-2

### Uso del Software

---

El software tiene como finalidad la identificación y clasificación automática de discontinuidades en soldaduras mediante una interfaz sencilla.

El software recibe como entrada de datos pares ordenados (Frecuencia vs. Tiempo). Dichos datos pueden estar almacenados en distintos formatos como .txt, .dat, .csv, etc...

El programa se encarga de completar el número de datos con valores nulos hasta llegar a la potencia de 2 inmediata superior ya que es un requisito del algoritmo de la FFT

El programa puede abrir cualquier archivo que tenga el formato adecuado y realizar el análisis espectral de dicha señal, para esto se utiliza el primer icono de la barra de herramientas (Fig. A-2.1) o seleccionando el comando “Abrir” en el menú *Archivo*. (Fig. A-2.2). Sin embargo, para poder realizar un diagnostico se requiere de la respuesta de pared la cual servirá como referencia, para cargar dicha referencia debe usar el segundo icono de la barra de herramientas (Fig. A-2.1) o seleccionar el comando “Abrir como Referencia” en el menú *Archivo*.



Fig. A-2.1 Barra de Herramientas

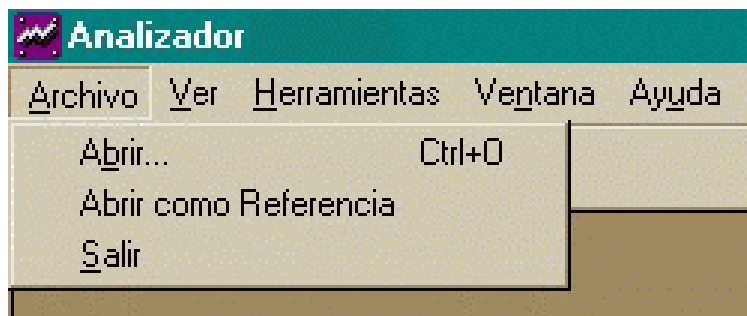


Fig. A-2.2 Menú Archivo

Luego de haber cargado la referencia se procede a abrir la señal a estudiar.

En el menú *Herramientas* (Fig. A-2.3) se encuentran los comandos:

- Opciones Generales.
- Opciones de Escala.

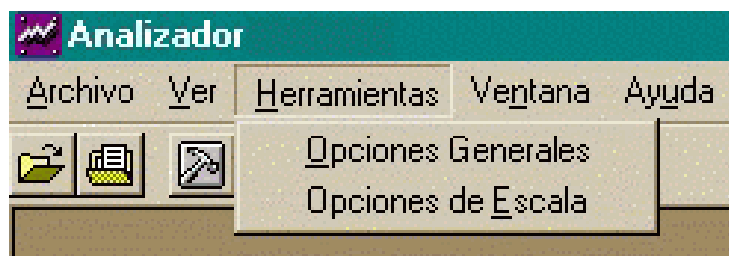


Fig. A-2.3 Menú Herramientas

En las Opciones Generales (Fig. A-2.4) se puede modificar el valor de Tolerancia utilizada por el clasificador, su valor esta comprendido entre 0 y 99 %. Desde este menú también se pueden modificar las opciones de apariencia, como el color de fondo y de la curva. Este menú también puede ser accedido desde el tercer icono en la barra de herramientas (Fig. A-2.1).

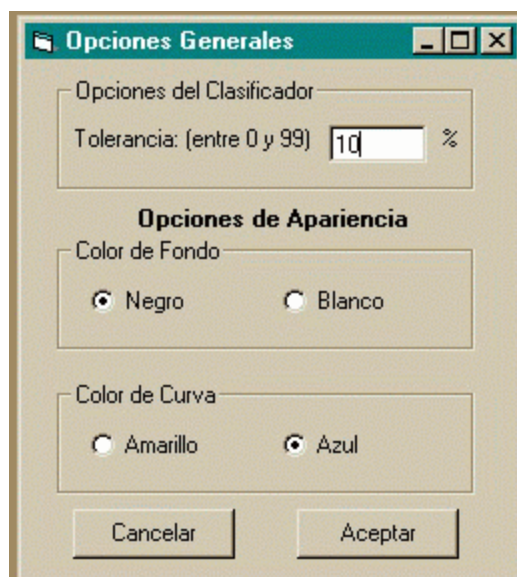


Fig. A-2.4 Menú de Opciones Generales.

En las Opciones de Escala (Fig. A-2.5) se pueden modificar los valores de visualización de las gráficas correspondientes a la señal de Radiofrecuencia y Espectro. Este menú también puede ser accedido desde el cuarto icono de la barra de herramientas (Fig. A-2.1).

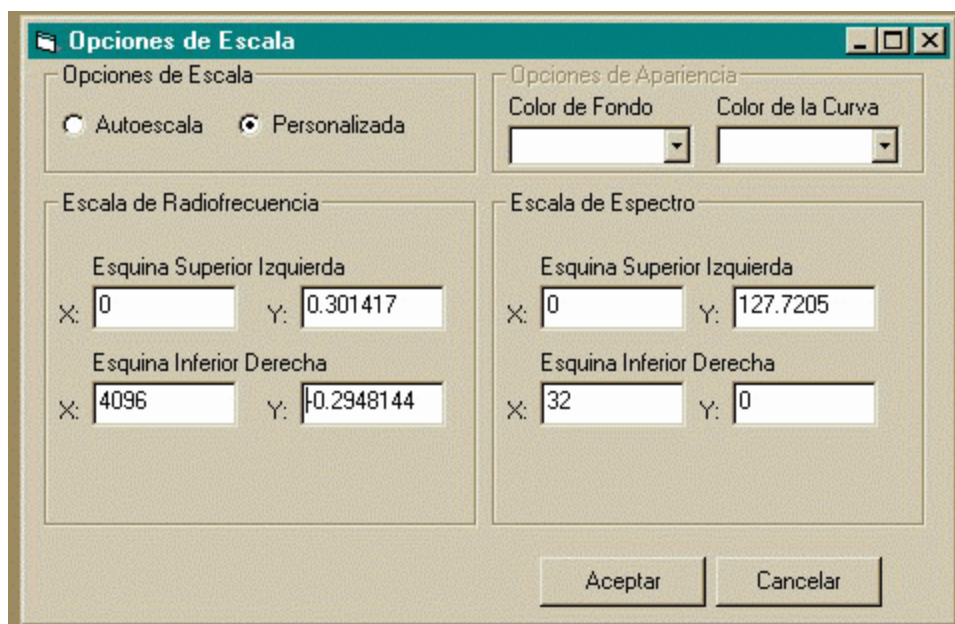


Fig. A-2.5 Menú Opciones de Escala.

Por defecto el programa mostrará las gráficas con la mejor visualización posible. La función “Autoescala” podrá ser accesada desde el quinto icono de la barra de herramientas (Fig. A-2.1).

Luego de abrir una señal para ser estudiada, tendremos la posibilidad de guardar los datos del Espectro de Frecuencia en un archivo “.txt” mediante el botón en forma de disquete que aparece al lado de la curva del Espectro (Fig. A-2.6).



Fig. A-2.6 Boton para Guardar Espectro

Adicionalmente, si ya tenemos la Referencia cargada, aparecerá activado un botón con forma de herramienta (Fig. A-2.7) al lado de la curva de Radiofrecuencia, el cual sirve para hacer el Diagnóstico de la señal.



Fig. A-2.7 Boton de Diagnóstico

Al pulsar sobre el botón de Diagnóstico se abrirá la ventana de Diagnóstico (Fig. A-2.8). En ella aparecerá un sumario de las características calculadas tanto para la Señal de Radiofrecuencia como para el Espectro, además del “Diagnóstico” donde se indican los posibles defectos al cual puede pertenecer la señal analizada.

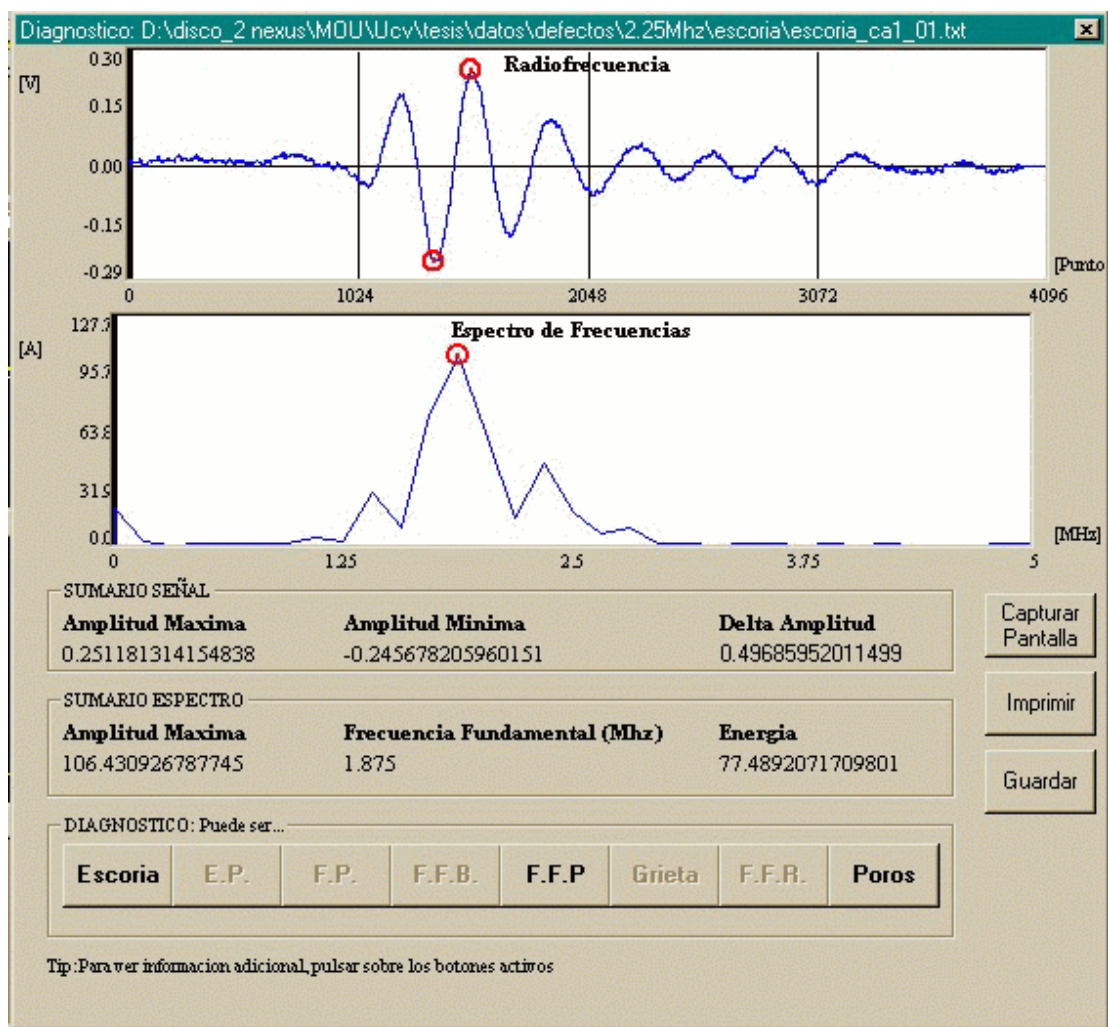


Fig. A-2.8 Ventana de Diagnóstico

Finalmente, dicha ventana de Diagnóstico se podrá 'Imprimir' o 'Guardar como Imagen' mediante los botones y herramientas incluidas en dicha ventana.

## Anexo A-3

---

```
Private Declare Sub keybd_event Lib "user32" (ByVal bVk As Byte, ByVal bScan
As Byte, ByVal dwFlags As Long, ByVal dwExtraInfo As Long)
Public capturada As Boolean
Private Sub Command1_Click()
capturada = True
'Captura la ventana activa
keybd_event 44, 0, 0&, 0&
End Sub
```

```
Private Sub Command10_Click()
Label40.Caption = "Tip: La Falta de Fusion en la Raiz es una discontinuidad Regular,
similar a la señal de referencia. Una forma de identificarla" & vbCrLf & "es que no se
detectan igual al hacer la inspeccion ultrasonica desde ambos lados del cordon de
soldadura." & vbCrLf & "Su amplitud promedio esta entre - % de la amplitud de la
señal de referencia"
End Sub
```

```
Private Sub Command11_Click()
Label40.Caption = "Tip: Ya que los poros se encuentran dispersos y cada poro refleja
una parte del haz sonico suelen verse varios picos en la señal" & vbCrLf & "y su
radiofrecuencia es Irregular. Su amplitud promedio esta entre - % de la amplitud de la
señal de referencia"
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
```

```
Dim BeginPage, EndPage, NumCopies, Orientation, i
```



```

' Establece Cancel a True.
CommonDialog1.CancelError = True
On Error GoTo ErrHandler
' Presenta el cuadro de diálogo Imprimir.
CommonDialog1.ShowPrinter
' Obtiene los valores seleccionados por el usuario ' en el cuadro de diálogo.
BeginPage = CommonDialog1.FromPage
EndPage = CommonDialog1.ToPage
NumCopies = CommonDialog1.Copies
Orientation = CommonDialog1.Orientation
For i = 1 To NumCopies

Next
Exit Sub
ErrorHandler:
' El usuario hizo clic en el botón Cancelar.
Exit Sub

End Sub

Private Sub Command3_Click()
If capturada = True Then
Dim nCanal As Integer
On Error GoTo error
CommonDialog1.DialogTitle = "Guardar Diagnostico "
CommonDialog1.Filter = "Archivos de Image (*.bmp;*.jpg;*.png)|*.bmp;*.jpg;*.png|Todos
los Archivos(*.*)|*.*"
CommonDialog1.ShowSave
nCanal = FreeFile

```

```

SavePicture Clipboard.GetData, CommonDialog1.FileName
Close #nCanal
Exit Sub
error:
'Escribe o gestiona el error
Close #nCanal
Exit Sub
Else
MsgBox "Para poder guardar el Diagnostico debe ser capturado este formulario"
End If
capturada = False
End Sub

```

```

Private Sub Command4_Click()
Label40.Caption = "Tip: La Escoria es una discontinuidad de morfología Irregular
por lo que su señal de Radiofrecuencia tiende a ser tambien" & vbCrLf & "irregular.
Su amplitud promedio esta entre - % de la amplitud de la señal de referencia"
End Sub

```

```

Private Sub Command5_Click()
Label40.Caption = "Tip: El Exceso de Penetracion es una discontinuidad de forma
Regular, similar a la señal de Referencia. Una forma de" & vbCrLf & "identificarla
es, si al momento de hacer la inspeccion ultrasonica de la raiz, encontramos un eco
que tiene un camino sonico" & vbCrLf & "o profundidad mayor al resto de la raiz. Su
amplitud promedio esta entre - % de la amplitud de la señal de referencia"
End Sub

```

```

Private Sub Command6_Click()
Label40.Caption = "Tip: La Falta de Penetracion es una discontinuidad de forma
Regular, similar a la señal de Referencia. Una forma de" & vbCrLf & "identificarla

```

es, si al momento de hacer la inspeccion ultrasonica de la raiz, encontramos un eco que tiene un camino sonico" & vbCrLf & "o profundidad menor al resto de la raiz. Su amplitud promedio esta entre - % de la amplitud de la señal de referencia"

End Sub

Private Sub Command7\_Click()

Label40.Caption = "Tip: La Falta De Fusion en Bisel es una discontinuidad Regular, similar a la señal de referencia. Una forma de identificarla" & vbCrLf & "es que no se detectan igual al hacer la inspeccion ultrasonica desde ambos lados del cordon de soldadura." & vbCrLf & "Su amplitud promedio esta entre - % de la amplitud de la señal de referencia"

End Sub

Private Sub Command8\_Click()

Label40.Caption = "Tip: La Falta de Fusion entre Pases en una discontinuidad de forma Regular, similar a la señal de referencia y se pueden" & vbCrLf & " ubicar en cualquier zona del cordon de soldadura. Su amplitud promedio esta entre - % de la amplitud de la señal de referencia"

End Sub

Private Sub Command9\_Click()

Label40.Caption = "Tip: La Grieta es una discontinuidad de forma Irregular, sin embargo su señal de radiofrecuencia es Regular" & vbCrLf & "similar a la señal de referencia. Su amplitud promedio esta entre - % de la amplitud de la señal de referencia"

End Sub

Private Sub Form\_Resize()

Picture1.Width = 0.85 \* Me.ScaleWidth

Picture2.Width = Picture1.Width

Label1.Top = Picture1.ScaleTop  
 Label1.Left = (Picture1.ScaleWidth / 2) - Label1.Width / 2  
 Label2.Top = Picture2.ScaleTop  
 Label2.Left = (Picture2.ScaleWidth / 2) - Label2.Width / 2  
 Label3.Caption = "[V]"  
 Label4.Caption = "[A]"  
 Label38.Caption = "[Puntos]"  
 Label39.Caption = "[MHz]"  
 Label38.Left = Picture1.Left + Picture1.Width + 20  
 Label39.Left = Label38.Left  
 Label38.Top = Picture1.Height - Label5.Height - 20  
 Label39.Top = Picture2.Top + Picture2.Height - Label28.Height - 20  
 Label3.Left = 20  
 Label4.Left = 20  
 Label6.Left = 250  
 Label7.Left = 250  
 Label8.Left = 250  
 Label9.Left = 250  
 Label10.Left = 250  
 Label11.Left = 250  
 Label12.Left = 250  
 Label13.Left = 250  
 Label14.Left = 250  
 Label15.Left = 250  
 Label6.Top = Picture1.Top  
 Label7.Top = 0.25 \* Picture1.Height - Label7.Height / 2  
 Label8.Top = 0.5 \* Picture1.Height - Label8.Height / 2  
 Label9.Top = 0.75 \* Picture1.Height - Label9.Height / 2  
 Label10.Top = Picture1.Height - Label10.Height  
 Label11.Top = Picture2.Top

```

Label12.Top = (0.25 * Picture2.Height) + Picture2.Top - Label12.Height / 2
Label13.Top = (0.5 * Picture2.Height) + Picture2.Top - Label13.Height / 2
Label14.Top = (0.75 * Picture2.Height) + Picture2.Top - Label14.Height / 2
Label15.Top = Picture2.Height + Picture2.Top - Label15.Height
Label16.Top = Picture1.Height
Label17.Top = Picture1.Height
Label18.Top = Picture1.Height
Label19.Top = Picture1.Height
Label20.Top = Picture1.Height
Label21.Top = Picture2.Height + Picture2.Top
Label22.Top = Picture2.Height + Picture2.Top
Label23.Top = Picture2.Height + Picture2.Top
Label24.Top = Picture2.Height + Picture2.Top
Label25.Top = Picture2.Height + Picture2.Top
Label3.Top = Label6.Top + Label6.Height
Label4.Top = Label11.Top + Label11.Height

```

Grafica

End Sub

Public Sub Grafica()

' Limpia pantallas

Picture1.Cls

Picture2.Cls

'definicion de escalas

'personalizar escalas

ColorEjes = vbBlack

ColorCurva = vbBlue

```
Dim nombre As String
If (Me.Tag = "") Then
    nombre = NumerodeVentana
Else
    nombre = Me.Tag
End If
```

```
Select Case nombre
```

```
Case 1
```

```
'DefinirEscalas
n = DefinirEscalas(Parametros1())
'GRAFICA RADIOFRECUENCIA
n = GraficaRadiofrecuencia(Parametros1(), ArregloY1(), ColorCurva)
'GRAFICA ESPECTRO
n = GraficaEspectro(Parametros1(), Espectro1(), ColorCurva)
```

```
Case 2
```

```
'DefinirEscalas
n = DefinirEscalas(Parametros2())
'GRAFICA RADIOFRECUENCIA
n = GraficaRadiofrecuencia(Parametros2(), ArregloY2(), ColorCurva)
'GRAFICA ESPECTRO
n = GraficaEspectro(Parametros2(), Espectro2(), ColorCurva)
```

```
Case 3
```

```
'DefinirEscalas
n = DefinirEscalas(Parametros3())
```

'GRAFICA RADIOFRECUENCIA

n = GraficaRadiofrecuencia(Parametros3(), ArregloY3(), ColorCurva)

'GRAFICA ESPECTRO

n = GraficaEspectro(Parametros3(), Espectro3(), ColorCurva)

Case 4

'DefinirEscalas

n = DefinirEscalas(Parametros4())

'GRAFICA RADIOFRECUENCIA

n = GraficaRadiofrecuencia(Parametros4(), ArregloY4(), ColorCurva)

'GRAFICA ESPECTRO

n = GraficaEspectro(Parametros4(), Espectro4(), ColorCurva)

Case 5

'DefinirEscalas

n = DefinirEscalas(Parametros5())

'GRAFICA RADIOFRECUENCIA

n = GraficaRadiofrecuencia(Parametros5(), ArregloY5(), ColorCurva)

'GRAFICA ESPECTRO

n = GraficaEspectro(Parametros5(), Espectro5(), ColorCurva)

Case 6

'DefinirEscalas

n = DefinirEscalas(Parametros6())

'GRAFICA RADIOFRECUENCIA

n = GraficaRadiofrecuencia(Parametros6(), ArregloY6(), ColorCurva)

'GRAFICA ESPECTRO

n = GraficaEspectro(Parametros6(), Espectro6(), ColorCurva)

Case 7

```

'DefinirEscalas
n = DefinirEscalas(Parametros7())
'GRAFICA RADIOFRECUENCIA
n = GraficaRadiofrecuencia(Parametros7(), ArregloY7(), ColorCurva)
'GRAFICA ESPECTRO
n = GraficaEspectro(Parametros7(), Espectro7(), ColorCurva)

```

```

Case 8
'DefinirEscalas
n = DefinirEscalas(Parametros8())
'GRAFICA RADIOFRECUENCIA
n = GraficaRadiofrecuencia(Parametros8(), ArregloY8(), ColorCurva)
'GRAFICA ESPECTRO
n = GraficaEspectro(Parametros8(), Espectro8(), ColorCurva)

```

```

Case 9
'DefinirEscalas
n = DefinirEscalas(Parametros9())
'GRAFICA RADIOFRECUENCIA
n = GraficaRadiofrecuencia(Parametros9(), ArregloY9(), ColorCurva)
'GRAFICA ESPECTRO
n = GraficaEspectro(Parametros9(), Espectro9(), ColorCurva)

```

```

End Select

```

```

End Sub

```

```

Function GraficaRadiofrecuencia(Parametros() As Double, ArregloY() As Double,
color As String) As Boolean

```



```

Dim j As Long
Picture1.DrawWidth = 3
'Se trazan los ejes
Picture1.Line (0, Yinferior1)-(0, Ysuperior1), ColorEjes 'Eje Y
Picture1.DrawWidth = 1
Picture1.Line (0, 0)-(Xderecho1, 0), ColorEjes ' Eje X
'Se le dan los valores a las etiquetas
Label6.Caption = Format(Ysuperior1, "standard")
Label6.ToolTipText = Ysuperior1
Label7.Caption = Format(Yinferior1 + 0.75 * (Ysuperior1 - Yinferior1), "standard")
Label7.ToolTipText = Yinferior1 + 0.75 * (Ysuperior1 - Yinferior1)
Label8.Caption = Format(Yinferior1 + 0.5 * (Ysuperior1 - Yinferior1), "standard")
Label8.ToolTipText = Yinferior1 + 0.5 * (Ysuperior1 - Yinferior1)
Label9.Caption = Format(Yinferior1 + 0.25 * (Ysuperior1 - Yinferior1), "standard")
Label9.ToolTipText = Yinferior1 + 0.25 * (Ysuperior1 - Yinferior1)
Label10.Caption = Format(Yinferior1, "standard")
Label10.ToolTipText = Yinferior1
Label16.Caption = Xizquierdo1
Label16.ToolTipText = Label16.Caption
Label17.Caption = Xizquierdo1 + 0.25 * (Xderecho1 - Xizquierdo1)
Label17.ToolTipText = Label17.Caption
Label18.Caption = Xizquierdo1 + 0.5 * (Xderecho1 - Xizquierdo1)
Label18.ToolTipText = Label18.Caption
Label19.Caption = Xizquierdo1 + 0.75 * (Xderecho1 - Xizquierdo1)
Label19.ToolTipText = Label19.Caption
Label20.Caption = Xderecho1
Label16.Left = Picture1.Left
Label17.Left = 0.25 * Picture1.Width + Picture1.Left - Label17.Width / 2
Label18.Left = 0.5 * Picture1.Width + Picture1.Left - Label18.Width / 2
Label19.Left = 0.75 * Picture1.Width + Picture1.Left - Label19.Width / 2

```

```

Label20.Left = Picture1.Width + Picture1.Left - Label20.Width / 2
'SUMARIOS
Label20.ToolTipText = Label20.Caption
Label27.Caption = Parametros(2)
Label27.ToolTipText = Label27.Caption
Label29.Caption = Parametros(3)
Label29.ToolTipText = Label29.Caption
Label31.Caption = Parametros(5)
Label31.ToolTipText = Label31.Caption
Label33.Caption = Parametros(7)
Label33.ToolTipText = Label33.Caption
Label35.Caption = Parametros(6)
Label35.ToolTipText = Label35.Caption
Label37.Caption = Parametros(4)
Label37.ToolTipText = Label37.Caption
Picture1.Line (Label17.Caption, Yinferior1)-(Label17.Caption, Ysuperior1),
ColorEjes
Picture1.Line (Label18.Caption, Yinferior1)-(Label18.Caption, Ysuperior1),
ColorEjes
Picture1.Line (Label19.Caption, Yinferior1)-(Label19.Caption, Ysuperior1),
ColorEjes
Picture1.Line (Label20.Caption, Yinferior1)-(Label20.Caption, Ysuperior1),
ColorEjes
Label6.Left = Picture1.Left - Label6.Width - 20
Label7.Left = Picture1.Left - Label7.Width - 20
Label8.Left = Picture1.Left - Label8.Width - 20
Label9.Left = Picture1.Left - Label9.Width - 20
Label10.Left = Picture1.Left - Label10.Width - 20
Picture1.CurrentX = 0
Picture1.CurrentY = 0

```

```

'Se traza la curva(Radiofrecuencia)
For j = 0 To Parametros(1)
    Picture1.Line -(j, ArregloY(j)), ColorCurva
Next

Picture1.DrawWidth = 2
Picture1.ForeColor = ColorEjes
Dim radio As Integer
radio = Int((Xderecho1 - Xizquierdo1) * 0.01)
'Se indica la amplitud Maxima
Picture1.Circle (Parametros(8), Parametros(2)), radio, vbRed
Picture1.PSet (Parametros(8), Parametros(2)), vbRed

'Se indica la amplitud Minima
Picture1.Circle (Parametros(9), Parametros(3)), radio, vbRed
Picture1.PSet (Parametros(9), Parametros(3)), vbRed
Picture1.DrawWidth = 1
GraficaRadiofrecuencia = True
End Function

```

```

Function GraficaEspectro(Parametros() As Double, Espectro() As Double, color As
String) As Boolean
    Dim j As Long
'Se inicializa la escala
    Picture2.DrawWidth = 3
'Se trazan los ejes
    Picture2.Line (0, 0)-(0, Ysuperior2), ColorEjes 'Eje Y
    Picture2.DrawWidth = 1
    Picture2.Line (0, 0)-(Xderecho2, 0), ColorEjes ' Eje X
'Se le dan valores a las etiquetas

```

```

Label11.Caption = Format(Ysuperior2, "standard")
Label11.ToolTipText = Ysuperior2
Label12.Caption = Format(Yinferior2 + 0.75 * (Ysuperior2 - Yinferior2),
"standard")
Label12.ToolTipText = Yinferior2 + 0.75 * (Ysuperior2 - Yinferior2)
Label13.Caption = Format(Yinferior2 + 0.5 * (Ysuperior2 - Yinferior2), "standard")
Label13.ToolTipText = Yinferior2 + 0.5 * (Ysuperior2 - Yinferior2)
Label14.Caption = Format(Yinferior2 + 0.25 * (Ysuperior2 - Yinferior2),
"standard")
Label14.ToolTipText = Yinferior2 + 0.25 * (Ysuperior2 - Yinferior2)
Label15.Caption = Format(Yinferior2, "standard")
Label15.ToolTipText = Yinferior2
Label21.Caption = 10 * (2 ^ 6) * FrequencyOfIndex(Int(Parametros(1)),
Xizquierdo2)
Label22.Caption = 10 * (2 ^ 6) * FrequencyOfIndex(Int(Parametros(1)),
Xizquierdo2 + (0.25 * (Xderecho2 - Xizquierdo2)))
Label23.Caption = 10 * (2 ^ 6) * FrequencyOfIndex(Int(Parametros(1)),
Xizquierdo2 + (0.5 * (Xderecho2 - Xizquierdo2)))
Label24.Caption = 10 * (2 ^ 6) * FrequencyOfIndex(Int(Parametros(1)),
Xizquierdo2 + (0.75 * (Xderecho2 - Xizquierdo2)))
Label25.Caption = 10 * (2 ^ 6) * FrequencyOfIndex(Int(Parametros(1)),
Xizquierdo2 + (1 * (Xderecho2 - Xizquierdo2)))
Label21.Left = Picture2.Left
Label22.Left = 0.25 * Picture2.Width + Picture2.Left - Label22.Width / 2
Label23.Left = 0.5 * Picture2.Width + Picture2.Left - Label23.Width / 2
Label24.Left = 0.75 * Picture2.Width + Picture2.Left - Label24.Width / 2
Label25.Left = 1 * Picture2.Width + Picture2.Left - Label25.Width / 2
Label11.Left = Picture1.Left - Label11.Width - 20
Label12.Left = Picture1.Left - Label12.Width - 20
Label13.Left = Picture1.Left - Label13.Width - 20

```

```

Label14.Left = Picture1.Left - Label14.Width - 20
Label15.Left = Picture1.Left - Label15.Width - 20
Picture2.CurrentX = 0
Picture2.CurrentY = 0
'Se traza la curva(Espectro)

For j = 0 To Parametros(1)
    Picture2.Line -(j, Abs(Espectro(j))), color

Next

Picture2.DrawWidth = 2
Picture2.ForeColor = ColorEjes
Dim radio As Double
radio = (Xderecho2 - Xizquierdo2) * 0.01
'Se indica la amplitud Maxima

    Picture2.PSet (Parametros(10), Parametros(5)), vbRed
    Picture2.Circle (Parametros(10), Parametros(5)), radio, vbRed
    GraficaEspectro = True

End Function

Private Function DefinirEscalas(Parametros() As Double) As Boolean
    Xizquierdo1 = 0
    Ysuperior1 = Parametros(2) * 1.2 'Amplitud Maxima + 20%
    Xderecho1 = Parametros(1) 'Numero de Puntos completados
    Yinferior1 = Parametros(3) * 1.2 ' Amplitud Minima + 20%
    Xizquierdo2 = 0
    Ysuperior2 = Parametros(5) * 1.2 'Amplitud Maxima + 20%

```

Xderecho2 = Parametros(1) / 128 'Numero de Puntos completados/40

Yinferior2 = 0

Picture1.Scale (Xizquierdo1, Ysuperior1)-(Xderecho1, Yinferior1)

Picture2.Scale (Xizquierdo2, Ysuperior2)-(Xderecho2, Yinferior2)

DefinirEscalas = True

End Function

Private Sub Command1\_Click()

Unload Me

End Sub

Private Sub Command2\_Click()

If Option2.Value = True Then

ColorFondo = vbWhite

Else

ColorFondo = vbBlack

End If

If Option4.Value = True Then

ColorCurva = vbBlue

Else

ColorCurva = vbYellow

End If

Tolerancia = Form1.Text1.Text

Unload Me

For j = 1 To 10

```

If VentanasAbiertas(j) = True Then
    frmD.Grafica
Exit For
End If
Next
End Sub

```

```

Private Sub Form_Load()
If ColorFondo = vbBlack Then
Option1.Value = True
Else
Option2.Value = True
End If
If ColorCurva = vbYellow Then
Option3.Value = True
Else
Option4.Value = True
End If
Form1.Text1.Text = Tolerancia
End Sub

```

```

Private Sub Text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If (KeyAscii < Asc(",")) Then
        'Si KeyAscii es el "Backspace"(8)
        If KeyAscii <> 8 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
    If (KeyAscii > Asc("9")) Then
        KeyAscii = 0
    End If
End Sub

```

```
End If  
End Sub
```

```
Private Sub Command1_Click()  
If (ReferenciaCargada) Then  
Unload Diagnostico  
Diagnostico.Tag = Me.Tag  
Diagnostico.Caption = "Diagnostico:" & " " & Me.Caption  
Diagnostico.Show  
Select Case NumerodeVentana  
Case 1  
If ReferenciaCargada Then  
n = Comprobador(Parametros1())  
End If  
Case 2  
If ReferenciaCargada Then  
n = Comprobador(Parametros2())  
End If  
Case 3  
If ReferenciaCargada Then  
n = Comprobador(Parametros3())  
End If  
Case 4  
If ReferenciaCargada Then  
n = Comprobador(Parametros4())  
End If  
Case 5
```



```

If ReferenciaCargada Then
    n = Comprobador(Parametros5())
End If

Case 6
If ReferenciaCargada Then
    n = Comprobador(Parametros6())
End If

Case 7
If ReferenciaCargada Then
    n = Comprobador(Parametros7())
End If

Case 8
If ReferenciaCargada Then
    n = Comprobador(Parametros8())
End If

Case 9
If ReferenciaCargada Then
    n = Comprobador(Parametros9())
End If

End Select

Else
MsgBox ("Para poder realizar un Diagnostico de la Señal" & vbCrLf & "se Requiere
cargar un patron o referencia")
End If

End Sub

Private Sub Command2_Click()
Dim nCanal As Integer
On Error GoTo error

```

```

    CommonDialog1.DialogTitle = "Guardar Espectro (Amplitud vs Frecuencia)"
    CommonDialog1.Filter      =      "Archivos      de      Texto
(*.txt;*.dat;*.csv;*.wri)|*.txt;*.dat;*.csv;*.wri|Todos los ficheros(*.*)|*.*"
    CommonDialog1.ShowSave
    nCanal = FreeFile
    Open CommonDialog1.FileName For Output As nCanal

    Dim Espectro(0 To NumerodePuntosmaximo) As Double
    Dim Parametros(11) As Double
    n = AsignaEspectro(Me.Tag, Espectro(), Parametros())
    For j = 0 To (Parametros(1) / 2)
        Print #nCanal, (10 * (2 ^ 6) * FrequencyOfIndex(Int(Parametros(1)), j)),
        Abs(Espectro(j))
    Next

    Close #nCanal
    Exit Sub
error:
    'Escribe o gestiona el error
    Close #nCanal
    Exit Sub
End Sub

Private Sub Form_Resize()
    Picture1.Top = 0
    Label1.Top = Picture1.ScaleTop
    Picture1.Left = 600
    Picture2.Left = Picture1.Left
    Picture1.Width = 0.85 * Me.ScaleWidth
    If Referencia = True Then

```

```

Command1.Enabled = False
End If
Label1.Left = (Picture1.ScaleWidth / 2) - Label1.Width / 2
Picture2.Width = Picture1.Width
If Me.ScaleHeight > 500 Then
Picture1.Height = 0.5 * (Me.ScaleHeight) - Label6.Height
End If
Picture2.Height = Picture1.Height
Picture2.Top = Me.ScaleHeight / 2
Label2.Top = Picture2.ScaleTop
Label2.Left = (Picture2.ScaleWidth / 2) - Label2.Width / 2
Label3.Caption = "[V]"
Label4.Caption = "[A]"
Label5.Caption = "[Puntos]"
Label28.Caption = "[MHz]"
Label5.Left = Picture1.Left + Picture1.Width + 20
Label28.Left = Label5.Left
Label5.Top = Picture1.Height - Label5.Height - 20
Label28.Top = Picture2.Top + Picture2.Height - Label28.Height - 20
Label3.Left = 20
Label4.Left = 20
Label6.Top = Picture1.Top
Label7.Top = 0.25 * Picture1.Height - Label7.Height / 2
Label8.Top = 0.5 * Picture1.Height - Label8.Height / 2
Label9.Top = 0.75 * Picture1.Height - Label9.Height / 2
Label10.Top = Picture1.Height - Label10.Height
Label11.Top = Picture2.Top
Label12.Top = (0.25 * Picture2.Height) + Picture2.Top - Label12.Height / 2
Label13.Top = (0.5 * Picture2.Height) + Picture2.Top - Label13.Height / 2
Label14.Top = (0.75 * Picture2.Height) + Picture2.Top - Label14.Height / 2

```

```

Label15.Top = Picture2.Height + Picture2.Top - Label15.Height
Label16.Top = Picture1.Height
Label17.Top = Picture1.Height
Label18.Top = Picture1.Height
Label19.Top = Picture1.Height
Label20.Top = Picture1.Height
Label21.Top = Picture2.Height + Picture2.Top
Label22.Top = Picture2.Height + Picture2.Top
Label23.Top = Picture2.Height + Picture2.Top
Label24.Top = Picture2.Height + Picture2.Top
Label25.Top = Picture2.Height + Picture2.Top
Label3.Top = Label6.Top + Label6.Height
Label4.Top = Label11.Top + Label11.Height
Command1.Left = Picture1.Left + Picture1.Width + 50
Command1.Top = Picture1.Top
Command2.Left = Picture1.Left + Picture1.Width + 50
Command2.Top = Picture2.Top
Label26.Top = Command1.Top + Command1.Height
Label26.Left = Command1.Left
Label27.Top = Command2.Top + Command2.Height
Label27.Left = Command2.Left + 30
Grafica
End Sub

```

```

Public Sub Grafica()

```

```

' Limpia pantallas

```

```

Picture1.Cls

```

```

Picture2.Cls

```

```

Picture1.BackColor = ColorFondo

```

```
Picture2.BackColor = ColorFondo
```

```
If ColorFondo = vbBlack Then
```

```
ColorEjes = vbWhite
```

```
Else
```

```
ColorEjes = vbBlack
```

```
End If
```

```
Dim nombre As String
```

```
If (Me.Tag = "") Then
```

```
    nombre = NumerodeVentana
```

```
Else
```

```
    nombre = Me.Tag
```

```
End If
```

```
Select Case nombre
```

```
    Case 1
```

```
        'DefinirEscala
```

```
        n = DefinirEscala(Parametros1())
```

```
        'GRAFICA RADIOFRECUENCIA
```

```
        n = GraficaRadiofrecuencia(Parametros1(), ArregloY1(), ColorCurva)
```

```
        'GRAFICA ESPECTRO
```

```
        n = GraficaEspectro(Parametros1(), Espectro1(), ColorCurva)
```

```
    Case 2
```

```
        'DefinirEscala
```

```
        n = DefinirEscala(Parametros2())
```

```
        'GRAFICA RADIOFRECUENCIA
```

```
        n = GraficaRadiofrecuencia(Parametros2(), ArregloY2(), ColorCurva)
```

```
        'GRAFICA ESPECTRO
```

```
n = GraficaEspectro(Parametros2(), Espectro2(), ColorCurva)
```

Case 3

```
'DefinirEscalas
```

```
n = DefinirEscalas(Parametros3())
```

```
'GRAFICA RADIOFRECUENCIA
```

```
n = GraficaRadiofrecuencia(Parametros3(), ArregloY3(), ColorCurva)
```

```
'GRAFICA ESPECTRO
```

```
n = GraficaEspectro(Parametros3(), Espectro3(), ColorCurva)
```

Case 4

```
'DefinirEscalas
```

```
n = DefinirEscalas(Parametros4())
```

```
'GRAFICA RADIOFRECUENCIA
```

```
n = GraficaRadiofrecuencia(Parametros4(), ArregloY4(), ColorCurva)
```

```
'GRAFICA ESPECTRO
```

```
n = GraficaEspectro(Parametros4(), Espectro4(), ColorCurva)
```

Case 5

```
'DefinirEscalas
```

```
n = DefinirEscalas(Parametros5())
```

```
'GRAFICA RADIOFRECUENCIA
```

```
n = GraficaRadiofrecuencia(Parametros5(), ArregloY5(), ColorCurva)
```

```
'GRAFICA ESPECTRO
```

```
n = GraficaEspectro(Parametros5(), Espectro5(), ColorCurva)
```

Case 6

```
'DefinirEscalas
```

```
n = DefinirEscalas(Parametros6())
```

'GRAFICA RADIOFRECUENCIA

n = GraficaRadiofrecuencia(Parametros6(), ArregloY6(), ColorCurva)

'GRAFICA ESPECTRO

n = GraficaEspectro(Parametros6(), Espectro6(), ColorCurva)

Case 7

'DefinirEscalas

n = DefinirEscalas(Parametros7())

'GRAFICA RADIOFRECUENCIA

n = GraficaRadiofrecuencia(Parametros7(), ArregloY7(), ColorCurva)

'GRAFICA ESPECTRO

n = GraficaEspectro(Parametros7(), Espectro7(), ColorCurva)

Case 8

'DefinirEscalas

n = DefinirEscalas(Parametros8())

'GRAFICA RADIOFRECUENCIA

n = GraficaRadiofrecuencia(Parametros8(), ArregloY8(), ColorCurva)

'GRAFICA ESPECTRO

n = GraficaEspectro(Parametros8(), Espectro8(), ColorCurva)

Case 9

'DefinirEscalas

n = DefinirEscalas(Parametros9())

'GRAFICA RADIOFRECUENCIA

n = GraficaRadiofrecuencia(Parametros9(), ArregloY9(), ColorCurva)

'GRAFICA ESPECTRO

n = GraficaEspectro(Parametros9(), Espectro9(), ColorCurva)

End Select

End Sub

Function GraficaRadiofrecuencia(Parametros() As Double, ArregloY() As Double,  
color As String) As Boolean

Dim j As Long

Picture1.DrawWidth = 3

'Se trazan los ejes

Picture1.Line (0, Yinferior1)-(0, Ysuperior1), ColorEjes 'Eje Y

Picture1.DrawWidth = 1

Picture1.Line (0, 0)-(Xderecho1, 0), ColorEjes ' Eje X

'Se le dan los valores a las etiquetas

Label6.Caption = Format(Ysuperior1, "standard")

Label6.ToolTipText = Ysuperior1

Label7.Caption = Format(Yinferior1 + 0.75 \* (Ysuperior1 - Yinferior1), "standard")

Label7.ToolTipText = Yinferior1 + 0.75 \* (Ysuperior1 - Yinferior1)

Label8.Caption = Format(Yinferior1 + 0.5 \* (Ysuperior1 - Yinferior1), "standard")

Label8.ToolTipText = Yinferior1 + 0.5 \* (Ysuperior1 - Yinferior1)

Label9.Caption = Format(Yinferior1 + 0.25 \* (Ysuperior1 - Yinferior1), "standard")

Label9.ToolTipText = Yinferior1 + 0.25 \* (Ysuperior1 - Yinferior1)

Label10.Caption = Format(Yinferior1, "standard")

Label10.ToolTipText = Yinferior1

Label16.Caption = Xizquierdo1

Label16.ToolTipText = Label16.Caption

Label17.Caption = Xizquierdo1 + 0.25 \* (Xderecho1 - Xizquierdo1)

Label17.ToolTipText = Label17.Caption

Label18.Caption = Xizquierdo1 + 0.5 \* (Xderecho1 - Xizquierdo1)

Label18.ToolTipText = Label18.Caption



```

Label19.Caption = Xizquierdo1 + 0.75 * (Xderecho1 - Xizquierdo1)
Label19.ToolTipText = Label19.Caption
Label20.Caption = Xderecho1
Label20.ToolTipText = Label20.Caption
Label16.Left = Picture1.Left
Label17.Left = 0.25 * Picture1.Width + Picture1.Left - Label17.Width / 2
Label18.Left = 0.5 * Picture1.Width + Picture1.Left - Label18.Width / 2
Label19.Left = 0.75 * Picture1.Width + Picture1.Left - Label19.Width / 2
Label20.Left = Picture1.Width + Picture1.Left - Label20.Width / 2
Picture1.Line (Label17.Caption, Yinferior1)-(Label17.Caption, Ysuperior1),
ColorEjes
Picture1.Line (Label18.Caption, Yinferior1)-(Label18.Caption, Ysuperior1),
ColorEjes
Picture1.Line (Label19.Caption, Yinferior1)-(Label19.Caption, Ysuperior1),
ColorEjes
Picture1.Line (Label20.Caption, Yinferior1)-(Label20.Caption, Ysuperior1),
ColorEjes
Label6.Left = Picture1.Left - Label6.Width - 20
Label7.Left = Picture1.Left - Label7.Width - 20
Label8.Left = Picture1.Left - Label8.Width - 20
Label9.Left = Picture1.Left - Label9.Width - 20
Label10.Left = Picture1.Left - Label10.Width - 20
Picture1.CurrentX = 0
Picture1.CurrentY = 0
'Se traza la curva(Radiofrecuencia)
For j = 0 To Parametros(1)
    Picture1.Line -(j, ArregloY(j)), ColorCurva
Next

Picture1.DrawWidth = 2

```

```

Picture1.ForeColor = ColorEjes
Dim radio As Integer
radio = Int((Xderecho1 - Xizquierdo1) * 0.01)
'Se indica la amplitud Maxima
Picture1.Circle (Parametros(8), Parametros(2)), radio, vbGreen
Picture1.PSet (Parametros(8), Parametros(2)), vbGreen

Picture1.Print "MAXIMO=(" & Parametros(8) & " ; " & Parametros(2) & ")"
'Se indica la amplitud Minima
Picture1.Circle (Parametros(9), Parametros(3)), radio, vbGreen
Picture1.PSet (Parametros(9), Parametros(3)), vbGreen
Picture1.Print "MINIMO=(" & Parametros(9) & " ; " & Parametros(3) & ")"
Picture1.DrawWidth = 1
GraficaRadiofrecuencia = True
End Function

Function GraficaEspectro(Parametros() As Double, Espectro() As Double, color As String) As Boolean
Dim j As Long
'Se inicializa la escala
Picture2.DrawWidth = 3
'Se trazan los ejes
Picture2.Line (0, 0)-(0, Ysuperior2), ColorEjes 'Eje Y
Picture2.DrawWidth = 1
Picture2.Line (0, 0)-(Xderecho2, 0), ColorEjes ' Eje X
'Se le dan valores a las etiquetas
Label11.Caption = Format(Ysuperior2, "standard")
Label11.ToolTipText = Ysuperior2
Label12.Caption = Format(Yinferior2 + 0.75 * (Ysuperior2 - Yinferior2), "standard")

```

```

Label12.ToolTipText = Yinferior2 + 0.75 * (Ysuperior2 - Yinferior2)
Label13.Caption = Format(Yinferior2 + 0.5 * (Ysuperior2 - Yinferior2), "standard")
Label13.ToolTipText = Yinferior2 + 0.5 * (Ysuperior2 - Yinferior2)
Label14.Caption = Format(Yinferior2 + 0.25 * (Ysuperior2 - Yinferior2),
"standard")
Label14.ToolTipText = Yinferior2 + 0.25 * (Ysuperior2 - Yinferior2)
Label15.Caption = Format(Yinferior2, "standard")
Label15.ToolTipText = Yinferior2
Label21.Caption = 10 * (2 ^ 6) * FrequencyOfIndex(Int(Parametros(1)),
Xizquierdo2)
Label22.Caption = 10 * (2 ^ 6) * FrequencyOfIndex(Int(Parametros(1)),
Xizquierdo2 + (0.25 * (Xderecho2 - Xizquierdo2)))
Label23.Caption = 10 * (2 ^ 6) * FrequencyOfIndex(Int(Parametros(1)),
Xizquierdo2 + (0.5 * (Xderecho2 - Xizquierdo2)))
Label24.Caption = 10 * (2 ^ 6) * FrequencyOfIndex(Int(Parametros(1)),
Xizquierdo2 + (0.75 * (Xderecho2 - Xizquierdo2)))
Label25.Caption = 10 * (2 ^ 6) * FrequencyOfIndex(Int(Parametros(1)),
Xizquierdo2 + (1 * (Xderecho2 - Xizquierdo2)))
Label21.Left = Picture2.Left
Label22.Left = 0.25 * Picture2.Width + Picture2.Left - Label22.Width / 2
Label23.Left = 0.5 * Picture2.Width + Picture2.Left - Label23.Width / 2
Label24.Left = 0.75 * Picture2.Width + Picture2.Left - Label24.Width / 2
Label25.Left = 1 * Picture2.Width + Picture2.Left - Label25.Width / 2
Label11.Left = Picture1.Left - Label11.Width - 20
Label12.Left = Picture1.Left - Label12.Width - 20
Label13.Left = Picture1.Left - Label13.Width - 20
Label14.Left = Picture1.Left - Label14.Width - 20
Label15.Left = Picture1.Left - Label15.Width - 20
Picture2.CurrentX = 0
Picture2.CurrentY = 0

```

'Se traza la curva(Espectro)

For j = 0 To Parametros(1)

Picture2.Line -(j, Abs(Espectro(j))), color

Next

Picture2.DrawWidth = 2

Picture2.ForeColor = ColorEjes

Dim radio As Double

radio = (Xderecho2 - Xizquierdo2) \* 0.01

'Se indica la amplitud Maxima

Picture2.PSet (Parametros(10), Parametros(5)), vbGreen

Picture2.Circle (Parametros(10), Parametros(5)), radio, vbGreen

Picture2.Print "MAXIMO=( " & Parametros(6) & " ; " & Parametros(5) & ")"

GraficaEspectro = True

End Function

Private Function DefinirEscalas(Parametros() As Double) As Boolean

If (Autoescala = True) Then

Xizquierdo1 = 0

Ysuperior1 = Parametros(2) \* 1.2 'Amplitud Maxima + 20%

Xderecho1 = Parametros(1) 'Numero de Puntos completados

Yinferior1 = Parametros(3) \* 1.2 ' Amplitud Minima + 20%

Xizquierdo2 = 0

Ysuperior2 = Parametros(5) \* 1.2 'Amplitud Maxima + 20%

Xderecho2 = Parametros(1) / 128 'Numero de Puntos completados/40

Yinferior2 = 0

End If

Picture1.Scale (Xizquierdo1, Ysuperior1)-(Xderecho1, Yinferior1)

Picture2.Scale (Xizquierdo2, Ysuperior2)-(Xderecho2, Yinferior2)

DefinirEscalas = True

End Function

Private Sub Form\_Unload(Cancel As Integer)

VentanasAbiertas(Me.Tag) = False

Unload Me

End Sub

Private Sub Picture1\_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single,  
Y As Single)

xZoom1 = X

yZoom1 = Y

'si es presionado el boton derecho Zoom out

If Button = 2 Then

Xizquierdo1 = xZoom1 - 1 \* Picture1.ScaleWidth

Xderecho1 = xZoom1 + 1 \* Picture1.ScaleWidth

Ysuperior1 = yZoom1 + Abs(0.5 \* Picture1.ScaleHeight)

Yinferior1 = yZoom1 - Abs(0.5 \* Picture1.ScaleHeight)

Autoescala = False

End If

If Xizquierdo1 < 0 Then

Xizquierdo1 = 0

End If

Picture1.MousePointer = 2 'Cross Cursor

End Sub

```
Private Sub Picture1_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, xZoom2 As Single, yZoom2 As Single)
```

```
    If Button = 2 Then
```

```
        Picture1.MousePointer = 0 'Cross Default
```

```
        Grafica
```

```
        Exit Sub
```

```
    End If
```

```
    If Abs(xZoom1 - xZoom2) < 0.05 * Picture1.ScaleWidth Then
```

```
        'Si hizo un click simple y no selecciono un Area, hacer ZOOM IN
```

```
        xZoom1 = xZoom1 - 0.2 * Picture1.ScaleWidth
```

```
        xZoom2 = xZoom2 + 0.2 * Picture1.ScaleWidth
```

```
    End If
```

```
    If Abs(yZoom1 - yZoom2) < 0.015 Then
```

```
        'Si hizo un click simple y no selecciono un Area, hacer ZOOM IN
```

```
        yZoom1 = yZoom1 + 0.5 * Picture1.ScaleHeight
```

```
        yZoom2 = yZoom2 - 0.5 * Picture1.ScaleHeight
```

```
    End If
```

```
    If (xZoom1 < xZoom2) Then
```

```
        Xizquierdo1 = xZoom1
```

```
       Xderecho1 = xZoom2
```

```
    Else
```

```
        Xizquierdo1 = xZoom2
```

```
       Xderecho1 = xZoom1
```

```
    End If
```

```
    If (yZoom1 > yZoom2) Then
```

```

Ysuperior1 = yZoom1
Yinferior1 = yZoom2
Else
Ysuperior1 = yZoom2
Yinferior1 = yZoom1
End If
Picture1.MousePointer = 0 'Default Cursor
Autoescala = False
If Xizquierdo1 < 0 Then
    Xizquierdo1 = 0
End If
Grafica
End Sub

```

```

Private Sub Picture2_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single,
Y As Single)
    xZoom1 = X
    yZoom1 = Y
    'si es presionado el boton derecho Zoom out
    If Button = 2 Then
        Xizquierdo2 = xZoom1 - 0.8 * Picture2.ScaleWidth
        Xderecho2 = xZoom1 + 0.8 * Picture2.ScaleWidth
        Ysuperior2 = yZoom1 + 1.2 * Abs(Picture2.ScaleHeight)
        Yinferior2 = yZoom1 - 1.2 * Abs(Picture2.ScaleHeight)
        Autoescala = False
    End If
    If Xizquierdo2 < 0 Then
        Xizquierdo2 = 0
    End If
    If Yinferior2 < 0 Then

```

```

        Yinferior2 = 0
    End If
    Picture2.MousePointer = 2 'Cross Cursor
End Sub

Private Sub Picture2_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, xZoom2 As
Single, yZoom2 As Single)
    If Button = 2 Then
        Picture2.MousePointer = 0 'Cross Default
        Grafica
        Exit Sub
    End If
    If Abs(xZoom1 - xZoom2) < 0.03 * Picture2.ScaleWidth Then
        'Si hizo un click simple y no selecciono un Area, hacer ZOOM IN
        xZoom1 = xZoom1 - 0.05 * Picture2.ScaleWidth
        xZoom2 = xZoom2 + 0.05 * Picture2.ScaleWidth
    End If
    If Abs(yZoom1 - yZoom2) < 0.01 Then
        'Si hizo un click simple y no selecciono un Area, hacer ZOOM IN
        yZoom1 = yZoom1 - 0.1 * Picture2.ScaleHeight
        yZoom2 = yZoom2 + 0.1 * Picture2.ScaleHeight
    End If

    If (xZoom1 < xZoom2) Then
        Xizquierdo2 = xZoom1
       Xderecho2 = xZoom2
    Else
        Xizquierdo2 = xZoom2
       Xderecho2 = xZoom1
    End If

```



```

If (yZoom1 > yZoom2) Then
Ysuperior2 = yZoom1
Yinferior2 = yZoom2
Else
Ysuperior2 = yZoom2
Yinferior2 = yZoom1
End If
Picture2.MousePointer = 0 'Default Cursor
Autoescala = False
If Xizquierdo2 < 0 Then
    Xizquierdo2 = 0
End If
If Yinferior2 < 0 Then
    Yinferior2 = 0
End If
Grafica
End Sub

```

```

Private Sub CommandCancelar_Click()
    Unload Me
End Sub

```

```

Private Sub CommandAceptar_Click()
If (Autoescala = False) Then
'Escalas de Radiofrecuencia (Picture1)
Xizquierdo1 = frmEscala.Text1
Ysuperior1 = frmEscala.Text2
Xderecho1 = frmEscala.Text3
Yinferior1 = frmEscala.Text4
'Escalas de Espectro (Picture2)
Xizquierdo2 = frmEscala.Text5
Ysuperior2 = frmEscala.Text6
Xderecho2 = frmEscala.Text7
Yinferior2 = frmEscala.Text8
End If

```

```

Unload Me
For j = 1 To 10
If VentanasAbiertas(j) = True Then
frmD.Grafica
Exit For
End If
Next
End Sub

```

```

Private Sub Form_Load()
'Al entrar a esta ventana, quitar el modo Autoescala
Autoescala = False
optAutoescala1.Value = False

```

```
optPersonal1.Value = True
```

```
'Escalas de radiofrecuencia (Picture1)
```

```
frmEscala.Text1 = Xizquierdo1
```

```
frmEscala.Text2 = Ysuperior1
```

```
frmEscala.Text3 =Xderecho1
```

```
frmEscala.Text4 = Yinferior1
```

```
'Escalas de radiofrecuencia (Picture2)
```

```
frmEscala.Text5 = Xizquierdo2
```

```
frmEscala.Text6 = Ysuperior2
```

```
frmEscala.Text7 =Xderecho2
```

```
frmEscala.Text8 = Yinferior2
```

```
'Centrar el formulario
```

```
Me.Move (Screen.Width - Me.Width) / 2, (Screen.Height - Me.Height) / 2
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
```

```
Unload Me
```

```
End Sub
```

```
Private Sub optAutoescala1_Click()
```

```
Autoescala = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub optColorFondo_Change()
```

```
MsgBox Me.optColorFondo.ListCount
```

```
End Sub
```

```
Private Sub optPersonal1_Click()
```

```
Autoescala = False
```

```
End Sub
```

```
Private Sub optColorCurva_Change()
```

```
ColorCurva = Me.optColorCurva.ListCount
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
```

```
    If (KeyAscii < Asc(",")) Then
```

```
        'Si KeyAscii es el "Backspace"(8)
```

```
        If KeyAscii <> 8 Then
```

```
            KeyAscii = 0
```

```
        End If
```

```
    End If
```

```
    If (KeyAscii > Asc("9")) Then
```

```
        KeyAscii = 0
```

```
    End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Text2_KeyPress(KeyAscii As Integer)
```

```
    If (KeyAscii < Asc(",")) Then
```

```
        'KeyAscii = 8 es el retroceso o BackSpace
```

```
        If KeyAscii <> 8 Then
```

```
            KeyAscii = 0
```

```
        End If
```

```
    End If
```

```
    If (KeyAscii > Asc("9")) Then
```

```
        KeyAscii = 0
```

```
    End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Text3_KeyPress(KeyAscii As Integer)
```

```
    If (KeyAscii < Asc(",")) Then
```

```
        'KeyAscii = 8 es el retroceso o BackSpace
```

```
        If KeyAscii <> 8 Then
```

```
            KeyAscii = 0
```

```

        End If
    End If
    If (KeyAscii > Asc("9")) Then
        KeyAscii = 0
    End If
End Sub

Private Sub Text4_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If (KeyAscii < Asc(",")) Then
        'KeyAscii = 8 es el retroceso o BackSpace
        If KeyAscii <> 8 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
    If (KeyAscii > Asc("9")) Then
        KeyAscii = 0
    End If
End Sub

Private Sub Text5_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If (KeyAscii < Asc(",")) Then
        'KeyAscii = 8 es el retroceso o BackSpace
        If KeyAscii <> 8 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
    If (KeyAscii > Asc("9")) Then
        KeyAscii = 0
    End If
End Sub

Private Sub Text6_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If (KeyAscii < Asc(",")) Then

```

```

'KeyAscii = 8 es el retroceso o BackSpace
    If KeyAscii <> 8 Then
        KeyAscii = 0
    End If
End If
If (KeyAscii > Asc("9")) Then
    KeyAscii = 0
End If
End Sub
Private Sub Text7_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If (KeyAscii < Asc(",")) Then
        'KeyAscii = 8 es el retroceso o BackSpace
        If KeyAscii <> 8 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
    If (KeyAscii > Asc("9")) Then
        KeyAscii = 0
    End If
End Sub
Private Sub Text8_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If (KeyAscii < Asc(",")) Then
        'KeyAscii = 8 es el retroceso o BackSpace
        If KeyAscii <> 8 Then
            KeyAscii = 0
        End If
    End If
    If (KeyAscii > Asc("9")) Then
        KeyAscii = 0
    End If
End Sub

```

End Sub

```
Private Declare Function SendMessage Lib "user32" Alias "SendMessageA" (ByVal  
hWnd As Long, ByVal wParam As Long, ByVal lParam As  
Any) As Long
```

```
Const EM_UNDO = &HC7
```

```
Private Declare Function OSWinHelp% Lib "user32" Alias "WinHelpA" (ByVal  
hWnd&, ByVal HelpFile$, ByVal wCommand%, dwData As Any)
```

```
Private Sub MDIForm_Load()
```

```
    Me.Left = GetSetting(App.Title, "Settings", "MainLeft", 1000)
```

```
    Me.Top = GetSetting(App.Title, "Settings", "MainTop", 1000)
```

```
    Me.Width = GetSetting(App.Title, "Settings", "MainWidth", 6500)
```

```
    Me.Height = GetSetting(App.Title, "Settings", "MainHeight", 6500)
```

```
'CONFIGURACION INICIAL AL CARGAR EL PROGRAMA
```

```
If (OpcionesInicializadas = False) Then
```

```
    Autoescala = True
```

```
    Rango = 100
```

```
    ColorFondo = vbBlack
```

```
    ColorCurva = vbYellow
```

```
    ColorEjes = vbWhite
```

```
    cargarBD
```

```
    OpcionesInicializadas = True
```

```
    Tolerancia = 0
```

```
End If
```

End Sub

```
Private Sub LoadNewDoc()  
    Set frmD = New frmDocument  
    frmD.Show  
End Sub
```

```
Private Sub MDIForm_Unload(Cancel As Integer)  
    If Me.WindowState <> vbMinimized Then  
        SaveSetting App.Title, "Settings", "MainLeft", Me.Left  
        SaveSetting App.Title, "Settings", "MainTop", Me.Top  
        SaveSetting App.Title, "Settings", "MainWidth", Me.Width  
        SaveSetting App.Title, "Settings", "MainHeight", Me.Height  
    End If  
    Unload frmEscala  
    Unload Form1  
    Unload Diagnostico  
End Sub
```

```
Private Sub mnuAbRef_Click()  
    Referencia = True  
    mnuFileOpen_Click  
    Referencia = False
```

```
ReferenciaCargada = True  
End Sub
```

```
Private Sub mnuEscala_Click()  
    'código 'mnuEscala_Click'.  
For j = 1 To 10  
    If (VentanasAbiertas(j) = True) Then
```



```

        frmEscala.Show
    Exit Sub
End If
Next

MsgBox "Se requiere al menos una Grafica abierta" & vbCrLf & "para poder cambiar
las escalas", vbCritical, Aviso

End Sub

Private Sub mnuToolsOptions_Click()
Form1.Show
End Sub

Private Sub tbToolBar_ButtonClick(ByVal Button As MSComCtlLib.Button)
    On Error Resume Next
    Select Case Button.Key
        Case "Abrir"
            mnuFileOpen_Click
        Case "Abrir_Referencia"
            mnuAbRef_Click
        Case "Opciones"
            mnuToolsOptions_Click
        Case "Escala"
            mnuEscala_Click
        Case "Autoescala"
            Autoescala = True
            frmD.Grafica
        Case "zoomin"
        Case "Ayuda"
    End Select
End Sub

```

```

        'TareasPendientes: Agregar código de botón 'Ayuda'.
        MsgBox "Agregar código de botón 'Ayuda'."
    End Select
End Sub

Private Sub mnuHelpAbout_Click()
    frmAbout.Show vbModal, Me
End Sub

Private Sub mnuHelpSearchForHelpOn_Click()
    Dim nRet As Integer
    'si no hay archivo de ayuda para este proyecto, mostrar un mensaje al usuario
    'puede establecer el archivo de Ayuda para su aplicación en el cuadro
    'de diálogo Propiedades del proyecto
    If Len(App.HelpFile) = 0 Then
        MsgBox "No se puede mostrar el contenido de la Ayuda. No hay Ayuda
asociada a este proyecto.", vbInformation, Me.Caption
    Else
        On Error Resume Next
        nRet = OSWinHelp(Me.hwnd, App.HelpFile, 261, 0)
        If Err Then
            MsgBox Err.Description
        End If
    End If
End Sub

Private Sub mnuHelpContents_Click()
    Dim nRet As Integer
    'si no hay archivo de ayuda para este proyecto, mostrar un mensaje al usuario

```

```

'puede establecer el archivo de Ayuda para la aplicación en el cuadro
'de diálogo Propiedades del proyecto
If Len(App.HelpFile) = 0 Then
    MsgBox "No se puede mostrar el contenido de la Ayuda. No hay Ayuda
asociada a este proyecto.", vbInformation, Me.Caption
Else
    On Error Resume Next
    nRet = OSWinHelp(Me.hwnd, App.HelpFile, 3, 0)
    If Err Then
        MsgBox Err.Description
    End If
End If

End Sub

Private Sub mnuWindowTileVertical_Click()
    Me.Arrange vbTileVertical
End Sub

Private Sub mnuWindowTileHorizontal_Click()
    Me.Arrange vbTileHorizontal
End Sub

Private Sub mnuWindowCascade_Click()
    Me.Arrange vbCascade
End Sub

Private Sub mnuViewStatusBar_Click()
    mnuViewStatusBar.Checked = Not mnuViewStatusBar.Checked
    sbStatusBar.Visible = mnuViewStatusBar.Checked

```

End Sub

Private Sub mnuViewToolbar\_Click()

    mnuViewToolbar.Checked = Not mnuViewToolbar.Checked

    tbToolBar.Visible = mnuViewToolbar.Checked

End Sub

Private Sub mnuFileExit\_Click()

    Dim Respuesta As Integer

    Respuesta = MsgBox("¿Desea salir del Programa?", 36, "Analizador")

    If Respuesta = 6 Then

        Unload Me

    End If

End Sub

Private Sub mnuFilePrint\_Click()

    On Error Resume Next

    If ActiveForm Is Nothing Then Exit Sub

    With dlgCommonDialog

        .DialogTitle = "Imprimir"

        .CancelError = True

        .Flags = cdlPDReturnDC + cdlPDNoPageNums

        If ActiveForm.rtfText.SelLength = 0 Then

            .Flags = .Flags + cdlPDAllPages

        Else

            .Flags = .Flags + cdlPDSelection

        End If

        .ShowPrinter

```

        If Err <> MSComDlg.cdlCancel Then
            ActiveForm.rtfText.SelPrint .hDC
        End If
    End With

End Sub

Private Sub mnuFileOpen_Click()

    Dim Ceros(0 To NumerodePuntosmaximo) As Double
    VentanaDisponible
    If VD = True Then

        'Se Activa la Caja de Dialogo Abrir'
        If Referencia = True Then
            CommonDialog1.DialogTitle = "Abrir Referencia"
        Else
            CommonDialog1.DialogTitle = "Abrir Archivo"
        End If
        CommonDialog1.Filter          =          "Archivos          de          Texto
(*.txt;*.wri;*.me;*.csv)|*.txt;*.wri;*.me;*.csv|Todos los Archivos(*.*)|*.*"
        CommonDialog1.ShowOpen

        'Si se Cancela la Caja de Dialogo se Cierra'
        If Len(CommonDialog1.FileName) = 0 Then
            Exit Sub
        End If
        nCanal = FreeFile

        'Abre el archivo especificado y lo asigna a su arreglo

```

'correspondiente segun el numero de ventanas activas  
archivo = CommonDialog1.FileName  
Open CommonDialog1.FileName For Input As #nCanal

Select Case NumerodeVentana

Case 1

n = Asigna(ArregloX1(), ArregloY1(), Parametros1())  
n = FourierTransform(Int(Parametros1(1)), ArregloY1(), Ceros(), Espectro1(),  
Ceros(), Parametros1())

Case 2

n = Asigna(ArregloX2(), ArregloY2(), Parametros2())  
n = FourierTransform(Int(Parametros2(1)), ArregloY2(), Ceros(), Espectro2(),  
Ceros(), Parametros2())

Case 3

n = Asigna(ArregloX3(), ArregloY3(), Parametros3())  
n = FourierTransform(Int(Parametros3(1)), ArregloY3(), Ceros(), Espectro3(),  
Ceros(), Parametros3())

Case 4

n = Asigna(ArregloX4(), ArregloY4(), Parametros4())  
n = FourierTransform(Int(Parametros4(1)), ArregloY4(), Ceros(), Espectro4(),  
Ceros(), Parametros4())

Case 5

n = Asigna(ArregloX5(), ArregloY5(), Parametros5())

```
n = FourierTransform(Int(Parametros5(1)), ArregloY5(), Ceros(), Espectro5(),  
Ceros(), Parametros5())
```

Case 6

```
n = Asigna(ArregloX6(), ArregloY6(), Parametros6())  
n = FourierTransform(Int(Parametros6(1)), ArregloY6(), Ceros(), Espectro6(),  
Ceros(), Parametros6())
```

Case 7

```
n = Asigna(ArregloX7(), ArregloY7(), Parametros7())  
n = FourierTransform(Int(Parametros7(1)), ArregloY7(), Ceros(), Espectro7(),  
Ceros(), Parametros7())
```

Case 8

```
n = Asigna(ArregloX8(), ArregloY8(), Parametros8())  
n = FourierTransform(Int(Parametros8(1)), ArregloY8(), Ceros(), Espectro8(),  
Ceros(), Parametros8())
```

Case 9

```
n = Asigna(ArregloX9(), ArregloY9(), Parametros9())  
n = FourierTransform(Int(Parametros9(1)), ArregloY9(), Ceros(), Espectro9(),  
Ceros(), Parametros9())
```

End Select

Close nCanal

LoadNewDoc

'Se asigna el Nombre del Archivo a la Ventana'

```

ActiveForm.Caption = CommonDialog1.FileName
'Reinicia el Control Commondialog'
CommonDialog1.FileName = ""
'Guarda en la propiedad TAG de la ventana,
'El numero de ventana Activa
ActiveForm.Tag = NumerodeVentana

End If

End Sub

Public Const NumerodePuntosmaximo = 65536 'El maximo numero de muestras
predefinido'

Option Explicit
Const Pi = 3.14159265358979

'Valor generico para la funcion Filtro(x)
Public NumerodePuntosReal As Long
Public Rango As Long

Public strDiagnostico As String
Public archivo As String
Public fMainForm As frmMain
Public frmD As frmDocument
Public VD As Boolean
Public Referencia As Boolean
Public ReferenciaCargada As Boolean

```



Public nCanal As Integer

Public X1 As Double

Public Y1 As Double

Public n As Boolean

'Esquinas de los ejes del Picture1 (Radiofrecuencia)'

Public Xizquierdo1 As Single

PublicXderecho1 As Single

Public Ysuperior1 As Single

Public Yinferior1 As Single

'Esquinas de los ejes del Picture2 (Espectro)'

Public Xizquierdo2 As Single

PublicXderecho2 As Single

Public Ysuperior2 As Single

Public Yinferior2 As Single

'Variables temporales para hacer ZOOM

Public xZoom1 As Single

Public yZoom1 As Single

'Opciones de Apariencia: Colores

Public ColorCurva As String 'Color de la Curva'

Public ColorFondo As String 'Color del Fondo'

Public ColorEjes As String 'Color de los Ejes'

'Opciones de Escala'

Public Autoescala As Boolean

Public EscPersonalizada As Boolean

Public EscNormalizada As Boolean

'Configuracion Inicial Al Cargar el Programa (LOAD\_MAIN)

Public OpcionesInicializadas As Boolean

Public Tolerancia As Single

'Detrend'

Public Yinicial As Double

Public Yfinal As Double

Public X As Long

'VentanasAbiertas= Arreglo que indica cuantas y cuales'

'ventanas/archivos Se Encuentran Abiertos/Activos'

Public VentanasAbiertas(1 To 10) As Boolean

'Ventana Activa'

Public NumerodeVentana As Integer

'Arreglos que contienen los datos de cada archivo abierto'

'Los ArreglosX? contienen los vectores Xi'

Public ArregloX1(NumerodePuntosmaximo) As Double

Public ArregloX2(NumerodePuntosmaximo) As Double

Public ArregloX3(NumerodePuntosmaximo) As Double

Public ArregloX4(NumerodePuntosmaximo) As Double

Public ArregloX5(NumerodePuntosmaximo) As Double

Public ArregloX6(NumerodePuntosmaximo) As Double

Public ArregloX7(NumerodePuntosmaximo) As Double

Public ArregloX8(NumerodePuntosmaximo) As Double

Public ArregloX9(NumerodePuntosmaximo) As Double

'Public RefArregloX(NumerodePuntosmaximo) As Double

'Los Arreglosx? contienen los vectores Yi'

Public ArregloY1(NumerodePuntosmaximo) As Double

Public ArregloY2(NumerodePuntosmaximo) As Double  
 Public ArregloY3(NumerodePuntosmaximo) As Double  
 Public ArregloY4(NumerodePuntosmaximo) As Double  
 Public ArregloY5(NumerodePuntosmaximo) As Double  
 Public ArregloY6(NumerodePuntosmaximo) As Double  
 Public ArregloY7(NumerodePuntosmaximo) As Double  
 Public ArregloY8(NumerodePuntosmaximo) As Double  
 Public ArregloY9(NumerodePuntosmaximo) As Double  
 'Public RefArregloY(NumerodePuntosmaximo) As Double  
 'Los Espectro-i contienen los vectores resultantes de la  
 'transformada de Fourier  
 Public Espectro1(NumerodePuntosmaximo) As Double  
 Public Espectro2(NumerodePuntosmaximo) As Double  
 Public Espectro3(NumerodePuntosmaximo) As Double  
 Public Espectro4(NumerodePuntosmaximo) As Double  
 Public Espectro5(NumerodePuntosmaximo) As Double  
 Public Espectro6(NumerodePuntosmaximo) As Double  
 Public Espectro7(NumerodePuntosmaximo) As Double  
 Public Espectro8(NumerodePuntosmaximo) As Double  
 Public Espectro9(NumerodePuntosmaximo) As Double  
 Public ArregloReferencia(NumerodePuntosmaximo) As Double  
 'Public RefEspectro(NumerodePuntosmaximo) As Double  
 'Vectores Caracteristicos  
 'Estos vectores contienen informacion propia de cada señal  
 '0:Número de Muestras reales  
 '1:Potencia de 2 inmediata superior al Numero de Muestras  
 '2:Amplitud Maxima de la señal  
 '3:Amplitud Minima de la señal  
 '4:Delta Amplitud de la señal  
 '5:Amplitud Maxima del Espectro

'6:Frecuencia Fundamental

'7:Energía

'8:Coordenada "X" de la Amplitud Maxima (Radiofrecuencia)

'9:Coordenada "X" de la Amplitud Minima (Radiofrecuencia)

'10:Coordenada "X" de la Amplitud Maxima (Espectro)

'11:Momento de inercia

'12:numero de picos

Public Parametros1(12) As Double

Public Parametros2(12) As Double

Public Parametros3(12) As Double

Public Parametros4(12) As Double

Public Parametros5(12) As Double

Public Parametros6(12) As Double

Public Parametros7(12) As Double

Public Parametros8(12) As Double

Public Parametros9(12) As Double

Public RefParametros(12) As Double

Public matrizref(1 To 10, 1 To 32) As Double

Public matrizseñ(1 To 10, 1 To 32) As Double

'Matriz 8x9: 8 defectos Vs. Características (delta, energía, momento) con sus respectivos valor Max, Min y promedio'

Public BaseDatos(1 To 9, 1 To 9) As Double

Sub Main()

    frmSplash.Show

    frmSplash.Refresh

    Set fMainForm = New frmMain

    Load fMainForm

    Espera (3) 'Esperar 3 segundos antes de cerrar el Splash

    Unload frmSplash

```

        fMainForm.Show
    End Sub

Sub VentanaDisponible()

'Verificar que ventana esta disponible'
For NumerodeVentana = 1 To 10
    If (VentanasAbiertas(NumerodeVentana) = False) Then
        VentanasAbiertas(NumerodeVentana) = True 'Ocupar ventana'
        VD = True
        Exit For 'Terminar el bucle con el valor del numero de ventana disponible'
    End If
Next

'Si no se encontro ventana desocupada...'
If ((NumerodeVentana > 9) And (VentanasAbiertas(10) = True)) Then
    MsgBox "Se ha superado el numero permitido de ventanas abiertas," & vbCrLf & "
por favor cierre algunas antes de continuar", 48, "Advertencia:"
    VD = False
Exit Sub
End If
End Sub

Function Asigna(ArregloX() As Double, ArregloY() As Double, Parametros() As
Double) As Boolean
    Dim j As Long
    Dim n1 As Integer
    Do While Not EOF(nCanal)

```

```

Input #nCanal, X1, Y1
  ArregloX(j) = X1
  ArregloY(j) = Y1
  j = j + 1
Loop
Parametros(0) = j 'Asignamos el numero de muestras
'real en el archivo a la 1ª elemento del vector parametros
NumerodePuntosReal = Parametros(0)
If IsPowerOfTwo(j) Then
  Parametros(1) = j 'numero de puntos completados
Else
  For n1 = 1 To 16
    If (Parametros(0) < (2 ^ n1)) Then
      Parametros(1) = 2 ^ n1
      'MsgBox "Para poder calcular el espectro mediante la Transformada de
Fourier,el numero de muestras debe ser una potencia de dos (2^n),asi que la señal
serà completada con" & vbCrLf & "ceros hasta la potencia de dos superior inmediata
" & vbCrLf & (2 ^ n1), vbInformation, "Información:"
    Exit For
  End If
Next
End If

'FILTRO - DETREND
Dim prom As Double
prom = 0
For j = 0 To Parametros(0)
  prom = prom + ArregloY(j)
Next

```

```

    prom = prom / Parametros(0)
    Yinicial = (ArregloY(0) + prom) / 2
    Yfinal = (ArregloY(Parametros(0) - 1) + prom) / 2
    For j = 0 To Parametros(0) - 1
        ArregloY(j) = ArregloY(j) - Filtro(j)
    Next

'Suavizado de la curva mediante interpolacion
For j = 0 To (Int(Parametros(1))) '2
    ArregloY(j) = (ArregloY(j) + ArregloY(j + 1) + ArregloY(j + 2) + ArregloY(j + 3)
+ ArregloY(j + 4) + ArregloY(j + 5) + ArregloY(j + 6) + ArregloY(j + 7) +
ArregloY(j + 8) + ArregloY(j + 9) + ArregloY(j + 10)) / 11
Next

For j = 3 To (Int(Parametros(1)))
    ArregloY(j) = (ArregloY(j - 3) + ArregloY(j - 2) + ArregloY(j - 1) + ArregloY(j +
1) + ArregloY(j + 2) + ArregloY(j + 3)) / 6
Next

'FIN DEL FILTRO - DETREND

Parametros(2) = 0
Parametros(3) = 0
'Busqueda de Maximo y Minimo
'Buscar el Minimo
For j = 0 To (Int(Parametros(0)) - 1)
    If ArregloY(j) < Parametros(3) Then
        Parametros(3) = ArregloY(j) 'Asignar Amp. Minima
        Parametros(9) = j 'Asignar X de la Amp. Minima
    End If
'Buscar el Maximo

```

```

    If ArregloY(j) > Parametros(2) Then
        Parametros(2) = ArregloY(j) 'Asignar Amp. Maxima
        Parametros(8) = j 'Asignar X de la Amp. Maxima
    End If

Next

Parametros(4) = Abs(Parametros(2) - Parametros(3))

Asigna = True
End Function

Function Filtro(ByVal X As Long) As Single
    If X > (NumerodePuntosReal - 1) Then
        Filtro = 0
    Else
        Filtro = ((Yfinal - Yinicial) / NumerodePuntosReal) * X + Yinicial
    End If

End Function

End Function

Function NumberOfBitsNeeded(PowerOfTwo As Long) As Byte
    Dim i As Byte
    For i = 0 To 16
        If (PowerOfTwo And (2 ^ i)) <> 0 Then
            NumberOfBitsNeeded = i
            Exit Function
        End If
    Next
End Function

```



```

Function IsPowerOfTwo(X As Long) As Boolean
    If (X < 2) Then IsPowerOfTwo = False: Exit Function
    If (X And (X - 1)) = 0 Then IsPowerOfTwo = True
End Function

```

```

Function ReverseBits(ByVal Index As Long, NumBits As Byte) As Long
    Dim i As Byte, Rev As Long

    For i = 0 To NumBits - 1
        Rev = (Rev * 2) Or (Index And 1)
        Index = Index \ 2
    Next

    ReverseBits = Rev
End Function

```

```

Function FourierTransform(NumSamples As Long, RealIn() As Double, ImageIn()
As Double, RealOut() As Double, ImagOut() As Double, Parametros() As Double,
Optional InverseTransform As Boolean = False) As Boolean
    Dim AngleNumerator As Double
    Dim NumBits As Byte, i As Long, j As Long, K As Long, n As Long, BlockSize
As Long, BlockEnd As Long
    Dim DeltaAngle As Double, DeltaAr As Double
    Dim Alpha As Double, Beta As Double
    Dim TR As Double, TI As Double, AR As Double, AI As Double

    If InverseTransform Then

```

```

    AngleNumerator = -2# * Pi
Else
    AngleNumerator = 2# * Pi
End If

If (IsPowerOfTwo(NumSamples) = False) Or (NumSamples < 2) Then
    Call MsgBox("Error in procedure Fourier:" + vbCrLf + " NumSamples is " +
CStr(NumSamples) + ", which is not a positive integer power of two.", , "Error!")
    Exit Function
End If

NumBits = NumberOfBitsNeeded(NumSamples)
For i = 0 To (NumSamples - 1)
    j = ReverseBits(i, NumBits)
    RealOut(j) = RealIn(i)
    ImagOut(j) = ImageIn(i)
Next

BlockEnd = 1
BlockSize = 2

Do While BlockSize <= NumSamples
    DeltaAngle = AngleNumerator / BlockSize
    Alpha = Sin(0.5 * DeltaAngle)
    Alpha = 2# * Alpha * Alpha
    Beta = Sin(DeltaAngle)

    i = 0
    Do While i < NumSamples
        AR = 1#

```

AI = 0#

j = i

For n = 0 To BlockEnd - 1

K = j + BlockEnd

TR = AR \* RealOut(K) - AI \* ImagOut(K)

TI = AI \* RealOut(K) + AR \* ImagOut(K)

RealOut(K) = RealOut(j) - TR

ImagOut(K) = ImagOut(j) - TI

RealOut(j) = RealOut(j) + TR

ImagOut(j) = ImagOut(j) + TI

DeltaAr = Alpha \* AR + Beta \* AI

AI = AI - (Alpha \* AI - Beta \* AR)

AR = AR - DeltaAr

j = j + 1

Next

i = i + BlockSize

Loop

BlockEnd = BlockSize

BlockSize = BlockSize \* 2

Loop

'modificado by Cesar - Calcular Maximo

Dim sum As Double

Parametros(5) = 0

Parametros(7) = 0

For j = 1 To (NumSamples / 2)

If Abs(RealOut(j)) > Parametros(5) Then

```

Parametros(5) = Abs(RealOut(j))
Parametros(10) = j
End If

'calcula la energia
sum = (Abs(RealOut(j)) + Abs(RealOut(j + 1))) * (2 ^ 6) * 10 *
(FrequencyOfIndex(NumSamples, 1)) / 2
Parametros(7) = Parametros(7) + sum
Next

sum = 0
Parametros(11) = 0
For j = 1 To (NumSamples / 2)
sum = Abs(RealOut(j)) * ((2 ^ 6) * 10 * (FrequencyOfIndex(NumSamples, 1)))
Parametros(11) = Parametros(11) + sum
Next

Parametros(6) = (2 ^ 6) * 10 * FrequencyOfIndex(Int(Parametros(1)),
Parametros(10))
If Referencia = True Then
RefParametros(2) = Parametros(2)
RefParametros(3) = Parametros(3)
RefParametros(4) = Parametros(4)
RefParametros(5) = Parametros(5)
RefParametros(6) = Parametros(6)
RefParametros(7) = Parametros(7)
RefParametros(11) = Parametros(11)
For j = 1 To NumSamples / 2
ArregloReferencia(j) = RealOut(j)
Next
End If

```

```

If InverseTransform Then
    'Normalize the resulting time samples...
    For i = 0 To NumSamples - 1
        RealOut(i) = RealOut(i) / NumSamples
        ImagOut(i) = ImagOut(i) / NumSamples
    Next
End If

FourierTransform = True
n = calculapicos(RealOut(), Parametros())
End Function

Function FrequencyOfIndex(NumberOfSamples As Long, ByVal Index As Long) As
Double
    'Based on IndexToFrequency(). This name makes more sense to me.

    If Index >= NumberOfSamples Then
        FrequencyOfIndex = 0#
        Exit Function
    ElseIf Index <= NumberOfSamples / 2 Then
        FrequencyOfIndex = CDbI(Index) / CDbI(NumberOfSamples)
        Exit Function
    Else
        FrequencyOfIndex = -CDbl(NumberOfSamples - Index) /
CDbl(NumberOfSamples)
        Exit Function
    End If
End Function

```

```
Sub CalcFrequency(NumberOfSamples As Long, FrequencyIndex As Long, RealIn()  
As Double, ImagIn() As Double, RealOut As Double, ImagOut As Double)
```

```
    Dim K As Long
```

```
    Dim Cos1 As Double, Cos2 As Double, Cos3 As Double, Theta As Double, Beta  
As Double
```

```
    Dim Sin1 As Double, Sin2 As Double, Sin3 As Double
```

```
    Theta = 2 * Pi * FrequencyIndex / CDbl(NumberOfSamples)
```

```
    Sin1 = Sin(-2 * Theta)
```

```
    Sin2 = Sin(-Theta)
```

```
    Cos1 = Cos(-2 * Theta)
```

```
    Cos2 = Cos(-Theta)
```

```
    Beta = 2 * Cos2
```

```
    For K = 0 To NumberOfSamples - 2
```

```
        'Update trig values
```

```
        Sin3 = Beta * Sin2 - Sin1
```

```
        Sin1 = Sin2
```

```
        Sin2 = Sin3
```

```
        Cos3 = Beta * Cos2 - Cos1
```

```
        Cos1 = Cos2
```

```
        Cos2 = Cos3
```

```
        RealOut = RealOut + RealIn(K) * Cos3 - ImagIn(K) * Sin3
```

```
        ImagOut = ImagOut + ImagIn(K) * Cos3 + RealIn(K) * Sin3
```

```
    Next
```

End Sub

Sub Espera(Segundos As Single)

'Subrutina hacer una pausa por unos segundos'

'(Utilizado en el Splash Inicial)'

Dim ComienzoSeg As Single

Dim FinSeg As Single

ComienzoSeg = Timer

FinSeg = ComienzoSeg + Segundos

Do While FinSeg > Timer

DoEvents

If ComienzoSeg > Timer Then

FinSeg = FinSeg - 24 \* 60 \* 60

End If

Loop

End Sub

Sub cargarBD()

Dim Directorio As String

Dim j As Integer

Dim v1 As Double

Dim v2 As Double

Dim v3 As Double

Dim v4 As Double

Dim v5 As Double

Dim v6 As Double

Dim v7 As Double

Dim v8 As Double

```

Dim v9 As Double
ChDir App.Path
ChDrive App.Path
Directorio = App.Path
If Len(Directorio) > 3 Then
Directorio = Directorio & "\"
End If
nCanal = FreeFile
Open (Directorio & "bd.txt") For Input As #nCanal
j = 1

Do While Not EOF(nCanal)
    Input #nCanal, v1, v2, v3, v4, v5, v6, v7, v8, v9
    BaseDatos(j, 1) = v1
    BaseDatos(j, 2) = v2
    BaseDatos(j, 3) = v3
    BaseDatos(j, 4) = v4
    BaseDatos(j, 5) = v5
    BaseDatos(j, 6) = v6
    BaseDatos(j, 7) = v7
    BaseDatos(j, 8) = v8
    BaseDatos(j, 9) = v9

    j = j + 1
Loop
End Sub

Function Comprobador(Parametros() As Double) As Boolean

Dim fc As Single
'Factor de Correccion en base a la tolerancia

```



fc = (Tolerancia / 100)

'Comparar con la Base de Datos [Matriz 8x9]

'           1(E) 2(EP) 3(FP) 4(FFB) 5(FFP) 6(G) 7(M) 8(P)

'1 Delta (Min)

'2 Delta(Prom)

'3 Delta (Max)

'4 Energ (Min)

'5 Energ(Prom)

'6 Energ (Max)

'7 Momen (Min)

'8 Momen(Prom)

'9 Momen (Max)

Dim j As Integer

Dim nombreDefecto(1 To 9) As String

nombreDefecto(1) = "Escoria"

nombreDefecto(2) = "Exceso de Penetracion"

nombreDefecto(3) = "Exceso de Penetracion"

nombreDefecto(4) = "Falta de Penetracion"

nombreDefecto(5) = "Falta Fusion de Bisel"

nombreDefecto(6) = "Falta Fusion entre Pases"

nombreDefecto(7) = "Grieta"

nombreDefecto(8) = "Mordedura"

nombreDefecto(9) = "Porosidad"

Diagnostico.Command4.Enabled = False

Diagnostico.Command5.Enabled = False

Diagnostico.Command6.Enabled = False

Diagnostico.Command7.Enabled = False

Diagnostico.Command8.Enabled = False

```
Diagnostico.Command9.Enabled = False
Diagnostico.Command10.Enabled = False
Diagnostico.Command11.Enabled = False
```

```
Dim segunDelta As Boolean
Dim segunEnergia As Boolean
Dim segunPicos As Boolean
Diagnostico.Label5.Caption = ""
For j = 1 To 9
```

```
'Comprobacion Segun Delta
```

```
segunDelta = False
```

```
If (((Parametros(4) / RefParametros(4)) * 100 >= (BaseDatos(1, j) - (fc * BaseDatos(2, j)))) And (((Parametros(4) / RefParametros(4)) * 100 <= (BaseDatos(3, j) + (fc * BaseDatos(2, j))))) Then
```

```
segunDelta = True
```

```
End If
```

```
'Comprobacion Segun Energia
```

```
segunEnergia = False
```

```
If (((Parametros(7) / RefParametros(7)) * 100 >= (BaseDatos(4, j) - (fc * BaseDatos(5, j)))) And (((Parametros(7) / RefParametros(7)) * 100 <= (BaseDatos(6, j) + (fc * BaseDatos(5, j))))) Then
```

```
'Form1.Text1.Text = Form1.Text1.Text & "Segun Energia, Puede ser " & nombreDefecto(j) & ". Distancia: " & ((Parametros(7) / RefParametros(7)) * 100 - BaseDatos(5, j)) & vbCrLf
```

```
segunEnergia = True
```

```
End If
```

```
'Comprobacion Segun picos
```

```
segunPicos = False
```

If Parametros(12) >= BaseDatos(7, j) And Parametros(12) <= BaseDatos(9, j) Then

segunPicos = True

End If

'CALCULO DE LA DISTANCIA

Dim dCuadrado As Double

dCuadrado = (((Parametros(4) / RefParametros(4)) \* 100 - BaseDatos(2, j))) ^ 2 +  
(Parametros(12) - BaseDatos(8, j)) ^ 2 + (((Parametros(7) / RefParametros(7)) \* 100 -  
BaseDatos(5, j))) ^ 2

If ((segunDelta \* segunPicos \* segunEnergia = True) And (dCuadrado < (25 + 25 \*  
fc) ^ 2)) Then

'Diagnostico.Label5.Caption = Diagnostico.Label5.Caption & "Puede ser \*\*\* " &  
nombreDefecto(j) & " \*\*\*" & vbCrLf

Select Case j

Case 1

Diagnostico.Command4.Enabled = True

Case 2

Diagnostico.Command5.Enabled = True

Case 3

Diagnostico.Command6.Enabled = True

Case 4

Diagnostico.Command6.Enabled = True

Case 5

Diagnostico.Command7.Enabled = True

Case 6

Diagnostico.Command8.Enabled = True

Case 7

Diagnostico.Command9.Enabled = True

Case 8

Diagnostico.Command10.Enabled = True

Case 9

Diagnostico.Command11.Enabled = True

End Select

End If

Next

Comprobador = True

End Function

Function calculapicos(ArregloY() As Double, Parametros() As Double) As Boolean

Dim j As Integer

Dim contadordepicos As Integer

Dim anterior As Double

Dim m As Double

Dim PendienteEntrePicos As Double

PendienteEntrePicos = Abs(ArregloY(Parametros(10)) - ArregloY(Parametros(10)  
- 1)) / (ArregloX(Parametros(8)) / ArregloX(Parametros(9))))

contadordepicos = 0

anterior = 1

For j = 6 To 18

m = Abs(ArregloY(j + 1)) - Abs(ArregloY(j))

If (m / anterior) < 0 Then 'verifica si la pendiente cambia de signo

contadordepicos = contadordepicos + 1

End If

If m = 0 Then

anterior = 0.0000001

Else

anterior = m

```

        End If
    Next
    Parametros(12) = Int(contadordepicos / 2)
    calculapicos = True

End Function

```

```

Function AsignaEspectro(Ventana As Integer, Espectro() As Double, Parametros()
As Double) As Boolean
Dim j As Long
Select Case Ventana
    Case 1
        For j = 0 To 11
            Parametros(j) = Parametros1(j)
        Next
        For j = 0 To Parametros1(1)
            Espectro(j) = Espectro1(j)
        Next
    Case 2
        For j = 0 To 11
            Parametros(j) = Parametros2(j)
        Next
        For j = 0 To Parametros2(1)
            Espectro(j) = Espectro2(j)
        Next
    Case 3
        For j = 0 To 11
            Parametros(j) = Parametros3(j)
        Next
        For j = 0 To Parametros3(1)

```

Espectro(j) = Espectro3(j)

Next

Case 4

For j = 0 To 11

Parametros(j) = Parametros4(j)

Next

For j = 0 To Parametros4(1)

Espectro(j) = Espectro4(j)

Next

Case 5

For j = 0 To 11

Parametros(j) = Parametros5(j)

Next

For j = 0 To Parametros5(1)

Espectro(j) = Espectro5(j)

Next

Case 6

For j = 0 To 11

Parametros(j) = Parametros6(j)

Next

For j = 0 To Parametros6(1)

Espectro(j) = Espectro6(j)

Next

Case 7

For j = 0 To 11

Parametros(j) = Parametros7(j)

Next

For j = 0 To Parametros7(1)

Espectro(j) = Espectro7(j)

Next

Case 8

For j = 0 To 11

Parametros(j) = Parametros8(j)

Next

For j = 0 To Parametros8(1)

Espectro(j) = Espectro8(j)

Next

Case 9

For j = 0 To 11

Parametros(j) = Parametros9(j)

Next

For j = 0 To Parametros9(1)

Espectro(j) = Espectro9(j)

Next

End Select

End Function