



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS**

**L**as autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

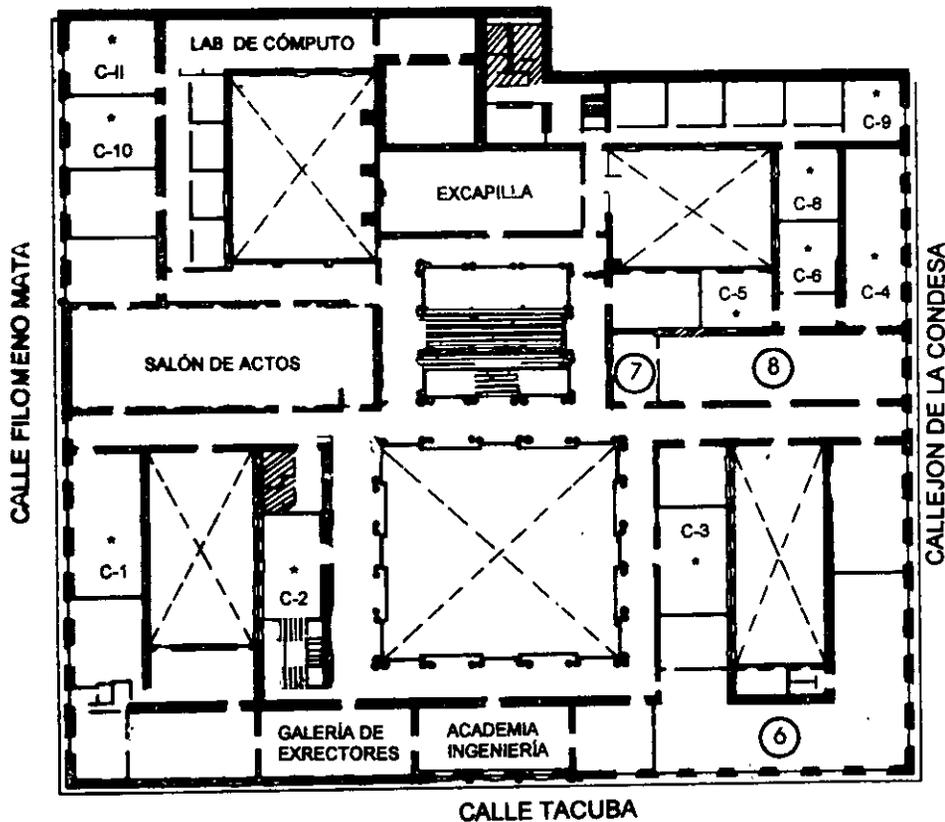
Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores imparten sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

**Atentamente**

**División de Educación Continua.**

# PALACIO DE MINERIA



## GUÍA DE LOCALIZACIÓN

1. ACCESO
2. BIBLIOTECA HISTÓRICA
3. LIBRERÍA UNAM
4. CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN "ING. BRUNO MASCANZONI"
5. PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACIÓN
6. OFICINAS GENERALES
7. ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA
8. SALA DE DESCANSO

SANITARIOS

\* AULAS

**1er. PISO**

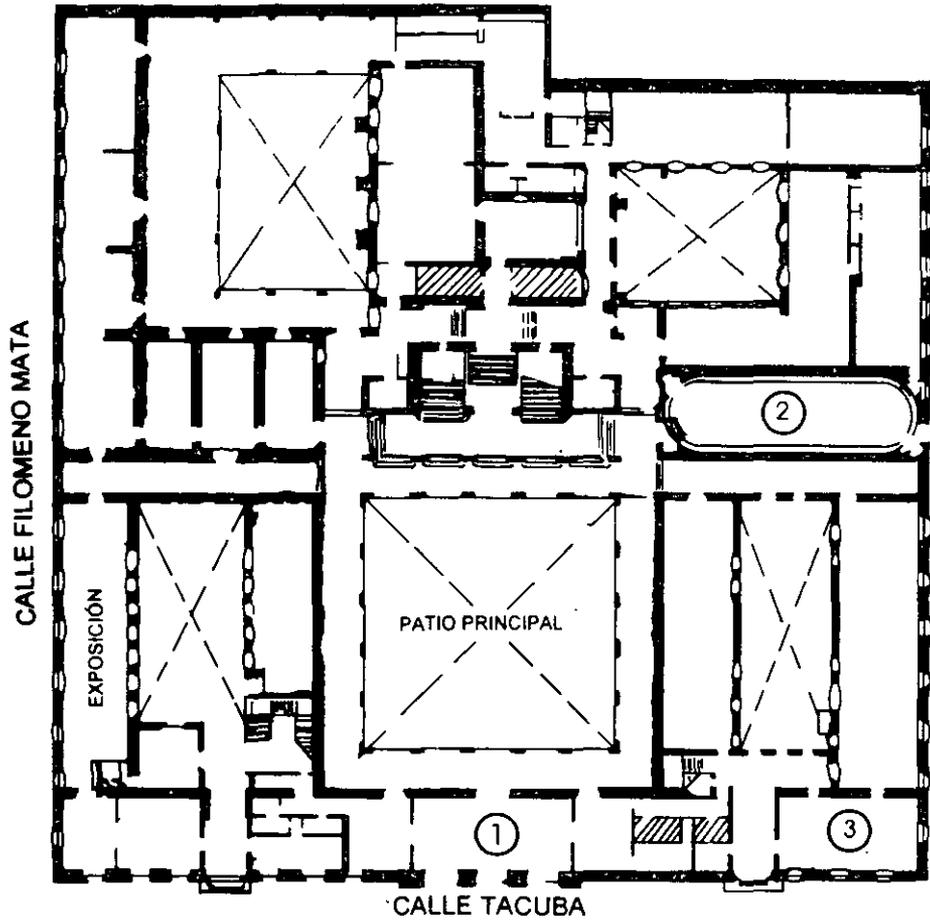


DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M.  
CURSOS ABIERTOS

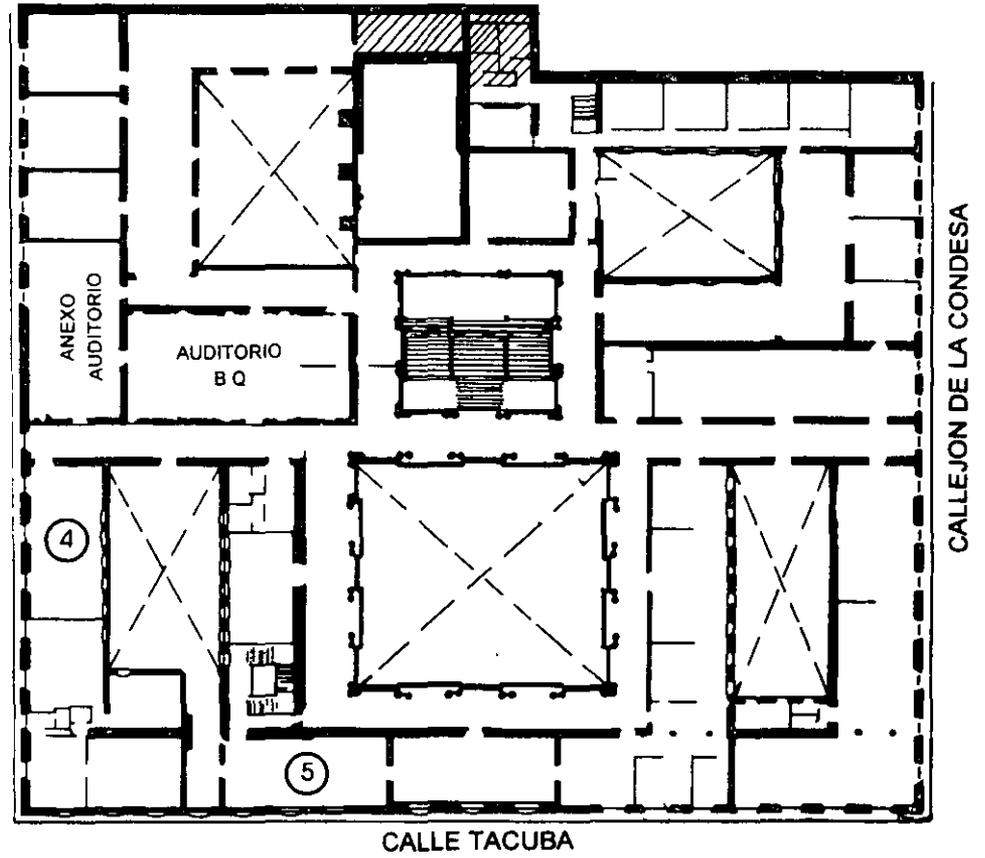
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA



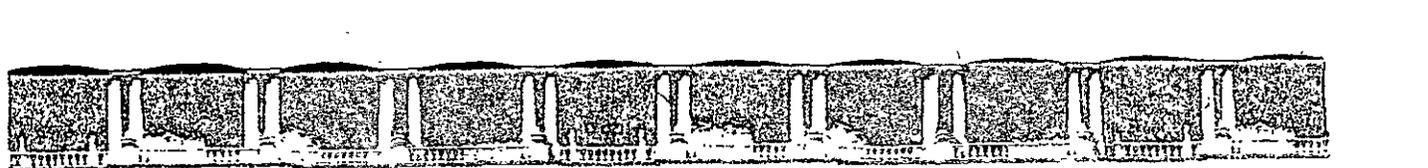
# PALACIO DE MINERIA



PLANTA BAJA



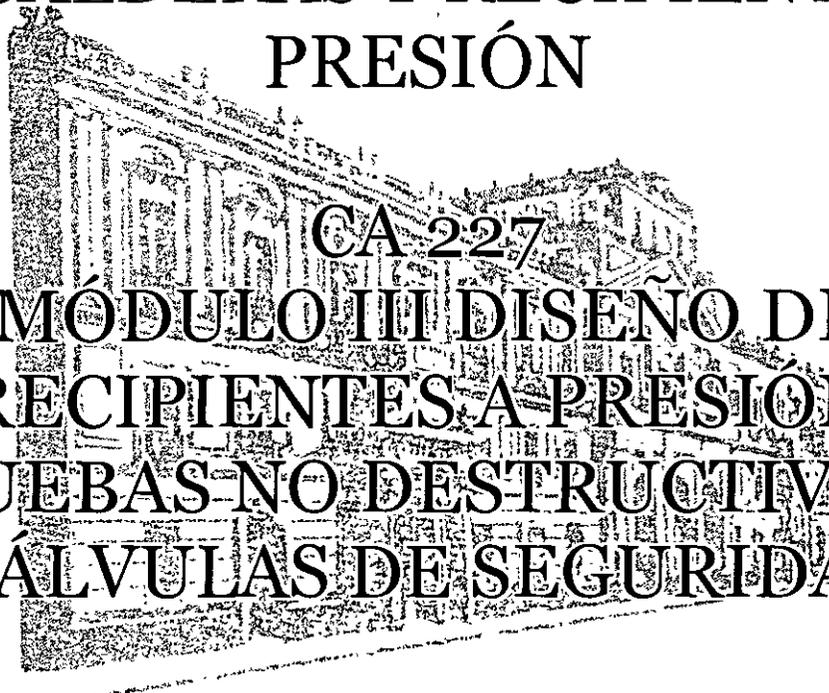
MEZZANINNE



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM  
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA 99

# CURSOS ABIERTOS

## DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN



CA 227  
MÓDULO III DISEÑO DE  
RECIPIENTES A PRESIÓN,  
PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS Y  
VÁLVULAS DE SEGURIDAD

Tema  
**DISEÑO Y CALCULO DE RECIPIENTES A  
PRESIÓN**

EXPOSITOR: ING. ORLANDO RAFAEL RIVERA MENDOZA  
PALACIO DE MINERÍA  
MARZO DEL 2004

# **DISEÑO Y CALCULO DE RECIPIENTES A PRESION**

**Demostración del Uso de  
las Formulas**

**Colegio de Ingenieros  
Mecánicos y Electricistas, A.C.**

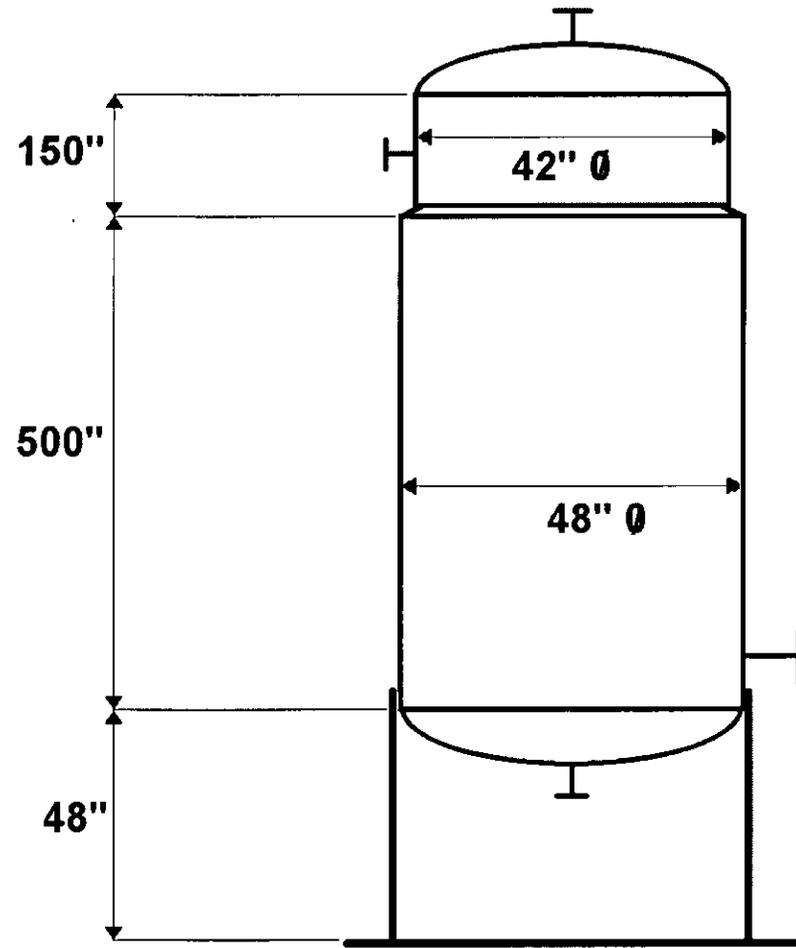


# **OBJETIVO**

**El objetivo de esta presentación es compartir con los estudiantes los distintos criterios de aplicación de las formulas para el cálculo de recipientes sujetos a presión mediante el análisis de un Reporte Generado por Computadora.**

**Recipiente tipo por analizar**

**Recipiente Cilíndrico Vertical Tipo  
Torre con Cambio de Sección**



# **CARACTERISTICAS DEL REPORTE**

**Advanced Pressure Vessel Ver. 8.02**

**Company:** *Evaluaciones, Inspecciones  
y Asesoría, S.A. de C.V.*

**Report Date:** 4/ 5/98

**CUSTOMER:** Diplomado en Calderas  
y Recipientes a Presión

**DEC FI UNAM-CIME-STPS**

# **CARACTERISTICAS DEL REPORTE**

## **PROJECT DESCRIPTION**

**Demostraciones del Uso de  
Formulas**

## **VESSEL DESCRIPTION**

**Torre Cilíndrica Vertical con Cambio de  
Sección**

**JOB NUMBER      98/01**

# PLACA DE DATOS TIPICA

<b>NAMEPLATE INFORMATION</b>	
<b>MAWP:</b>	<b>350 PSI at 350øF</b>
<b>MDMT:</b>	<b>20øF at 350 PSI</b>
<b>Serial Number:</b>	
<b>National Board No:</b>	
<b>Year built:</b>	<b>1998</b>
<b>Radiography:</b>	<b>RT 4</b>
<b>Postweld heat treated:</b>	<b>No</b>
<b>Lethal service:</b>	<b>No</b>

# PERSONAS QUE AVALAN EL REPORTE

**Engineering Manager:** \_\_\_\_\_ date: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**Q.C. Manager:** \_\_\_\_\_ date: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**Authorized Inspector:** \_\_\_\_\_ date: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

# CARACTERISTICAS DEL REPORTE

**Calculations & Report performed under requirements of ASME Section VIII, Division 1, 1995 Edition, 1997 addenda.**

<b>VESSEL INFORMATION</b>	
<b>Job Number:</b>	<b>98/01</b>
<b>Design last revised on:</b>	<b>April 5, 1998</b>
<b>Customer:</b>	<b>Diplomado en Calderas y Recipientes DEC FI UNAM - CIME - STPS.</b>

# CONDICIONES DE DISEÑO

	DESCRIPTIONS
<b>Project:</b>	<b>Demostraciones del Uso de Formulas</b>
<b>Vessel:</b>	<b>Torre Cilindrica Vertical con Cambio de Sección</b>
<b>Find OD or ID</b>	<b>Internal</b>
<b>Solve for t or P:</b>	<b>t</b>
<b>Design Temperature:</b>	<b>350øF</b>
<b>Design Pressure:</b>	<b>350.00 psi</b>
<b>Corrosion:</b>	<b>0.0625 inches</b>
<b>MDMT Pressure:</b>	<b>350.00</b>
<b>Minimum Design Metal Temp:</b>	<b>20øF</b>
<b>Calc Ext Pressure:</b>	<b>No</b>

# Condiciones de Diseño

<b>Design and Calculation conditions</b>	
<b>Allow a nozzle design to limit vessel MAWP rating?</b>	<b>Yes</b>
<b>For nozzle reinf. calcs, replace full thickness of vessel wall?</b>	<b>No</b>
<b>Use excess vessel wall thickness for nozzle reinforcement calcs?</b>	<b>Yes</b>
<b>Perform integrity analysis on an existing vessel?</b>	<b>No</b>

# **CALCULO DE UNA SECCION CILINDRICA**

# IDENTIFICACION DE PARTES

**Shell Description: CPOCIL01**

**Job/Quote No: 98/01**

**Customer: Diplomado en Recipientes**

**Designed: Manuel Cabrera**

**Design Date: April 5, 1998**

**Checked : Manuel Cabrera**

**Approved: MCM**

**External loads do not control design.**

# DATOS DE DISEÑO

## Cylindrical Shell - Internal Pressure Data

Design Pressure:	350.00	PSI
Design Temperature:	350.00	øF
Minimum Design Metal Temperature:	20	øF
Inside diameter (new):	48.0000	In.
Shell Length:	600.00	In.
Corrosion Allowance:	0.0625	In.
Static Head:	0.0000	PSI
Joint Efficiency:	100.0000	Pct.
Shell Material:	SA-516, Grade 70	
Matl stress(hot):	17500	PSI
Material stress (cold):	17500	PSI
Min. temp curve:	B	
UCS-66(b) reduction:	Yes	
UCS-68(c) reduction:	No	

# Cálculo del Esfuerzo Longitudinal

- **Longitudinal Stress Calculations:**

$$t = PR / (2SE + 0.4P)$$

$$= 350.00 * 24.0625 / (2 * 17500 * 1.00 + 0.4 * 350.00)$$

$$t = 0.2397 + 0.0625 \text{ (corrosion)} = \mathbf{0.3022 \text{ In. min}}$$

# Cálculo del Esfuerzo Circunferencial

- *Design Thickness per Paragraph UG-27(c)*

**Circumferential Stress Calculations:**

$$t = PR / (SE - 0.6P)$$

$$= 350.00 * 24.0625 / (17500 * 1.00 - 0.6 * 350.00)$$

$$t = 0.4871 + 0.0625 \text{ (corrosion)} = \mathbf{0.5496 \text{ In. min}}$$

**NOMINAL SHELL THICKNESS SELECTED  
= 0.6250 Inches**

# OTROS PARAMETROS QUE ARROJA EL PROGRAMA

Pressure at MDMT:	350.0	PSI
Computed minimum temperature:	-8	øF
MAWP(new & cold):	395.3	PSI
MAWP (at design):	350.00	PSI
Actual Stress:	15182	PSI
Actual Longitudinal Stress:	7416	PSI
Inside Diameter(corroded):	48.1250	In.
Shell Area:	644.7	Sq. Ft.
Shell Weight:	16211.6	Lbs.
Specific Gravity:	1.0000	
Shell Estimated Volume:	4700.7	Gal.
Weight of Fluid:	39270	Lbs.
Total Flooded Shell Weight:	55481.5	Lbs.

# **CALCULO DE OTRA SECCION CILINDRICA**

# IDENTIFICACION DE PARTES

**Shell Desc:** CPOCIL02

**Job/ Quote No:** 98/01

**Customer:** Diplomado en Recipientes

**Designed:** Manuel Cabrera

**Design Date:** April 5, 1998

**Checked :** Manuel Cabrera

**Approved:** MCM

**External loads do not control design.**

# DATOS DE DISEÑO

## Cylindrical Shell - Internal Pressure Data

Design Pressure:	350.00	PSI
Design Temperature:	350.00	øF
Minimum Design Metal Temperature:	20	øF
Inside diameter (new):	42.0000	In.
Shell Length:	150.00	In.
Corrosion Allowance:	0.0625	In.
Static Head:	0.0000	PSI
Joint Efficiency:	100.0000	Pct.
Shell Material:	SA-516, Gr 70	
Matl stress(hot):	17500	PSI
Material stress (cold):	17500	PSI
Min. temp curve:	B	
UCS-66(b) reduction:	Yes	
UCS-68(c) reduction:	No	

# Cálculo del Esfuerzo Longitudinal

- Longitudinal Stress Calculations:

$$t = PR / (2SE + 0.4P)$$

$$= 350.00 * 21.0625 / (2 * 17500 * 1.00 + 0.4 * 350.00)$$

$$t = 0.2098 + 0.0625(\text{corrosion}) = \mathbf{0.2723 \text{ In. min}}$$

# Cálculo del Esfuerzo Circunferencial

- *Design Thickness per Paragraph UG-27(c)*

## **Circumferential Stress Calculations:**

$$t = PR / (SE - 0.6P)$$

$$= 350.00 * 21.0625 / (17500 * 1.00 - 0.6 * 350.00)$$

$$t = 0.4264 + 0.0625(\text{corrosion}) = \mathbf{0.4889 \text{ In.min}}$$

**NOMINAL SHELL THICKNESS SELECTED**

$$= 0.5000 \text{ Inches}$$

# OTROS PARAMETROS QUE ARROJA EL PROGRAMA

<b>Pressure at MDMT:</b>	<b>350.0</b>	<b>PSI</b>
<b>Computed minimum temperature:</b>	<b>-10</b>	<b>øF</b>
<b>MAWP(new &amp; cold):</b>	<b>401.8</b>	<b>PSI</b>
<b>MAWP (at design):</b>	<b>350.03</b>	<b>PSI</b>
<b>Actual Stress:</b>	<b>17060</b>	<b>PSI</b>
<b>Actual Longitudinal Stress:</b>	<b>8355</b>	<b>PSI</b>
<b>Inside Diameter(corroded):</b>	<b>42.1250</b>	<b>In.</b>
<b>Shell Area:</b>	<b>140.7</b>	<b>Sq. Ft.</b>
<b>Shell Weight:</b>	<b>2833.9</b>	<b>Lbs.</b>
<b>Specific Gravity:</b>	<b>1.0000</b>	
<b>Shell Estimated Volume:</b>	<b>899.7</b>	<b>Gal.</b>
<b>Weight of Fluid:</b>	<b>7516</b>	<b>Lbs.</b>
<b>Total Flooded Shell Weight:</b>	<b>10350.4</b>	<b>Lbs.</b>

# **CALCULO DE UNA SECCION CONICA**

# IDENTIFICACION DE PARTES

**Job Desc:**            **Reductor**

**Job/Quote No:** **98/01**

**Customer:**            **Diplomado en Recipientes**

**Designed:**            **Manuel Cabrera**

**Design Date:**        **April 5, 1998**

**Checked :**              **Manuel Cabrera**

**Approved:**            **MCM**

**External loads do not control design.**

# DATOS DE DISEÑO

## Conical Reducer - Internal Pressure Data

Design Pressure:	350.00	PSI
Design Temperature:	350.00	øF
Minimum Design Metal Temperature:	20	øF
Inside diameter (new):	48.0000	In.
Inside diameter secondary (new):	42.0000	In.
angle a :	30.000	Degree
Corrosion Allowance:	0.0625	In.
Static Head:	0.0000	PSI
Joint Efficiency:	100.0000	Pct.
Shell Material:	SA-516, Grade 70	
Matl stress(hot):	17500	PSI
Material stress (cold):	17500	PSI
Min. temp curve:	B	
UCS-66(b) reduction:	Yes	
UCS-68(c) reduction:	No	

# Cálculo del Esfuerzo Circunferencial

- **Design Thickness per Appendix 1-4(e)**

$$t = PD / (2 \cos a (SE - 0.6 P))$$

$$t = 350 \cdot 48.1443 / (2 \cdot 0.866 (17500 \cdot 1.0 - 0.6 \cdot 350))$$

$$t = 0.5627 + 0.0625 \text{ (corrosion)} = \mathbf{0.6252 \text{ In. min.}}$$

**NOMINAL CONE THICKNESS SELECTED**

$$= 0.7500 \text{ Inches}$$

# OTROS PARAMETROS QUE ARROJA EL PROGRAMA

<b>Cone Height (h):</b>	<b>5.1962</b>	<b>In.</b>
<b>Pressure at MDMT:</b>	<b>350.0</b>	<b>PSI</b>
<b>Computed minimum temperature:</b>	<b>-3</b>	<b>øF</b>
<b>MAWP(new &amp; cold):</b>	<b>389.5</b>	<b>PSI</b>
<b>MAWP (at design):</b>	<b>350.02</b>	<b>PSI</b>
<b>Actual Stress:</b>	<b>14361</b>	<b>PSI</b>
<b>Inside Diameter(corroded):</b>	<b>48.1443</b>	<b>In.</b>
<b>Total Cone Area:</b>	<b>6.1</b>	<b>Sq. Ft.</b>
<b>Total Cone Wt.:</b>	<b>183.5</b>	<b>Lbs.</b>
<b>Specific Gravity:</b>	<b>1.0000</b>	
<b>Total Cone Est. Volume:</b>	<b>35.8</b>	<b>Gal.</b>
<b>Weight of Fluid:</b>	<b>299</b>	<b>Lbs.</b>
<b>Total Flooded Cone Weight:</b>	<b>482.3</b>	<b>Lbs.</b>

# **Cálculo del Refuerzo del Cono**

## **Cone-to-Cylinder Reinforcement**

Large End of Conical Section Description:

Design Temperature: 350 °F

Design Pressure: 350.00 PSI

# **Cálculo del Refuerzo del Cono**

## **Shell Number 2 Information**

<b>Shell Material:</b>	<b>SA-516, Gr 70</b>
<b>Condition:</b>	<b>Commercial</b>
<b>Matl Stress(<math>S_s</math>):</b>	<b>17500 PSI</b>
<b>Shell B-</b>	<b>Table: CS-2</b>
<b>Long. Eff. (<math>E_1</math>):</b>	<b>100</b>
<b>Modulus of Elasticity(<math>E_s</math>):</b>	<b>28.5 (<math>10^6</math>),PSI</b>
<b>Nominal (<math>t_s</math>):</b>	<b>0.5000 In.</b>
<b>Minimum Thickness (<math>t</math>):</b>	<b>0.4264 In.</b>
<b>Ins. Radius(<math>R_I</math>):</b>	<b>21.0000 In.</b>

# Cálculo del Refuerzo del Cono

## Cone Information

<b>Cone Material:</b>	<b>SA-516, Gr 70</b>
<b>Condition:</b>	<b>Commercial</b>
<b>Matl Stress(<math>S_c</math>):</b>	<b>17500 PSI</b>
<b>Cone B-</b>	<b>Table: CS-2</b>
<b>Long. Eff. (<math>E_2</math>):</b>	<b>100</b>
<b>Modulus of Elasticity(<math>E_c</math>):</b>	<b>28.5 (<math>10^6</math>),PSI</b>
<b>Nominal (<math>t_c</math>):</b>	<b>0.7500 In.</b>
<b>Minimum Thickness (<math>t_r</math>):</b>	<b>0.5627 In.</b>
<b>Cone Angle (<math>a</math>):</b>	<b>30.0 degrees</b>

# Cálculo y Criterios

Axial Load (f1): 0.00 Lb./in.

Internal Pressure

$$P / S_s E_1 = 0.02000$$

Maximum Cone Angle (amax) = 30.0 degrees

**Maximum cone angle equals/exceeds  
cone angle, no reinforcement required**

# **CALCULO DE UNA CABEZA**

**TIPO F&D**

**FLANGE AND DISH  
SITUADA EN EL FONDO**

# IDENTIFICACION DE PARTES

**Head Desc:** Fondo1  
**Job/Quote No:** 98/01  
**Customer:** Diplomado en Recipientes  
**Designed:** Manuel Cabrera  
**Design Date:** April 5, 1998  
**Checked :** Manuel Cabrera  
**Approved:** MCM  
**External loads do not control design.**

# DATOS DE DISEÑO

<b>ASME F &amp; D Head - Internal Pressure Data</b>	
<b>Design Temperature:</b>	<b>350.00 °F</b>
<b>Design Pressure:</b>	<b>350.00 PSI</b>
<b>Head Location:</b>	<b>Bottom</b>
<b>Static Head:</b>	<b>23.45 PSI</b>
<b>Inside diameter (new):</b>	<b>48.0000 In.</b>
<b>Corrosion Allowance:</b>	<b>0.0625 In.</b>
<b>Inside Crown Radius (L):</b>	<b>48.0000 In.</b>
<b>Knuckle (r)</b>	<b>2.8800 In.</b>
<b>Straight Flange:</b>	<b>1.5000 In.</b>
<b>Thin Out:</b>	<b>0.0625 In.</b>

# DATOS DE DISEÑO

<b>ASME F &amp; D Head - Internal Pressure Data</b>	
<b>Shell Material:</b>	<b>SA-516, Gr 70</b>
<b>Joint Efficiency:</b>	<b>100.0000 Pct.</b>
<b>Matl stress(hot):</b>	<b>17500 PSI</b>
<b>Material stress (cold):</b>	<b>17500 PSI</b>
<b>Minimum Design Metal Temperature:</b>	<b>20 øF</b>
<b>Min. temp curve:</b>	<b>B</b>
<b>UCS-66(b) reduction:</b>	<b>Yes</b>
<b>UCS-68(c) reduction:</b>	<b>No</b>

# CALCULOS

**Design Thickness per UG-32(e)**

$$t = PL * 0.8850 / (SE - 0.1 P)$$

$$t = 373.45 * 48.0625 * 0.885 / (17500 * 1.0 - 0.1 * 373.45)$$

$$t = 0.9097 + 0.0625(\text{corrosion}) + 0.0625(\text{thin out})$$
$$= 1.0347 \text{ In. min.}$$

**NOMINAL HEAD THICKNESS SELECTED**

$$= 1.1250 \text{ Inches}$$

# OTROS PARAMETROS QUE ARROJA EL PROGRAMA

<b>Pressure at MDMT:</b>	<b>350.0</b>	<b>PSI</b>
<b>Computed minimum temperature:</b>	<b>20</b>	<b>øF</b>
<b>MAWP(new &amp; cold):</b>	<b>399.6</b>	<b>PSI</b>
<b>MAWP (at design):</b>	<b>373.47</b>	<b>PSI</b>
<b>Actual Stress:</b>	<b>15922</b>	<b>PSI</b>
<b>Inside Diameter(corroded):</b>	<b>48.1250</b>	<b>In.</b>
<b>Total Head Area:</b>	<b>17.0</b>	<b>Sq. Ft.</b>
<b>Total Head Wt.</b>	<b>779.0</b>	<b>Lbs.</b>
<b>Specific Gravity:</b>	<b>1.0000</b>	
<b>Total Head Est. Volume:</b>	<b>54.2</b>	<b>Gal.</b>
<b>Weight of Fluid:</b>	<b>452</b>	<b>Lbs.</b>
<b>Total Flooded Head Weight:</b>	<b>1231.1</b>	<b>Lbs.</b>

# **CALCULO DE UNA CABEZA**

**TIPO TORIESFERICO  
SITUADA EN EL FONDO**

# IDENTIFICACION DE PARTES

**Head Desc:** Fondo2  
**Job/Quote No:** 98/01  
**Customer:** Diplomado en Recipientes  
**Designed:** Manuel Cabrera  
**Design Date:** April 5, 1998  
**Checked :** Manuel Cabrera  
**Approved:** MCM  
**External loads do not control design.**

# DATOS DE DISEÑO

<b>Torispherical Head - Internal Pressure Data</b>	
<b>Design Temperature:</b>	<b>350.00 °F</b>
<b>Design Pressure:</b>	<b>350.00 PSI</b>
<b>Head Location:</b>	<b>Bottom</b>
<b>Static Head:</b>	<b>23.45 PSI</b>
<b>Inside diameter (new):</b>	<b>48.0000 In.</b>
<b>Corrosion Allowance:</b>	<b>0.0625 In.</b>
<b>Inside Crown Radius (L):</b>	<b>38.4000 In</b>
<b>Knuckle (r)</b>	<b>4.8000 In</b>
<b>Straight Flange:</b>	<b>1.5000 In.</b>
<b>Thin Out:</b>	<b>0.0625 In.</b>

# DATOS DE DISEÑO

<b>Torispherical Head - Internal Pressure Data</b>	
<b>Shell Material:</b>	<b>SA-516, Gr 70</b>
<b>Joint Efficiency:</b>	<b>100.0000 Pct.</b>
<b>Matl stress(hot):</b>	<b>17500 PSI</b>
<b>Material stress (cold):</b>	<b>17500 PSI</b>
<b>Minimum Design Metal Temperature:</b>	<b>20 øF</b>
<b>Min. temp curve:</b>	<b>B</b>
<b>UCS-66(b) reduction:</b>	<b>Yes</b>
<b>UCS-68(c) reduction:</b>	<b>No</b>

# CALCULOS

**Design Thickness per APPENDIX 1-4(d)**

$$t = PLM / (2 SE - 0.2 P)$$

$$M = 1/4 [3 + Sq Rt(L/r)] = 1.4531$$

$$t = 373.45 * 38.4625 * 1.4531 / (2 * 17500 * 1.00 - 0.2 * 373.45)$$

$$t = 0.5977 + 0.0625(\text{corrosion}) + 0.0625(\text{thin out})$$
$$= 0.7227 \text{ In. min.}$$

**NOMINAL HEAD THICKNESS SELECTED**

$$= 0.7500 \text{ Inches}$$

# OTROS PARAMETROS QUE ARROJA EL PROGRAMA

<b>Pressure at MDMT:</b>	<b>350.0 PSI</b>
<b>Computed minimum temperature:</b>	<b>0 øF</b>
<b>MAWP(new &amp; cold):</b>	<b>412.0 PSI</b>
<b>MAWP (at design):</b>	<b>373.50 PSI</b>
<b>Actual Stress:</b>	<b>16735 PSI</b>
<b>Inside Diameter(corroded):</b>	<b>48.1250 In.</b>
<b>Total Head Area:</b>	<b>17.3 Sq. Ft.</b>
<b>Total Head Wt.</b>	<b>528.1 Lbs.</b>
<b>Specific Gravity:</b>	<b>1.0000</b>
<b>Total Head Est. Volume:</b>	<b>68.3 Gal.</b>
<b>Weight of Fluid:</b>	<b>570 Lbs.</b>
<b>Total Flooded Head Weight:</b>	<b>1097.7 Lbs.</b>

# **CALCULO DE UNA CABEZA**

**TIPO SEMIESFERICO  
SITUADA EN EL FONDO**

# IDENTIFICACION DE PARTES

Head Desc: Fondo3

Job/Quote No: 98/01

Customer: Diplomado en Recipientes

Designed: Manuel Cabrera

Design Date: April 5, 1998

Checked : Manuel Cabrera

Approved: MCM

External loads do not control design.

# DATOS DE DISEÑO

<b>Hemispherical Head - Internal Pressure Data</b>	
<b>Design Temperature:</b>	<b>350.00 °F</b>
<b>Design Pressure:</b>	<b>350.00 PSI</b>
<b>Head Location:</b>	<b>Bottom</b>
<b>Static Head:</b>	<b>23.45 PSI</b>
<b>Inside diameter (new):</b>	<b>48.0000 In.</b>
<b>Corrosion Allowance:</b>	<b>0.0625 In.</b>
<b>Inside Crown Radius (L):</b>	<b>24.0000 In</b>
<b>Straight Flange:</b>	<b>1.5000 In.</b>
<b>Thin Out:</b>	<b>0.0625 In.</b>

# DATOS DE DISEÑO

<b>Hemispherical Head - Internal Pressure Data</b>	
<b>Shell Material:</b>	<b>SA-516, Gr 70</b>
<b>Joint Efficiency:</b>	<b>100.0000 Pct.</b>
<b>Matl stress(hot):</b>	<b>17500 PSI</b>
<b>Material stress (cold):</b>	<b>17500 PSI</b>
<b>Minimum Design Metal Temperature:</b>	<b>20 °F</b>
<b>Min. temp curve:</b>	<b>B</b>
<b>UCS-66(b) reduction:</b>	<b>Yes</b>
<b>UCS-68(c) reduction:</b>	<b>No</b>

# CALCULOS

**Design Thickness per UG-32(f)**

$$t = PL / (2 SE - 0.2 P)$$

$$t = 373.45 * 24.0625 / (2 * 17500 * 1.00 - 0.2 * 373.45)$$

$$t = 0.2573 + 0.0625(\text{corrosion}) + 0.1875(\text{thin out})$$

**= 0.5073 In. Min.**

**NOMINAL HEAD THICKNESS SELECTED**

$$= 0.6250 \text{ Inches}$$

# OTROS PARAMETROS QUE ARROJA EL PROGRAMA

<b>Pressure at MDMT:</b>	<b>350.0 PSI</b>
<b>Computed minimum temperature:</b>	<b>-48 øF</b>
<b>MAWP(new &amp; cold):</b>	<b>465.1 PSI</b>
<b>MAWP (at design):</b>	<b>373.46 PSI</b>
<b>Actual Stress:</b>	<b>12019 PSI</b>
<b>Inside Diameter(corroded):</b>	<b>48.1250 In.</b>
<b>Total Head Area:</b>	<b>28.1 Sq. Ft.</b>
<b>Total Head Wt.</b>	<b>714.4 Lbs.</b>
<b>Specific Gravity:</b>	<b>1.0000</b>
<b>Total Head Est. Volume:</b>	<b>137.1 Gal.</b>
<b>Weight of Fluid:</b>	<b>1143 Lbs.</b>
<b>Total Flooded Head Weight:</b>	<b>1857.9 Lbs.</b>

# **CALCULO DE UNA CABEZA**

**TIPO TORIESFERICO  
SITUADA EN LA PARTE  
SUPERIOR**

# IDENTIFICACION DE PARTES

Head Desc: Cabeza2

Job/Quote No: 98/01

Customer: Diplomado en Recipientes

Designed: Manuel Cabrera

Design Date: April 5, 1998

Checked : Manuel Cabrera

Approved: MCM

External loads do not control design.

# DATOS DE DISEÑO

<b>Torispherical Head - Internal Pressure Data</b>	
<b>Design Temperature:</b>	<b>350.00 øF</b>
<b>Design Pressure:</b>	<b>350.00 PSI</b>
<b>Head Location:</b>	<b>Top</b>
<b>Static Head:</b>	<b>0.00 PSI</b>
<b>Inside diameter (new):</b>	<b>42.0000 In.</b>
<b>Corrosion Allowance:</b>	<b>0.0625 In.</b>
<b>Inside Crown Radius (L):</b>	<b>33.6000 In</b>
<b>Knuckle (r)</b>	<b>4.2000 In</b>
<b>Straight Flange:</b>	<b>1.5000 In.</b>
<b>Thin Out:</b>	<b>0.0625 In.</b>

# DATOS DE DISEÑO

<b>Torispherical Head - Internal Pressure Data</b>	
<b>Shell Material:</b>	<b>SA-516, Gr 70</b>
<b>Joint Efficiency:</b>	<b>100.0000 Pct.</b>
<b>Matl stress(hot):</b>	<b>17500 PSI</b>
<b>Material stress (cold):</b>	<b>17500 PSI</b>
<b>Minimum Design Metal Temperature:</b>	<b>20 øF</b>
<b>Min. temp curve:</b>	<b>B</b>
<b>UCS-66(b) reduction:</b>	<b>Yes</b>
<b>UCS-68(c) reduction:</b>	<b>No</b>

# CALCULOS

Design Thickness per APPENDIX 1-4(d)

$$t = PLM / (2 SE - 0.2 P)$$

$$M = 1/4 [3 + Sq Rt(L/r)]: 1.4526$$

$$t = 350 * 33.6625 * 1.4526 / (2 * 17500 * 1.0 - 0.2 * 350)$$

$$t = 0.4900 + 0.0625(\text{corrosion}) + 0.0625(\text{thin out})$$
$$= 0.6150 \text{ In. min.}$$

NOMINAL HEAD THICKNESS SELECTED

$$= 0.6250 \text{ Inches}$$

# OTROS PARAMETROS QUE ARROJA EL PROGRAMA

<b>Pressure at MDMT:</b>	<b>350.0 PSI</b>
<b>Computed minimum temperature:</b>	<b>-3 øF</b>
<b>MAWP(new &amp; cold):</b>	<b>394.1 PSI</b>
<b>MAWP (at design):</b>	<b>350.03 PSI</b>
<b>Actual Stress:</b>	<b>17149 PSI</b>
<b>Inside Diameter(corroded):</b>	<b>42.1250 In.</b>
<b>Total Head Area:</b>	<b>13.4 Sq. Ft.</b>
<b>Total Head Wt.</b>	<b>340.9 Lbs.</b>
<b>Specific Gravity:</b>	<b>1.0000</b>
<b>Total Head Est. Volume:</b>	<b>46.9 Gal.</b>
<b>Weight of Fluid:</b>	<b>391 Lbs.</b>
<b>Total Flooded Head Weight:</b>	<b>731.9 Lbs.</b>

# **CALCULO DE UNA BOQUILLA**

**BOQUILLA UNIDA AL  
FONDO DEL RECIPIENTE**

# **IDENTIFICACION DE LA BOQUILLA**

**Nozzle in an ASME head**

**Job/Quote No: 98/01**

**Nozzle Number: 1**

**Description: Purge fond**

**Quantity: 1**

**Configuration: Nozzle abutting the vessel,  
attached by a groove weld.**

**Nozzle does not pass thru a cat. A joint.**

# Características de la Cabeza

Head material: SA-516, Grade 70

Material Stress: 17500

Head wall, nom: 1.1250

Head wall, corroded and thinned: 1.0000

E = 100 percent (for tr)

Factor M = 1.0000

Required head thickness per UG-37(a)

$$tr = P L M / (2 S E - 0.2 P) = 373.45 * 48.0625 * 1.0000 / (2 * 17500 * 1 - 0.2 * 373.45) = 0.5139$$

# Datos de la Boquilla

<b>Nozzle pipe size:</b>	<b>4.0000</b>
<b>Nozzle pipe schedule:</b>	<b>80</b>
<b>Flange Class:</b>	<b>300</b>
<b>Nozzle Material:</b>	<b>SA-106, Grade B, SMLS</b>
<b>Material Gr.:</b>	<b>1.1</b>
<b>Maximum Pressure:</b>	<b>645</b>
<b>Stress (hot):</b>	<b>15000 PSI</b>
<b>Stress (cold):</b>	<b>15000 PSI</b>
<b>Nozzle ID, new:</b>	<b>3.8260 In.</b>
<b>Nozzle wall, new:</b>	<b>0.3370 In.</b>

# Datos de la Boquilla

<b>Nozzle corrosion allowance:</b>	<b>0.0625 In.</b>
<b>Nozzle wall, corroded:</b>	<b>0.2745 In.</b>
<b>Nozzle ID, corroded:</b>	<b>3.9510 In.</b>
<b>Joint efficiency E1:</b>	<b>1.00</b>
<b>Correction factor F:</b>	<b>1.00</b>
<b>External projection:</b>	<b>12.0000 In.</b>
<b>Reinforcing Mat'l:</b>	<b>SA-36, Plate</b>
<b>Reinf. plate thickness:</b>	<b>0.1875 In.</b>
<b>Stress (Sp):</b>	<b>12700 PSI</b>
<b>O.D., Reinf. Mat'l:</b>	<b>6.0000 In.</b>

# **Cálculo de los Factores de Resistencia**

**Cabeza-Cuello de Boquilla**

**Boquilla Placa de Refuerzo**

**Placa de Refuerzo-Cabeza**

# Factores de Resistencia

$$fr1 = 1.000$$

$$fr2 = S_n/S_v = 15000 / 17500 = 0.857$$

$$fr3 = S_p/S_v = 12700 / 17500 = 0.726$$

$$fr4 = S_p/S_v = 12700 / 17500 = 0.726$$

# Parámetros para el Cálculo para TMDM

<b>Min. temp curve:</b>	<b>B</b>
<b>Minimum Design Metal Temperature:</b>	<b>20 øF</b>
<b>Pressure at MDMT:</b>	<b>350.0 psi</b>
<b>UCS-66(b) reduction:</b>	<b>Yes</b>
<b>UCS-68(c) reduction:</b>	<b>No</b>
<b>Computed minimum temperature:</b>	<b>-150 øF</b>

# **Cálculos bajo UG-45**

**The wall thickness shall not be less than the greater of the following:**

**UG-45(a) - thickness for pressure loading plus corrosion.**

**UG-45(b) - the smaller of UG-45(b)(1) or UG-45(b)(4):**

# UG-45(a)

$$t = (P R_n / (SE - 0.6 P)) + CA$$

nozzle efficiency (E): 100 %

$$t = (373.45 * 1.9755 / (15000 * 1.0 - 0.6 * 373.45)) + 0.0625$$
$$= 0.1124 \text{ In.}$$

# UG-45(b)(1)

**the thickness (plus CA) required for internal pressure.**

$$t = P L M / (2 S E - 0.2 P) + \text{corrosion}$$

$$t = 373.45 * 48.0625 * 1.7604 / (2 * 17500 * 1 - 0.2 * 373.45) + 0.0625$$
$$= 0.9672 \text{ In.}$$

# **UG-45(b)(4)**

**minimum thickness of standard wall pipe  
plus CA = 0.2699 In.**

**UG-45(b) = 0.2699 In.**

**Wall thickness for pipe =  $t_n * 0.875$**

**Wall thickness of 0.2949 is greater  
than or equal to UG-45 value of  
0.2699**

# Required nozzle thickness per UG-37(a) - Internal Pressure

$$\begin{aligned}t_{rn} &= PR_n/SE - 0.6P \\ &= 373*1.9755/15000*1.0-0.6*373 \\ &= 0.0499 \text{ In.}\end{aligned}$$

## Area Required - Internal Pressure

$$\begin{aligned}A &= d \text{ tr } F + 2t_n \text{ tr } F (1 - fr_1) \\ A &= 3.951*0.5139*1.0+2*0.2745*0.5139*1.0(1-1) \\ &= 2.0304 \text{ Sq.In.}\end{aligned}$$

# Area Available - Internal Pressure

**A1 = Larger value of the following:**

$$= d(E1 t - F tr) - 2t_n (E1 t - F tr)(1 - fr1)$$

**OR**

$$= 2(t + t_n)(E1 t - F tr) - 2t_n(E1 t - F tr)(1 - fr1)$$

# A1

$$\begin{aligned} &= d (E1 t - F tr) - 2tn (E1 t - F tr)(1 - fr1) \\ &= 3.9510 (1.00 * 1.0000 - 1.00 * 0.5139) - \\ &\quad 2 * 0.2745 (1.00 * 1.0000 - 1.00 * \\ &0.5139) \\ &\quad (1 - 1.000) \\ &= 1.9206 \end{aligned}$$

# A1

- $$\begin{aligned} &= 2(t+t_n) (E1t-Ftr) - 2t_n(E1 t-Ftr) (1-fr1) \\ &= 2(1.0000 + 0.2745)(1.00*1.0000 - 1.00* \\ &\quad 0.5139) - 2 * 0.2745(1.00 * 1.0000 - 1.00 * \\ &\quad 0.5139) (1 - 1.000) \\ &= 1.2391 \end{aligned}$$

$$A1 = 1.9206 \text{ Sq.In.}$$

# Area Available - Internal Pressure

**A2 = Smaller value of the following:**

$$= 5 (t_n - t_{rn}) f r^2 * t$$

**OR**

$$= 2 (t_n - t_{rn}) (2.5 * t_n + t_e) f r^2$$

# A2

$$\begin{aligned} A2 &= 5 (t_n - t_{rn}) f_r^2 * t \\ &= 5 (0.2745 - 0.0499) 0.857 * 1.0000 \\ &= 0.9623 \end{aligned}$$

OR

$$\begin{aligned} &= 2 (t_n - t_{rn}) (2.5 * t_n + t_e) f_r^2 \\ &= 2(0.2745-0.0499)(2.5*0.2745+0.1875) 0.857 \\ &= 0.3363 \end{aligned}$$

$$A2 = 0.3363 \text{ Sq.In.}$$

# Area Available - Internal Pressure

$$A41 = (\text{leg})^2 * fr3$$

$$= 0.1856 * 0.1856 * 0.726 = 0.0250 \text{ Sq.In.}$$

$$A42 = (\text{leg})^2 * fr4$$

$$= 0.1326 * 0.1326 * 0.726 = 0.0128 \text{ Sq.In.}$$

$$A5 = (Dp - d - 2tn) te * fr4$$

$$= (6.0 - 3.9510 - 2 * 0.2745) 0.1875 * 0.726$$

$$= 0.2042 \text{ Sq.In.}$$

# **Area Available - Internal Pressure**

$$A1 + A2 + A3 + A41 + A42 + A43 + A5 = 2.4989$$

**which is greater than A of 2.0304**

**OPENING IS ADEQUATELY  
REINFORCED WITH THE PAD.**

# **Revisión de las dimensiones de las Soldaduras**

**UW-16**

# Check the welds per UW-16

$$\begin{aligned}t_{\min, \text{ weld 41}} &= \text{lesser of } 0.75 \text{ or } t_e \text{ or } t_n \\ &= 0.75 \text{ or } 0.1875 \text{ or } 0.2745 \\ &= 0.1875\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Weld 41, leg min.} &= (0.7 * t_{\min}) / 0.707 \\ &= 0.7 * 0.1312 / 0.707 \\ &= 0.1856\end{aligned}$$

$$\text{Weld 41, actual weld leg} = 0.1856$$

# Check the welds per UW-16

$$\begin{aligned} t_{\min, \text{ weld } 42} &= \text{lesser of } 0.75 \text{ or } t \text{ or } t_e \\ &= 0.75 \text{ or } 1.0000 \text{ or } 0.1875 \\ &= 0.1875 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Weld } 42, \text{ leg min.} &= (0.5 * t_{\min}) / 0.707 \\ &= (0.5 * 0.1875) / 0.707 \\ &= 0.1326 \end{aligned}$$

$$\text{Weld } 42, \text{ actual weld leg} = 0.1326$$

# **Check the welds per UW-16**

**Upper weld, weld 41:      0.1856 In.**

**Plate weld, weld 42:      0.1326 In.**

# **Determinación de Esfuerzos Unitarios**

**UG-45(c) and UW-15**

# **Unit Stresses per UG-45(c) and UW-15**

**Nozzle wall in shear**

$$= 0.70 * 15000 = 10500 \text{ PSI}$$

**Upper fillet, weld 41, in shear**

$$= 0.49 * 12700 = 6223 \text{ PSI}$$

**Groove weld in tension (nozzle)**

$$= 0.74 * 15000 = 11100 \text{ PSI}$$

**Outer fillet, weld 42, in shear**

$$= 0.49 * 12700 = 6223 \text{ PSI}$$

# **Stresses per UG-45(c) and UW-15**

## **Limits for components dimensions**

**OD, limit of reinf : 7.9020 In.**

**Outer "h" limit: 0.8738 In.**

# **Resistencia de la Conexión de los Elementos**

# Strength of connection elements

**Nozzle wall in shear**

$$\begin{aligned} &= \text{Pi}/2 * \text{mean nozzle diameter} * t_n * 10500 \\ &= 1.57 * 4.225 * 0.2745 * 10500 = 19121 \text{ Lbs.} \end{aligned}$$

**Upper fillet in shear**

$$\begin{aligned} &= \text{Pi}/2 * \text{nozzle O.D.} * \text{weld leg} * 6223 \\ &= 1.57 * 4.5000 * 0.1856 * 6223 = 8160 \text{ Lbs.} \end{aligned}$$

# Strength of connection elements

**Groove weld tension**

$$= \text{Pi}/2 * \text{nozzle O.D.} * t * 11100$$

$$= 1.57 * 4.5000 * 1.0000 * 11100 = 78421$$

**Lbs.**

**Outer fillet in shear**

$$= \text{Pi}/2 * \text{plate O.D.} * \text{weld leg} * 6223$$

$$= 1.57 * 6.0000 * 0.1326 * 6223 = 7773 \text{ Lbs.}$$

# **Cargas en las Soldaduras**

**UG-41(b)(1) and  
Fig. UG-41.1 sketch (b)**

# Load to be carried by welds

$$\begin{aligned} W &= (A - A1)S \\ &= (2.0304 - 1.9206) 17500 = 1922 \text{ Lbs.} \\ W1-1 &= (A2 + A5 + A41 + A42) * S \\ &= (0.3363 + 0.2042 + 0.0250 + 0.0128) \\ &\quad * 17500 = 10120 \text{ Lbs.} \\ W2-2 &= (A2 + A41) S \\ &= (0.3363+0.0250)*17500 = 6323 \text{ Lbs.} \end{aligned}$$

# **Revisión a la Resistencia de las Trayectorias**

# Check strength paths

**Path 1-1 = 7773 + 19121 = 26894 Lbs.**

**Path 2-2 = 8160 + 78421 = 86581 Lbs.**

**Plate strength =  $A5 * Sp = 0.2042 * 12700$   
= 2593 Lbs.**

**Outer fillet weld strength of 7773  
is greater than plate strength.**

# MAWP Report by Component

## Job: 98/01

Item	Design Pressure	MAWP New & Cold	MAWP Hot & Corr.
CPOCIL01	350.00	395.32	350.00
CPOCIL02	350.00	401.80	350.03
Reductor	350.00	389.53	350.02
Fondo1	373.45	399.59	373.47
Fondo2	373.45	412.00	373.50
Fondo3	373.45	465.14	373.46
Cabeza1	350.00	379.82	350.00
Cabeza2	350.00	394.09	350.03
Cabeza3	350.00	454.81	350.09
Nozzle No. 1. Purge	373.45	455.95	415.58
Nozzle No. ins2	350.00	458.01	371.27
Nozzle No. cp1. Ent1	350.00	419.67	353.09
Nozzle No. cp1. Reg1	350.00	448.75	403.46

# **-- SUMMARY --**

**New and cold component with lowest**

**MAWP: (MAWP = 379.82 PSI)      Cabeza1**

**Hot and corroded component with lowest**

**MAWP: (MAWP = 350.00 PSI)      CPOCIL01**

**Pressures are exclusive of any  
external loads.**

# **-MDMT Report by Component-**

<b>Item</b>	<b>Material</b>	<b>Curve</b>	<b>Pressure</b>	<b>MDMT</b>
<b>CPOCIL01</b>	<b>SA-516, Grade 70</b>	<b>B</b>	<b>350.00</b>	<b>-8</b>
<b>CPOCIL02</b>	<b>SA-516, Grade 70</b>	<b>B</b>	<b>350.00</b>	<b>-10</b>
<b>Reductor</b>	<b>SA-516, Grade 70</b>	<b>B</b>	<b>350.00</b>	<b>-3</b>
<b>Fondo1</b>	<b>SA-516, Grade 70</b>	<b>B</b>	<b>350.00</b>	<b>20</b>
<b>Fondo2</b>	<b>SA-516, Grade 70</b>	<b>B</b>	<b>350.00</b>	<b>0</b>
<b>Fondo3</b>	<b>SA-516, Grade 70</b>	<b>B</b>	<b>350.00</b>	<b>-48</b>
<b>Cabeza1</b>	<b>SA-516, Grade 70</b>	<b>B</b>	<b>350.00</b>	<b>19</b>
<b>Cabeza2</b>	<b>SA-516, Grade 70</b>	<b>B</b>	<b>350.00</b>	<b>-3</b>
<b>Cabeza3</b>	<b>SA-516, Grade 70</b>	<b>B</b>	<b>350.00</b>	<b>-35</b>
<b>Nozzle No. 1. Purge</b>	<b>SA-106, Gr B, SML</b>	<b>B</b>	<b>350.00</b>	<b>-150</b>
<b>Nozzle No. ins2</b>	<b>SA-106, Gr B, SML</b>	<b>B</b>	<b>350.00</b>	<b>-150</b>
<b>Nozzle No. cp1. Ent1</b>	<b>SA-106, Gr B, SML</b>	<b>B</b>	<b>350.00</b>	<b>-150</b>
<b>Nozzle No. cp1. Reg1</b>	<b>SA-106, Gr B, SML</b>	<b>B</b>	<b>350.00</b>	<b>-150</b>

## **-- SUMMARY --**

**Component with highest MDMT: Fondo1.  
(Computed MDMT = 20)**

**All components meet or exceed  
the design MDMT of 20.**

# **-Vessel Summary-Job: 98/01**

<b>WEIGHTS Lbs.</b>		
	<b>dry</b>	<b>flooded</b>
<b>Shell weight</b>	<b>19046</b>	<b>65832</b>
<b>Head weight</b>	<b>3270</b>	<b>6913</b>
<b>Cone weight</b>	<b>184</b>	<b>482</b>
<b>Total Weights</b>	<b>22499</b>	<b>73228</b>
<b>VOLUME Gallons</b>		
<b>Shell volume</b>	<b>5600</b>	
<b>Head volume</b>	<b>437</b>	
<b>Cone volume</b>	<b>36</b>	
<b>Total Volume</b>	<b>6073</b>	
<b>AREA. Sq. Ft.</b>		
<b>Shell area</b>	<b>785</b>	
<b>Head area</b>	<b>110</b>	
<b>Cone area</b>	<b>6</b>	
<b>Total Area</b>	<b>902</b>	

# HYDRO TEST INFORMATION

**Gauge at Top**

**Controlling Components**

**Ratio: CPOCIL01**

**Pressure: CPOCIL01**

**Design Pressure \* 1.5 \* (Cold Stress / Hot Stress) = Hydro Test Pressure**

**$350.00 * 1.5 * (17500.00 / 17500.00) = 525 \text{ PSI}$**

# FIN DE LA EXPOSICION



**EL COLEGIO DE  
INGENIEROS  
MECANICOS Y  
ELECTRICISTAS, A.C.  
(CIME) Y EL  
SUSCRITO  
AGRADECEMOS SU  
ATENCION A LA  
PRESENTE  
EXPOSICION**



**FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM  
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA**

# **CURSOS ABIERTOS**

## **DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN**

**CA 227**

### **MÓDULO III DISEÑO DE RECIPIENTES A PRESIÓN, PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS Y VÁLVULAS DE SEGURIDAD**

**Tema  
VÁLVULAS DE SEGURIDAD**

**EXPOSITOR: ING. ORLANDO RAFAEL RIVERA MENDOZA  
PALACIO DE MINERÍA  
MARZO DEL 2004**



## válvulas de seguridad

### La válvula de seguridad por excelencia

Con más de 200 años de experiencia, unas 300 personas se dedican a la fabricación y diseño de válvulas de seguridad para la protección de sus instalaciones industriales. Fabricadas acordes a las normas DIN, ASME, ANSI y API, las válvulas de seguridad LESER contemplan pasos desde 10 hasta 400 mm. y presiones de disparo desde 0,1 bar hasta 700 bar.

La gama de fabricación se completa con materiales estándar en hierro fundido 0,6025, fundición nodular 0,7043, acero al carbono

1 0619, acero inoxidable 1.4408 y 1.4571, así como cuerpos y fuelles totalmente teflonados para condiciones de servicio muy críticas. Por la amplísima gama de fabricación estándar tanto en normas, presiones de disparo, DN de construcción y en materiales, las válvulas de seguridad LESER son líderes mundiales en su sector.

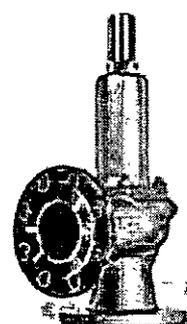
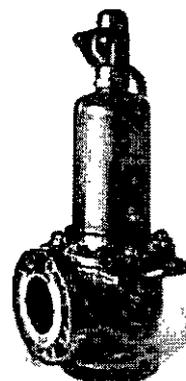
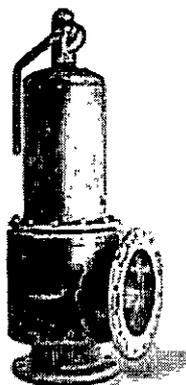
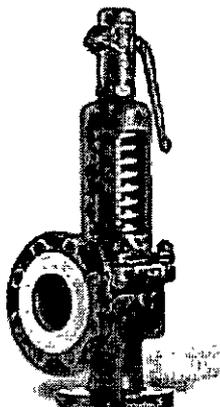
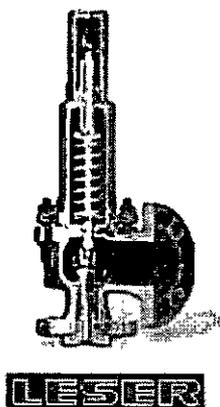
#### Modelo 441/442

La unión Schubert & Salzer/LESER en nuestro país confiere fuerza y capacidad de suministro en 24 horas a cualquier punto de la Península de válvulas de seguridad de apertura total

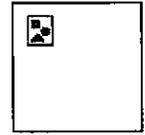
instantánea (441/442) en norma DIN con bridas desde DN 20 hasta DN 200 mm., en hierro fundido, fundición nodular y acero al carbono, y presiones de disparo desde 0,1 bar hasta 40 bar, suministradas con o sin fuelle de acero inoxidable.

#### Modelo API 526

Válvulas de seguridad que reúnen los requisitos de la norma API 526 y del código ASME. Fabricadas con orificios del "D" al "T" según API y los estándares de calidad LESER. Estas válvulas son idóneas para aplicaciones en plantas químicas, petroquímicas y extracción, manipulación y transporte de crudo.



# Válvulas Reductoras de Presión, Sobre Flujo, Válvulas de Seguridad ZUB-MB



Conexión:  
Material: Latón, Hierro fundido , Acero,  
Acero inox.  
Max. Presión: 50 bar  
Max. Temperatura. 150 °C

**Manómetros, válvulas de seguridad, colectores, accesorios,  
termóstatos**

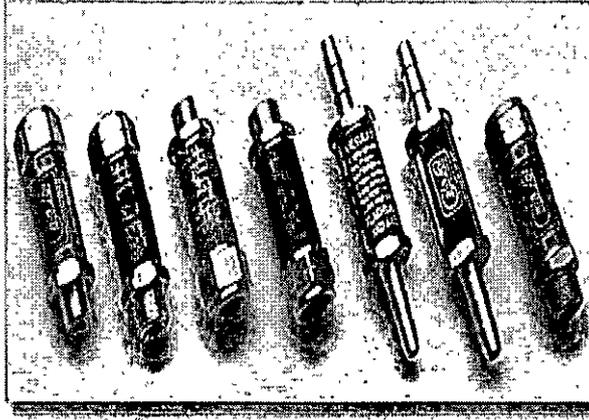
Manómetros, válvulas de seguridad, colectores, accesorios, termóstatos

---



---

## VÁLVULAS DE SEGURIDAD



### Descripción General

Las válvulas de seguridad están especialmente diseñadas y fabricadas contra el retroceso del gas y de la llama, para acoplamiento a soplete, manorreductor o mangueras.

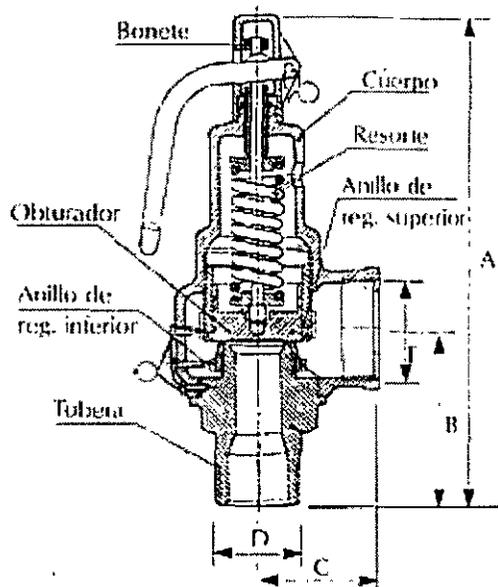
### Características especiales

Diseñadas y construídas según normas: EN 730, ISO 5175 e ISO 9539.

Gases:

- • Acetileno
- • Propano-butano
- • Gas natural
- • Oxígeno

## CALIDAD GARANTIZADA EN VALVULAS DE SEGURIDAD



• Diseñadas especialmente para la protección de calderas, marmitas, líneas de vapor y aire.

• Anillos de calibración aseguran apertura instantánea y completa, con diferenciales de caída controlados.

• Resortes calibrados y tratados térmicamente aseguran larga vida útil.

• Diseño construcción y comportamiento de acuerdo con:

**CODIGO ASME Sección 1**  
**CODIGO ISO 4126**

MODELO	DIMENSION					PESO (Kg)	TOBERA	
	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D NPT	F NPT		ORIFICIO	AREA Pulg <sup>2</sup>
VSGR 1/2" x 1/2"	170	58	42	1/2"	3/4"	0,9	D	1,21
VSGR 3/4" x 1/2"				3/4"	3/4"			
VSGR 3/4" x 1"	202	68	46	3/4"	1"	1,5	E	2,16
VSGR 1" x 1"				1"	1"			
VSGR 1" x 1 1/4"	221	70	51	1"	1 1/4"	2,2	F	3,38
VSGR 1 1/4" x 1 1/4"				1 1/4"	1 1/4"			
VSGR 1 1/2" x 1 1/2"	239	76,5	60,5	1 1/2"	1 1/2"	3,1	G	5,54
VSGR 1 1/2" x 1 1/2"				1 1/2"	1 1/2"			
VSGR 1 1/2" x 2"	286	105	70	1 1/2"	2"	4,5	H	8,63
VSGR 2" x 2"				2"	2"			
VSGR 2" x 2 1/2"	354	116	90	2"	2 1/2"	9,0	J	1,287
VSGR 2 1/2" x 2 1/2"				2 1/2"	2 1/2"			

MODELO	CONSTRUCCION							
	PRESION Y TEMPERATURA MAXIMA				MATERIALES			
	VAPOR		AIRE					
	PRESION MAX.	TEMP. MAX.	PRESION MAX.	TEMP. MAX.	Cuerpo	Tobera	Obturador	Resorte
VSGR	200 PSI	190 °F	250 PSI	200 °F	Bronce	Bronce	Bronce	Ac. carbonado /trat. sup.

# TABLA DE COMPORTAMIENTO

PRESION DE APERTURA  PSI	DESCARGAS VAPOR SATURADO 3% DE ACUMULACION						DESCARGAS DE AIRE LIBRE 10% DE ACUMULACION					
	LIBRAS/HORA						PIES CUBICOS/MINUTO					
	TOBERA (letra/pulg <sup>2</sup> )						TOBERA (letra/pulg <sup>2</sup> )					
	D .121	F .216	F .338	G .554	H .863	I 1.287	D .121	F .216	F .338	G .554	H .863	I 1.287
5	99	177	276	432	704	1156	35	64	100	163	255	418
10	124	222	347	569	887	1455	46	81	126	207	324	531
15	150	268	419	686	1069	1753	56	98	154	252	394	643
20	175	313	490	804	1251	2054	65	116	181	297	463	759
25	201	359	561	921	1434	2353	75	133	208	341	532	853
30	226	404	636	1038	1616	2652	85	150	235	386	602	986
35	252	450	704	1155	1798	2951	94	167	262	430	672	1100
40	278	496	775	1272	1981	3251	104	185	289	475	741	1214
45	301	541	847	1389	2163	3550	113	202	317	519	810	1328
50	329	587	918	1506	2345	3849	123	219	344	563	879	1441
55	354	633	990	1623	2528	4148	133	237	370	608	948	1555
60	380	678	1061	1740	2710	4448	143	254	398	652	1018	1669
65	405	724	1132	1857	2892	4747	152	271	425	697	1087	1783
70	431	769	1204	1974	3074	5046	162	288	452	742	1157	1896
75	456	815	1275	2091	3257	5345	172	306	479	786	1226	2010
80	482	861	1346	2208	3439	5644	181	323	506	831	1296	2124
85	507	906	1418	2325	3621	5944	191	340	531	875	1365	2238
90	533	952	1489	2442	3804	6243	201	358	561	919	1434	2351
95	558	998	1561	2559	3986	6542	211	375	588	963	1503	2465
100	584	1043	1632	2676	4168	6841	220	392	614	1008	1572	2579
105	610	1089	1703	2794	4351	7140	230	409	641	1052	1641	2693
110	635	1135	1775	2911	4533	7440	240	427	669	1097	1712	2806
115	661	1180	1846	3028	4715	7739	249	444	695	1141	1780	2920
120	686	1226	1918	3145	4898	8038	259	461	723	1187	1850	3034
125	712	1271	1989	3262	5080	8337	268	478	749	1230	1919	3148
130	737	1317	2060	3379	5262	8637	278	496	777	1276	1989	3261
135	761	1363	2132	3496	5445	8938	288	513	803	1319	2057	3375
140	788	1408	2203	3613	5627	9235	298	531	832	1364	2128	3489
145	814	1454	2274	3730	5809	9534	307	548	858	1408	2196	3603
150	839	1500	2346	3847	5991	9833	318	565	885	1453	2267	3716
155	865	1545	2417	3964	6174	10133	327	582	912	1497	2335	3830
160	891	1591	2489	4081	6356	10432	337	600	940	1542	2405	3944
165	916	1636	2560	4198	6538	10731	346	617	966	1586	2473	4058
170	942	1682	2631	4315	6721	11030	356	634	994	1632	2544	4171
175	967	1728	2703	4432	6903	11330	366	651	1020	1675	2612	4285
180	993	1773	2774	4549	7085	11629	376	669	1048	1720	2683	4399
185	1018	1819	2845	4666	7268	11928	385	686	1074	1764	2751	4513
190	1044	1865	2917	4784	7450	12227	395	704	1102	1809	2821	4626
195	1069	1910	2988	4901	7632	12526	404	720	1128	1853	2889	4740
200	1095	1956	3060	5018	7815	12826	414	739	1157	1898	2960	4854
205							424	755	1183	1942	3028	4968
210							434	774	1212	1987	3099	5081
215							443	790	1237	2030	3167	5195
220							453	808	1267	2076	3238	5309
225							463	824	1291	2119	3305	5423

Estado: Líquido; Vapor Saturado; Presión de Apertura: 113 PSI; Caudal de descarga: 1250 libras/hora.  
 Se usó la tabla de vapor saturado con la presión de apertura inmediata inferior (90 PSI), en caso que no concuerda con el valor medido.  
 Se usó la tabla para esta presión y caudal de descarga inmediata superior (1400 libras/hora), en caso que no aparezca en tabla el valor indicado. → Véase F-2 VSGR 1" x 1/2" VSGR 1 1/2 x 1 1/2".

Note: Para calderas de más de 100 BHP (1 BHP = 34.5 libras/h), el Código ASME requiere como mínimo 2 tablas de seguridad para descarga el caudal especificado.

## RECOMENDACIONES DE INSTALACION

Evite apretar excesivamente la válvula al roscaada pues esto puede distorsionar el sello de la misma.

Evite disparar la válvula cuando no sea necesario. Esta debe ser operada con una frecuencia no mayor a la requerida para asegurar que esté en buenas condiciones.

Nunca opere a una presión demasiado cercana a la posición de apertura en placa de identificación. Se recomienda un diferencial mínimo de 5 (cinco) PSI o 10% (diez por ciento) (cualquiera que sea mayor).

Evite cargas causadas por tubería a la descarga; aún cuando estén sostenidas individualmente, cambios de temperatura pueden causar esfuerzos. Recomendamos conexiones flexibles cuando sea posible.

Asegúrese que cualquier compuesto sellador utilizado en la conexión de entrada se aplique moderadamente para evitar que el exceso entre en la válvula dañando su sello.

Las válvulas de seguridad para vapor también pueden ser utilizadas para aire, pero no viceversa.

## RESORTES DE ALTA CALIDAD

Nuestros resortes son diseñados y calibrados para cada presión, con un margen de calibración de 25%. Nuestro tratamiento térmico, estabiliza el resorte incrementando así su resistencia a cetera.

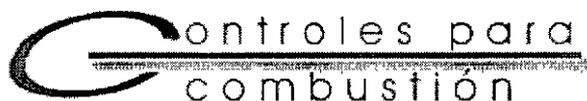
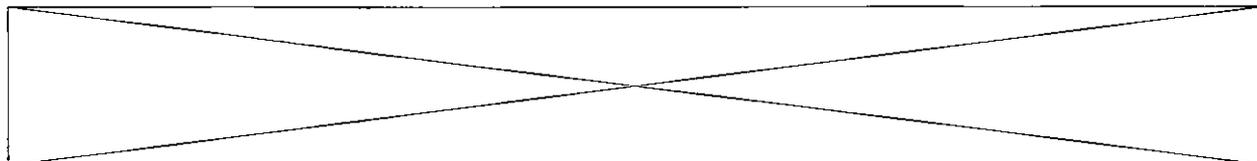


VÁLVULAS DE SEGURIDAD, S.A. DE C.V.  
ING. JESÚS VÁZQUEZ RAMÍREZ.  
SCHUMANN NO. 232, COL. VALLEJO, 07870, MÉXICO, D. F.  
TELÉFONO: (5) 517 11 32, 517 14 76, 517 45 14  
FAX: (5) 759 12 86  
ACREDITACIÓN: MM-025-124/00  
APROBACIÓN SECOFI: MM-025-124/00  
VENCIMIENTO: 2002-10-04

PRUEBAS	NORMAS Y/O MÉTODOS DE REFERENCIA	SIGNATARIOS
VÁLVULAS DE RELEVO DE PRESIÓN (SEGURIDAD, SEGURIDAD-ALIVIO Y ALIVIO) OPERADAS POR RESORTE Y PILOTO; FABRICADAS DE ACERO Y BRONCE.		
PRESIÓN NEUMÁTICA.	NOM-093-SCFI-1994 INCISO 11.1	1 Y 2
PRESIÓN DE AJUSTE Y DIFERENCIAL DE CIERRE.	NOM-093-SCFI-1994 INCISO 11.2	1 Y 2
HERMETICIDAD O SELLO.	NOM-093-SCFI-1994 INCISO 11.3	1 Y 2
PRESIÓN DE AJUSTE CON CONTRAPRESIÓN.	NOM-093-SCFI-1994 INCISO 11.4	1 Y 2
MARCADO EN EL PRODUCTO.	NOM-093-SCFI-1994 INCISOS 12.1.1, 12.1.2, 12.1.3,	1 Y 2

**SIGNATARIOS AUTORIZADOS:**

1. 1. T C. JAVIER GODÍNEZ ROM RO.
2. 2. T C. EDUARDO DELGADO VILLAVICENCIO.



▲ La Empresa

▲ Quemadores

▲ Controles para  
Combustión

▲ omatización

▲ Tableros Elétricos

▲ Hornos  
Industriales

▲ Sistemas de  
Acabado

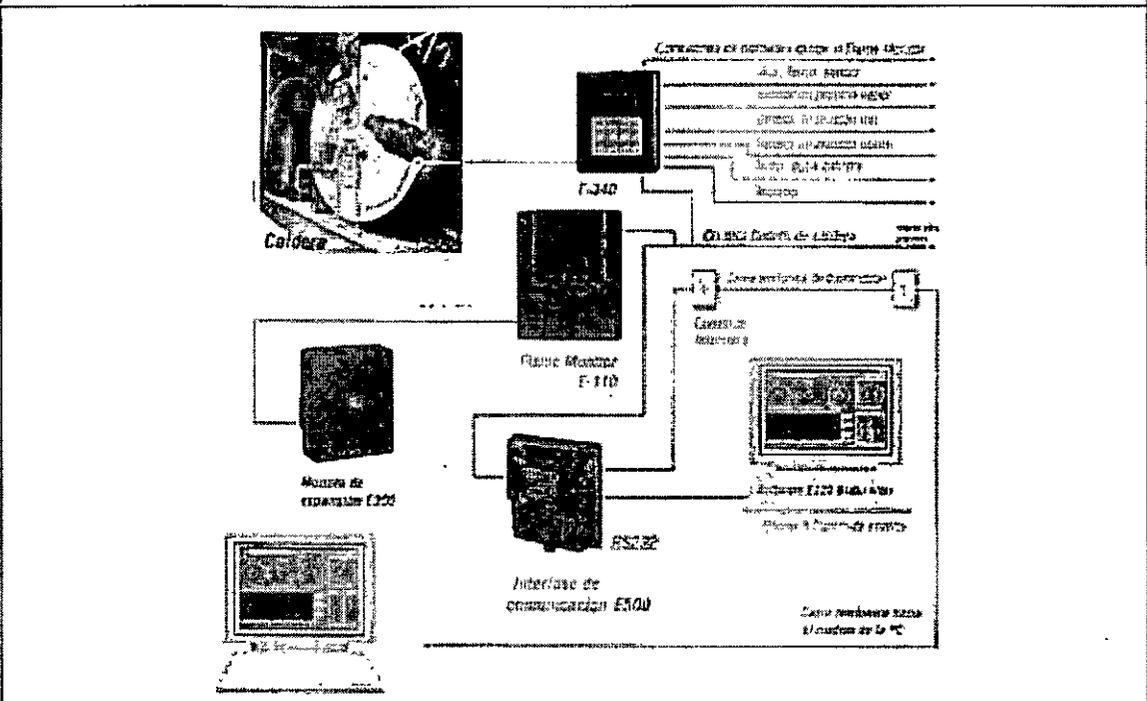
▲ Cabinas de Pintura

▲ Lavadoras  
Industriales

▲ Sucursales

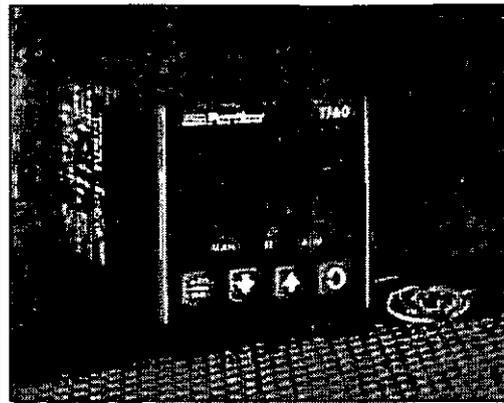
▲ Contactar  
Tel: 5855-0301

Sistema de seguridad para fallas en quemadores industriales  
 La más avanzada tecnología en sistemas para monitoreo y encendido automático de quemadores, con capacidad de integrarse a sistemas de control con PLC o Control Distribuido.

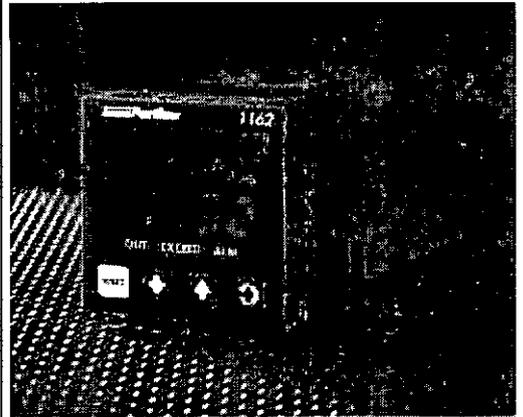


	Control para Caldera Flame Monitor E110		Control para Quemadores Serie µM
	Amplificador de señal de flama con salida 4-20 mA		Sensor de flama inteligente para multiquemadores Serie Signature Scanner
	Sensor de flama con autochequeo Serie UV		Amplificador en señal de flama Flame Worx
	Sensor de flama tipo UV		

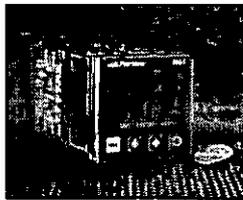
Indicadores Controladores y Registradores de Temperatura



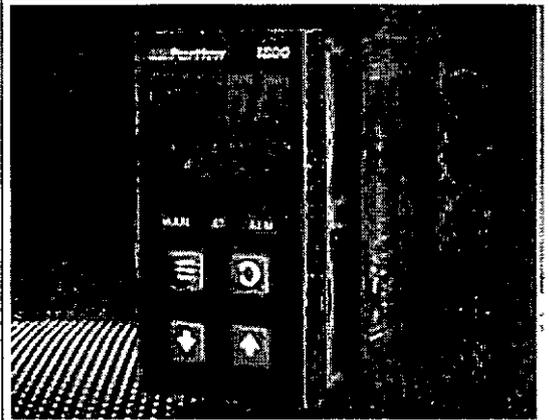
Control 1160



Control limite 1162



Control limite MIC 1161



Control 1800



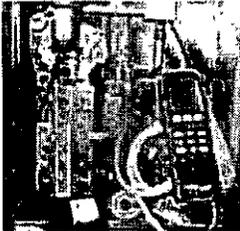
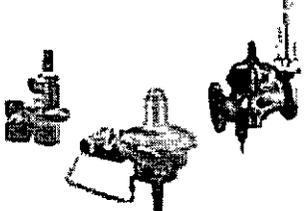
Control limite MIC 1401

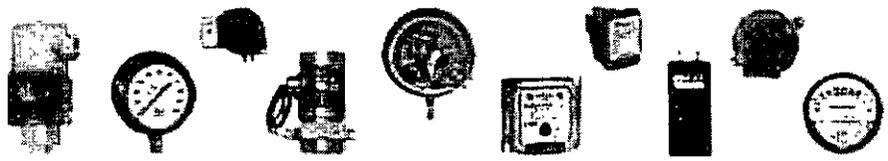


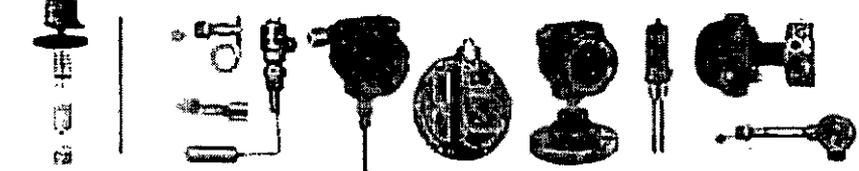
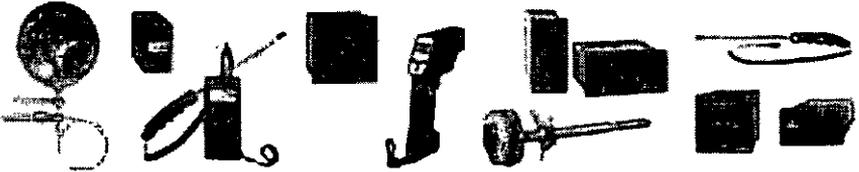
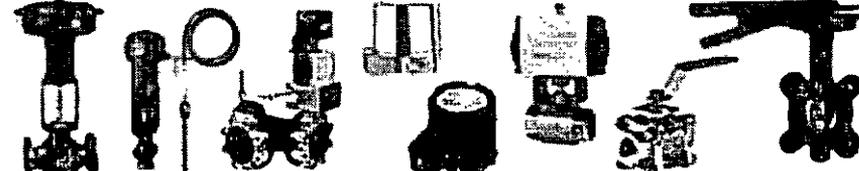
Control de nerfiles MIC 1462



Registrador Versa Chart

	<p>Modutroles, Sensores de flama, Interruptores de presión, Interruptores de nivel y flujo.</p>		<p>Analizadores de Gases de Combustión portátiles. (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>)</p>
	<p>Reguladores de presión para gas natural ó L.P.</p>		

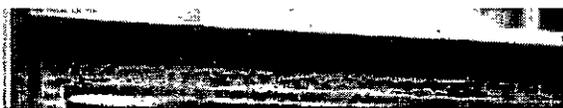
<p>Amplia gama de instrumentos para: Medición y regulación de presión, temperatura y flujo.</p>		
	<p>PRESION</p>	
	<p>FLUJO</p>	

	<p>NIVEL</p>
	<p>TEMPERATURA</p>
	<p>VALVULAS</p>

# Quemadores

Tecnología en QUEMADORES para todos sus procesos de calentamiento industrial, ahorro de combustible y bajas emisiones.

Quemadores para Hornos de Tratamiento Térmico, Atmósferas controladas, Fundición, etc.



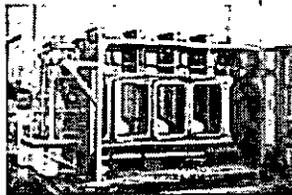
- Therm Jet
- Therm Thief
- TFB
- Autorecupe

Quemadores para calentamiento de líquidos

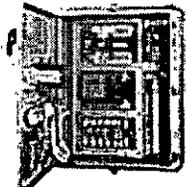


- InmersoJet
- InmersoPack

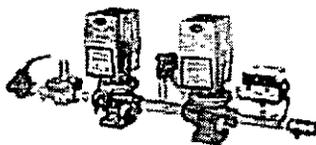
### Quemadores para calentamiento de aire



- RatioMatic
- AH
- RHT
- Vortometric
- Minnox
- Therm air



### Equipos suplementarios



- Ventiladores
- Válvulas
- Trenes de válvulas
- Válvulas de control
- Multiquemadores
- Control contra falla de flama
- Motor modulante programable



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM  
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

# CURSOS ABIERTOS

## DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

### MODULO III DISEÑO DE RECIPIENTES A PRESIÓN, PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS Y VÁLVULAS DE SEGURIDAD

CLAVE CA-227

#### TEMA

#### INTRODUCCIÓN A LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

DEL 17 AL 21 DE MAYO

**EXPOSITOR: ING. ORLANDO RAFAEL RIVERA MENDOZA**  
**PALACIO DE MINERÍA**  
**MAYO DE 2004**

**INTRODUCCION A LOS ENSAYOS  
NO DESTRUCTIVOS**

**México, D. F., 1994.**

Los contenidos, presentación y disposición en conjunto de *Introducción a los ensayos no destructivos* son propiedad íntegra de su autor. La reproducción total o parcial de esta publicación, por cualquier método óptico, de registro magnético, digital o similares, sin autorización previa y por escrito de su creador, queda prohibida.

El desacato a lo antes expuesto dará lugar a las acciones legales pertinentes de acuerdo a lo establecido en la legislación vigente para la defensa de los Derechos de Autor.

Derechos reservados conforme a la Ley.

D. R. C 1992, Alfonso R. García Cueto

Registro No.

Impreso en México.

# INDICE DE CONTENIDOS

---

## CAPITULO I

---

<b>INTRODUCCION</b>	<b>9</b>
<b>LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.</b>	<b>10</b>
TECNICAS DE INSPECCIÓN SUPERFICIAL . . . . .	11
TECNICAS DE INSPECCIÓN VOLÚMETRICA. . . . .	12
TECNICAS DE INSPECCIÓN DE LA INTEGRIDAD O DE LA HERMETICIDAD. . . . .	12
VENTAJAS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. . . . .	12
LIMITACIONES DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. . . . .	13
BENEFICIOS DEL EMPLEO DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. . . . .	14
SELECCIÓN DEL ENSAYO NO DESTRUCTIVO ADECUADO. . . . .	15

## CAPITULO II

---

<b>TECNICAS DE INSPECCION SUPERFICIAL</b>	<b>17</b>
<b>INSPECCION VISUAL.</b>	<b>17</b>
REQUISITOS DE LA INSPECCIÓN VISUAL . . . . .	18
HERRAMIENTAS PARA LA INSPECCIÓN VISUAL. . . . .	18
VENTAJAS DE LA INSPECCIÓN VISUAL. . . . .	21
LIMITACIONES DE LA INSPECCIÓN VISUAL. . . . .	22
<b>LIQUIDOS PENETRANTES.</b>	<b>22</b>
REQUISITOS DE LA INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES. . . . .	23
SECUENCIA DE LA INSPECCIÓN. . . . .	24
APLICACIONES. . . . .	27
VENTAJAS DE LOS LÍQUIDOS PENETRANTES. . . . .	27
LIMITACIONES DE LOS LÍQUIDOS PENETRANTES. . . . .	29

<b>PARTICULAS MAGNETICAS.</b>	<b>29</b>
REQUISITOS DE LA INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.	30
SECUENCIA DE LA INSPECCIÓN.	30
VENTAJAS DE LA PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.	34
LIMITACIONES DE LAS PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.	34
<b>ELECTROMAGNETISMO (CORRIENTES DE EDDY).</b>	<b>34</b>
REQUISITOS PARA LA INSPECCIÓN POR ELECTROMAGNETISMO.	36
SECUENCIA DE LA INSPECCIÓN.	36
VENTAJAS DEL ELECTROMAGNETISMO.	39
LIMITACIONES DEL ELECTROMAGNETISMO.	40
<b>RESUMEN.</b>	<b>40</b>

**CAPITULO III**

<b>TECNICAS DE INSPECCION VOLUMETRICA</b>	<b>43</b>
<b>RADIOGRAFIA INDUSTRIAL.</b>	<b>43</b>
REQUISITOS Y SECUENCIA DE LA INSPECCIÓN POR RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL.	47
APLICACIONES.	48
VENTAJAS DE LA RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL.	49
LIMITACIONES DE LA RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL.	49
<b>ULTRASONIDO INDUSTRIAL.</b>	<b>50</b>
REQUISITOS Y SECUENCIA DE LA INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO INDUSTRIAL.	51
APLICACIONES.	54
VENTAJAS DEL ULTRASONIDO INDUSTRIAL.	55
LIMITACIONES DEL ULTRASONIDO INDUSTRIAL.	55
<b>EMISION ACUSTICA.</b>	<b>55</b>
REQUISITOS Y SECUENCIA DE LA INSPECCIÓN POR EMISIÓN ACÚSTICA.	57
APLICACIONES.	57
VENTAJAS DE LA EMISION ACUSTICA.	57
LIMITACIONES DE LA EMISION ACUSTICA.	58

---

<b>RESUMEN.</b>	<b>58</b>
-----------------	-----------

---

**CAPITULO IV**

---

<b>CAPACITACION, CALIFICACION Y CERTIFICACION</b>	<b>61</b>
---	-----------

---

<b>EXÁMENES DE CALIFICACION.</b>	<b>64</b>
----------------------------------	-----------

---

EXPERIENCIA PRÁCTICA. . . . .	67
-------------------------------	----

EMISION DE LOS CERTIFICADOS. . . . .	67
--------------------------------------	----

EL CASO DE MÉXICO. . . . .	68
----------------------------	----

<b>CONCLUSIONES.</b>	<b>69</b>
----------------------	-----------

---

<b>BIBLIOGRAFIA.</b>	<b>71</b>
----------------------	-----------

---



## PRESENTACION

**E**sta es la tercera edición de Introducción a los ensayos no destructivos. A cuatro años de la primera edición, se hacía necesario revisar los contenidos; así como un cambio en su presentación, que hicieran de la Introducción un texto con mayor atractivo al lector y de más fácil lectura. Es el primer libro de la colección en ser revisado; el resto también se está actualizando.

La realización de la primera edición de la Introducción no hubiera sido posible sin el apoyo del Dr. Keneth Beswick, cuya preocupación por elevar los niveles de vida de la comunidad al mejorar la calidad de la producción, se ha traducido en trabajos encaminados al desarrollo de los Ensayos no Destructivos en nuestro continente, a través de las gestiones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), por medio del Proyecto Regional de Ensayos no Destructivos para América Latina y el Caribe. No obstante que dicho Proyecto ha concluido, la presente edición es muestra de que las inquietudes generadas por el Dr. Beswick han fructificado, posiblemente más allá de las expectativas originales.

Agradecemos al Sr. Ricardo Sulzer, Director General de Salgitter de México, y al Ing. Roberto Clynes, Director General de K. B. de México, Presidente y Vicepresidente del Instituto Mexicano de Ensayos no Destructivos, A. C., respectivamente, quienes de forma constante nos han otorgado múltiples facilidades y apoyos, de los que los resultados se concretan en hechos como el presente texto.

Al Ing. Bonifacio Alanís Toledo y al Sr. Juan Luis López Polanco, Nivel III (MM993 de ASNT), por el tiempo dedicado a la revisión técnica de la Introducción y por sus comentarios, los que enriquecieron nuestra obra.

Atrás de este libro se encuentra la actividad técnica, conducto de la obra intelectual, que son la redacción final, la dactilografía y la edición, todas por procesador de palabras; estos trabajos estuvieron a cargo de la Srita. Ma. de Lourdes Gutierréz, de la Srita. Martha Angélica Gutiérrez y del Sr. Miguel Angel García.

Finalmente, cuando tras la realización de un libro, trabajo que involucra la labor de gran cantidad de personas, se pretende agradecer a todos aquellos que colaboraron en su terminación, con frecuencia se hacen omisiones involuntarias. De ser así, ofrecemos la más amplia disculpa.

A. R. G. C.



# CAPITULO I

---

## INTRODUCCION

**E**ste texto de introducción a los ensayos no destructivos, así como los comentarios que contiene, han sido preparados con base en los documentos empleados en los programas de capacitación a nivel latinoamericano del Proyecto Regional de la ONU, conocido como el RLA/82/T01 (actualmente RLA/08/005), adaptándolos además para que sean leídos por dos grupos bien definidos de técnicos y profesionistas.

El primer grupo lo componen quienes requieren de un conocimiento general de las demás técnicas de Ensayos no Destructivos para poder preparar su examen de calificación como Inspector Nivel III en alguna de las técnicas de END. El segundo grupo está formado por individuos que sus actividades profesionales se realizan en un nivel gerencial dentro de una empresa; por lo cual requieren conocer de estas técnicas de inspección, pero no al grado de ser indispensable estar preparado como especialista en ellas.

La intención de libro es mostrar a los profesionales del área, así como al personal gerencial que se pueden utilizar estos ensayos no sólo como un requisito de calidad a cumplir, sino también para implementar políticas de reducción y optimización de costos de producción y asegurar la calidad de los productos en un mercado competitivo: Los ingenieros de producción pueden emplearlos para disminuir los tiempos muertos de producción; eliminar el desperdicio de materiales y mantener una alta productividad industrial.

Es importante mencionar que para efectuar estas pruebas correctamente y obtener el máximo de sus beneficios, se requiere que el personal que los realice esté debidamente capacitado en la técnica específica de Ensayos no Destructivos que desea aplicar y por este motivo en el último capítulo se comentan los esquemas internacionalmente aceptados para la capacitación y calificación en los

diferentes niveles de habilidad y qué se realiza en México al respecto.

## **LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.**

Los Ensayos no Destructivos, END, son un campo de la ingeniería que se desarrolla rápidamente. Las técnicas como la digitalización de imágenes, la radiografía por neutrones, el electromagnetismo o la emisión acústica, que eran relativamente desconocidas hasta hace pocos años, se han convertido en herramientas de uso cotidiano en las industrias que desean mantenerse en la vanguardia del mercado con sus productos.

En la fabricación y/o construcción de componentes, subensambles, equipos e instalaciones, intervienen una serie de actividades cuya finalidad está bien definida o delimitada; éstas son principalmente: el diseño, la fabricación o construcción propiamente dichas, el montaje o instalación y finalmente la inspección y las pruebas.

Estas actividades siempre se llevan a cabo, se trate de un tornillo, un embarque automotriz, un intercambiador de calor, un reactor químico, el casco de un barco, una central de energía o un gaseoducto.

Las actividades que revisten mayor importancia para los fines de esta

introducción son las pruebas e inspecciones que normalmente se practican a los materiales y que se pueden dividir de diferentes formas. Una de las clasificaciones más usuales es la siguiente:

- **Pruebas Destructivas.**
- **Pruebas no Destructivas.**

El objetivo principal de las pruebas destructivas es determinar cuantitativamente el valor de ciertas propiedades de los materiales, como resistencia mecánica, la tenacidad o la dureza. La ejecución de las pruebas destructivas involucra el daño del material, la destrucción de la probeta o la pieza empleada en la determinación correspondiente, por lo que podemos concluir que los ensayos destructivos son la aplicación de métodos físicos directos que alteran de forma permanente las propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales de un material, parte o componente sujeto a inspección.

Este tipo de pruebas siempre ha sido necesario para comprobar si las características de un material cumplen con lo especificado durante el diseño. Debe observarse que estas pruebas no se pueden aplicar a todas las partes o componentes, ya que serían destruidos y perderían su utilidad.

Sin embargo, el desarrollo de nuevas tecnologías y la optimización de los productos o los requisitos de

seguridad, como es el caso de la industria aeroespacial, la nucleoelectrónica o la petroquímica, impusieron también nuevas condiciones de inspección, en las cuales se estableció la necesidad de verificar hasta en un 100% los componentes críticos; lo que planteo una severa dificultad a los departamentos de calidad, hasta que iniciaron el empleo de otras técnicas de inspección, diferentes a la visual, con las cuales se medía la integridad de los componentes sin destruirlos. Esto fue posible al medir alguna otra propiedad física del material y que estuviera relacionada con las características críticas del componente sujeto a inspección; es decir, se inició la aplicación de las pruebas no destructivas, las cuales actualmente son de uso común en casi todos los sectores industriales.

Las pruebas no destructivas son la aplicación de métodos físicos indirectos, como es la transmisión del sonido, la opacidad al paso de la radiación, etc., y que tienen la finalidad de verificar la sanidad de las piezas examinadas. No obstante, cuando se aplica este tipo de pruebas no se busca determinar las propiedades físicas inherentes de las piezas, sino verificar su homogeneidad y continuidad. Por lo tanto, estas pruebas no sustituyen a los ensayos destructivos, sino que más bien los complementan.

Las pruebas no destructivas, como su nombre lo indica, no alteran de forma

permanente las propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales de un material. Por ello no inutilizan las piezas que son sometidas a los ensayos y tampoco afectan de forma permanente las propiedades de los materiales que las componen.

De acuerdo con su aplicación, los Ensayos no Destructivos, nombre más comúnmente usado para las pruebas no destructivas, se dividen en:

- **Técnicas de Inspección Superficial.**
- **Técnicas de Inspección Volumétrica.**
- **Técnicas de Inspección de la Integridad o hermeticidad.**

A continuación se presenta la división arriba propuesta para clasificar a los Ensayos no Destructivos. Cada técnica reporta ventajas y limitaciones, por lo que es conveniente enfatizar sus campos de aplicación.

### **TECNICAS DE INSPECCION SUPERFICIAL.**

Mediante éstas sólo se comprueba la integridad superficial de un material. Por tal razón su aplicación es conveniente cuando es necesario detectar discontinuidades que están en la superficie, abiertas a ésta o a profundidades menores de 3 mm. Este tipo de inspección se realiza por medio

de cualquiera de los siguientes Ensayos no Destructivos:

- Inspección Visual (VT).
- Líquidos Penetrantes (PT).
- Partículas Magnéticas (MT).
- Electromagnetismo (ET).

### **TECNICAS DE INSPECCION VOLUMETRICA.**

Su aplicación permite conocer la integridad de un material en su espesor y detectar discontinuidades internas que no son visibles en la superficie de la pieza. Este tipo de inspección se realiza por medio de cualquiera de los siguientes ensayos:

- Radiografía Industrial (RT).
- Ultrasonido Industrial (UT).
- Radiografía Neutrónica (NT).
- Emisión Acústica (AET).

### **TECNICAS DE INSPECCION DE LA INTEGRIDAD O DE LA HERMETICIDAD.**

Son aquéllas en la que se comprueba la capacidad de un componente o de un recipiente para contener un fluido (líquido o gaseoso) a una presión superior, igual o inferior a la atmosférica, sin que existan pérdidas apreciables de presión o de volumen del fluido de prueba en un periodo previamente establecido. Este tipo de inspección se realiza empleando cualquiera de los siguientes ensayos:

- Pruebas por cambio de presión.
  - Hidrostática.
  - Neumática.
- Pruebas por pérdidas de fluido.
  - Cámara de burbujas.
  - Detector de halógenos.
  - Espectrómetro de masas.
  - Detector ultrasónico.

### **VENTAJAS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.**

Los Ensayos no Destructivos pueden ser usados en cualquier paso de un proceso productivo, pudiendo aplicarse por ejemplo:

Durante la recepción de las materias primas que llegan al almacén; para comprobar la homogeneidad, la composición química y evaluar ciertas propiedades mecánicas.

Durante los diferentes pasos de un proceso de fabricación; para comprobar si el componente esta libre de defectos que pueden producirse por un mal maquinado, un tratamiento térmico incorrecto o una soldadura mal aplicada.

En la inspección final o de liberación de productos terminados; para garantizar al usuario que la pieza cumple o supera sus requisitos de aceptación; que la parte es del material que se había prometido o que la parte

o componente cumplirá de manera satisfactoria la función para la que fue creada.

En la inspección y comprobación de partes y componentes que se encuentran en servicio; para verificar que todavía pueden ser empleados de forma segura; para conocer el tiempo de vida remanente o mejor aún, para programar adecuadamente los paros de mantenimiento y no afectar el proceso productivo.

- Debido a que no se alteran las propiedades del material y por lo tanto no existen desperdicios, con el empleo de los Ensayos no Destructivos sólo hay pérdidas cuando se detectan piezas defectuosas.

- Este tipo de inspección es muy rentable cuando se inspeccionan partes o componentes críticos, en los procesos de fabricación controlada o en la producción de piezas en gran escala.

## **LIMITACIONES DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

- La primera limitación a la que se enfrentan los usuarios de este tipo de pruebas es que en algunos casos la inversión inicial es alta, pero puede ser justificada si se analiza correctamente la relación costo-beneficio, especialmente en lo referente a tiempos muertos en las líneas productivas. Un ejemplo de esto es que los END

aplicados por la industria norteamericana sólo representan el 0.03% del precio al consumidor de un producto tan caro y delicado como son las partes aeronáuticas o los componentes nucleares.

- Otra limitación es que la propiedad física a controlar es medida de forma indirecta; adicionalmente, es evaluada cualitativamente o por comparación. Esta limitante puede ser superada si se preparan patrones de comparación o referencia que permitan una calibración correcta de los sistemas de inspección

- Cuando no existen procedimientos de inspección debidamente preparados y calificados o cuando no se cuenta con patrones de referencia o calibración adecuados, una misma indicación puede ser interpretada y ponderada de forma diferente por dos o más inspectores.

- Si bien los ensayos no destructivos son relativamente fáciles de aplicar, se requiere que el personal que los realice haya sido debidamente capacitado y calificado y que cuente con la experiencia necesaria a fin de que se interpreten y evalúen correctamente los resultados y se evite el desperdicio de material o las pérdidas de tiempo por sobreinspección.

## **BENEFICIOS DEL EMPLEO DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.**

Antes de mencionar los beneficios de la aplicación de los END, es conveniente aclarar que éstos sólo deben ser parte de un buen programa de aseguramiento de calidad y que la información que de ellos se obtenga, si no es analizada y aplicada en medidas de tipo preventivo para evitar la repetición de los problemas, no reducirá los costos de producción y en un momento dado sí aumentaría los costos de inspección.

El primer beneficio que se puede observar es que aplicar correctamente los Ensayos no Destructivos y combinarlos con un buen análisis estadístico contribuye a mejorar el control del proceso de fabricación de una parte, componente o servicio; también ayuda a mejorar la productividad de una planta, al prevenir paros imprevistos por falla de un componente crítico; además de ayudar a programar los planes de mantenimiento, lo que reduce el tiempo y el costo de la reparación.

También es importante mencionar que estos métodos, cuando se aplican como parte de la inspección preventiva reducen notablemente los costos de reparación o reproceso, pero sobre todo ayudan a ahorrar tiempo y recursos que de otra forma se desperdiciarían en una pieza que

finalmente puede tener un costo de producción muy superior al presupuestado

Actualmente en los países desarrollados, la combinación de la inspección no destructiva con otras actividades del programa de aseguramiento de calidad ayuda a mantener un nivel de calidad uniforme en el producto final, lo que mejora la competitividad de sus productos en el mercado nacional e internacional.

Otro beneficio que normalmente no contemplan muchas empresas es que al emplear los END como una herramienta auxiliar del mantenimiento industrial, se tiene una mejor evaluación de las partes y componentes en servicio; lo que permite optimizar la planeación del mantenimiento correctivo. La aplicación de los END en la industria norteamericana evita pérdidas del orden de 2% del PIB de ese país.

Actualmente en la fabricación de bienes de capital de servicio especializado, la aplicación de los ensayos no destructivos puede ser requerida por un contrato o por los códigos y regulaciones nacionales o internacionales aplicables al producto; por lo que la empresa que cuente con un sistema de inspección no destructiva podrá cumplir más fácilmente requisitos de calidad más estrictos.

## **SELECCION DEL ENSAYO NO DESTRUCTIVO ADECUADO.**

Si bien las pruebas de un grupo pueden ser intercambiadas para aumentar la velocidad de la inspección o aumentar la sensibilidad en la detección de discontinuidades, no es recomendable sustituir las prueba de un grupo con las de otro.

Por ejemplo, las pruebas de Inspección Volumétrica tienen limitaciones cuando se intenta encontrar defectos cercanos a la superficie, como es el caso del campo muerto del haz ultrasónico o la falta de definición (penumbra) en una radiografía.

Por otra parte las partículas magnéticas o el electromagnetismo tienen grandes limitaciones en cuanto a su sensibilidad cuando aumenta el espesor de la muestra que se inspecciona, ya que la intensidad del campo magnético generado o la corriente inducida decrecen de forma cuadrática o exponencial con la profundidad, representada por el espesor del material.

Para complementar lo anterior, las pruebas de hermeticidad no sustituyen de modo alguno a las demás, ya que tan sólo aseguran que un recipiente pueda contener un fluido sin que existan pérdidas apreciables del mismo; por lo que muy posiblemente en una primera prueba el recipiente

pase con éxito; pero de existir un defecto no detectado con anterioridad por los demás ensayos, al paso del tiempo éste podría tener tendencia al crecimiento hasta convertirse en una falla del material del recipiente, con consecuencias tal vez desastrosas y la posible pérdida no sólo de bienes materiales, sino también de vidas humanas.

Finalmente, para efectuar una aplicación correcta de los ensayos no destructivos, debe seleccionarse previamente con un esquema a seguir para capacitar, calificar y certificar al personal que realiza este tipo de inspecciones.

Dicha actividad es importante, ya que no basta contar con el equipo adecuado si no se cuenta con un personal debidamente preparado para operarlo y que pueda obtener resultados confiables, reproducibles y repetitivos. Por lo antes mencionado es conveniente comprender que la capacitación del personal que realiza las inspecciones es una inversión a corto plazo y que evitará la sobreinspección, el desperdicio de materiales o la inadecuada aplicación de los equipos de inspección.

Una vez concluida la presentación en forma general de los Ensayos no destructivos, de los aspectos referentes a las aplicaciones, ventajas, beneficios y limitaciones de éstos, se

dará inicio a una breve descripción de los END más comúnmente empleados en México y del proceso y criterios para la capacitación, calificación y certificación de quienes aplican estas técnicas.

Sin embargo, debido a la extensión y naturaleza del presente texto no se hará el estudio de los sistemas de Inspección de la Integridad o Hermeticidad, pues a causa de su prolijidad, se encuentra en preparación un texto específico sobre la materia.



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM  
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

# CURSOS ABIERTOS

## DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

MODULO III DISEÑO DE RECIPIENTES A  
PRESIÓN, PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS Y  
VÁLVULAS DE SEGURIDAD

CLAVE CA-227

TEMA

TÉCNICAS DE INSPECCION SUPERFICIAL  
DEL 17 AL 21 DE MAYO

**EXPOSITOR: ING. ORLANDO RAFAEL RIVERA MENDOZA**  
**PALACIO DE MINERÍA**  
**MAYO DE 2004**

## **CAPITULO II**

---

### **TECNICAS DE INSPECCION SUPERFICIAL**

**S**on aquéllas en la que sólo se comprueba la integridad superficial de un material y con las que se detectan discontinuidades que están abiertas a la superficie, en ésta o a profundidades menores de 3 mm. Los métodos de Inspección Superficial por lo general se aplican en combinación, ya que la inspección visual y los líquidos penetrantes detectarán cualquier discontinuidad abierta a la superficie, pero las partículas magnéticas y el electromagnetismo detectarán discontinuidades subsuperficiales, siempre y cuando no sean nada profundas. Las técnicas de Inspección Superficial que más frecuentemente se emplean son:

- INSPECCION VISUAL (VT).
- PARTICULAS MAGNETICAS (MT).
- LIQUIDOS PENETRANTES (PT).
- ELECTROMAGNETISMO (ET).

#### **INSPECCION VISUAL**

Esta es un técnica que requiere de una gran cantidad de información acerca de las características de la pieza a ser examinada, para una acertada interpretación de las posibles indicaciones. Está ampliamente demostrado que cuando se aplica correctamente como inspección preventiva, detecta problemas que pudieran ser mayores en los pasos subsecuentes de producción o durante el servicio de la pieza. Aun cuando para ciertas aplicaciones no es recomendable, es factible detectar muchos problemas en casos determinados, mediante la inspección realizada por una persona bien entrenada.

Una persona con "ojo entrenado" es alguien que ha aprendido a ver las cosas en detalle. Al principio todos asumimos que es fácil adquirir esta

habilidad; sin embargo, requiere de ardua preparación y experiencia.

### **REQUISITOS DE LA INSPECCIÓN VISUAL.**

Como ya se mencionó en la *Introducción*, un requisito para los individuos que realizan o se seleccionan para realizar la Inspección Visual es un examen de la agudeza visual cercana y lejana cada 6 o 12 meses y de ser necesario por prescripción médica el uso de lentes por parte del Inspector, éste deberá emplearlos para toda labor de inspección e interpretación de indicaciones. Cabe aclarar que este examen únicamente verifica que la persona posee una vista con cierto nivel de sensibilidad.

Para algunas actividades de inspección, el examen de discriminación cromática se aplica a fin de comprobar que el inspector pueda detectar variaciones de color o tonos cromáticos, ya que en algunos casos es crítica la detección de pequeñas variaciones de un tono de color o la apreciación de un color en particular, principalmente en aplicaciones de la industria aeronáutica o nuclear; dicho examen sólo se realiza una vez ya que el daltonismo es una alteración genética y no es corregible.

El siguiente paso en el entrenamiento y actualización del personal que realiza la inspección visual es aprender qué

tipo de discontinuidades pueden detectarse visualmente y cuáles son las que aparecen con más frecuencia a partir de ciertas condiciones. Este punto involucra el conocimiento que tenga el Inspector en cuanto a la historia previa de la pieza que está en examen.

### **HERRAMIENTAS PARA LA INSPECCIÓN VISUAL.**

Tal vez uno de los mayores problemas de la aplicación de la Inspección Visual es enseñar y hacer comprender a los Inspectores que no se puede ver todo tan sólo con la observación directa y que en algunas ocasiones es necesario saber leer planos y dibujos técnicos; o bien, saber emplear diferentes instrumentos que pueden ser equipos de metrología dimensional o de observación directa; ya que actualmente existe una amplia variedad de instrumentos para ayudar a la Inspección Visual y que son:

1. Lentes de aumento o lupas.- Normalmente tienen aumentos de 5x y de 10x, como máximo para los estudios llamados macroscópicos. Sus ventajas son tener un costo bajo y que abarcan una amplia área de inspección.

2. Sistemas de interferencia cromática o con luz polarizada.- Consisten en emplear luz polarizada sobre una superficie reflejante y por medio de los patrones cromáticos formados son

determinadas las zonas con discontinuidades, como en el caso de la inspección de porcelanas o recubrimientos vidriados.

3. Endoscopios (Boroscopios).- Este sistema ha sido ampliamente difundido en las nuevas técnicas de Inspección Visual, principalmente porque permiten la observación del interior de una parte o componente sin desarmar el equipo. Debido a su importancia dentro de la Inspección Visual, a continuación se hará una descripción más detallada de estos instrumentos y su desarrollo tecnológico.

#### Endoscopios.

En este tipo de herramientas existen diferentes alternativas que varían de acuerdo al instrumento:

- Endoscopios rígidos.
- Endoscopios flexibles.
- Endoscopios remotos.

Por otra parte, los avances tecnológicos han permitido:

- La adaptación de sistemas de gran iluminación por medio de fibras ópticas.

- El empleo de sistemas de video para el registro permanente de la inspección y de sistemas cromáticos (a colores) para una mejor inspección de interiores.

- La automatización del proceso por medio del empleo de pequeños robots o unidades de control remoto y de sondas.

Debe hacerse la aclaración de que la Inspección Visual, además de ser el método menos costoso, puede también producir grandes ahorros.

La tecnología actual ha permitido el desarrollo de sistemas de Inspección Visual de muy alta calidad y por este motivo se describirá brevemente la historia y aplicaciones de los endoscopios.

Este tipo de instrumento antiguamente fue llamado boroscopio, del inglés *bore* (hoyo) y *scope* (ver u observar); esto se debe a que en sus inicios los endoscopios fueron empleados para inspeccionar el interior de los cañones de artillería o los rifles. Para evitar este barbarismo, actualmente en español o inglés se les llama endoscopios, del griego *endos* (dentro de) y *scopeos* (ver).

En 1806 se creó el primer endoscopio de aplicación médica y consistía de un tubo con un juego de espejos y una vela, que permitían observar los órganos internos de los pacientes. En 1867 este dispositivo fue mejorado y tuvo algunas aplicaciones industriales.

En 1879, el Dr. Nitze, en colaboración con Beneche (un optometrista) y Leiter

(un fabricante de instrumentos), diseñó el primer endoscopio que empleaba una lente para focalizar la imagen y que recibió el nombre de cistoscopio. Posteriormente, en 1928, el Sr. Baird obtuvo una patente industrial por la primera aplicación de las fibras ópticas para la transmisión de imágenes. Dos años más tarde, C. W. Hansell obtuvo una patente por la invención que consistía en el empleo de las fibras ópticas para transmitir la luz.

Con estos avances, se fabricaron de forma comercial los primeros endoscopios; sin embargo, eran rígidos, lo que limitaba sus aplicaciones tanto en el campo industrial como en el médico y no fue sino hasta 1955 que los doctores Curtiss y Hirschowitz lograron desarrollar y mejorar el primer endoscopio clínico flexible, que empleaba fibras ópticas como medio de transmisión de la luz y de la imagen. Este desarrollo tecnológico pronto tuvo aplicaciones industriales en la inspección de equipos que no son fáciles de desarmar, como es el caso de las turbinas.

Los primeros endoscopios flexibles fueron de gran utilidad, por ser lo suficientemente versátiles para la inspección de partes interiores de maquinaria, con lo que se eliminaba pérdida de tiempo al no ser necesario desarmar y armar equipos complejos sólo para conocer su estado interior; sin embargo, estos endoscopios

tenían el problema de que la imagen obtenida no era del todo clara y nítida, como la lograda con los endoscopios rígidos, motivo por el cual, para realizar un examen confiable, se requería de al menos dos endoscopios: uno rígido con lentes ópticas y otro flexible con fibras ópticas.

Hasta este punto se había eliminado la mayoría de los problemas técnicos de los nuevos instrumentos, pero persistía el problema de la fatiga visual del inspector. Así que la siguiente generación de endoscopios adicionaron el empleo de las cámaras y monitores de video. Estos primeros equipos eran muy voluminosos, altamente dependientes de la iluminación y sólo permitían imágenes de baja resolución en blanco y negro

Las limitantes principales para mejorar la imagen eran dos: el sistema de iluminación, que fue mejorado empleando luz laser o los diodos luminiscentes (LED's); la otra limitante era el sistema de registro, ya que las fibras ópticas y las lentes no daban la calidad de imagen deseada.

En 1970, el Dr. Boyle desarrolló un semiconductor de silicio capaz de registrar una imagen y convertirla en una señal, que podía ser grabada por medios digitales o analógicos, obteniéndose así el primer sistema de registro de imágenes al estado sólido, conocido como CCD (*Charge Coupled Device*).

La combinación de todos estos desarrollos tecnológicos en los últimos 30 años ha permitido la creación de un sistema de Inspección Visual por endoscopía muy superior a sus predecesores, especialmente en lo referente a la calidad de la imagen que se tiene que interpretar.

Hoy en día, si se planea la adquisición de un endoscopio, debe tomarse en cuenta que es una herramienta que durante los próximos 10 años no deberá volverse obsoleta y que para ello debe contar con los siguientes elementos como parte integral del instrumento:

1. El sistema de registro primario de la imagen debe ser por medio de CCD; los sistemas de fibra óptica y lente no son recomendables para la digitalización de imágenes.

2. La presentación de la imagen debe ser preferentemente digitalizada; esto asegura una mejor calidad de las pequeñas indicaciones, cuidando al mismo tiempo que la pantalla de video tenga la más alta resolución posible (pixeles).

3. Los sistemas de video deben ser preferentemente cromáticos; esto permite conocer mejor en términos generales el estado del equipo y maquinaria sujetos a inspección.

4. Los sistemas de almacenamiento (grabado de la imagen) deben ser compatibles con los nuevos sistemas de análisis de imagen por digitalización (empleo de computadoras).

En la figura 1 se muestra un endoscopio de la nueva generación que puede realizar las funciones antes citadas.



**FIGURA No. 1**  
Inspección de una parte aeronáutica, empleando un endoscopio digital.

### **VENTAJAS DE LA INSPECCIÓN VISUAL.**

- La Inspección Visual se emplea en cualquier etapa de un proceso productivo o durante las operaciones de mantenimiento preventivo o correctivo.

- Muestra las discontinuidades más grandes y generalmente señala otras que pueden detectarse de forma más precisa por otros métodos, como son

líquidos penetrantes, partículas magnéticas o electromagnetismo.

- Puede detectar y ayudar en la eliminación de discontinuidades que podrían convertirse en defectos.

- El costo de la Inspección Visual es el más bajo de todos los Ensayos no Destructivos, siempre y cuando sea realizada correctamente.

### **LIMITACIONES DE LA INSPECCIÓN VISUAL.**

- La calidad de la Inspección Visual depende en gran parte de la experiencia y conocimiento del Inspector.

- Está limitada a la detección de discontinuidades superficiales.

- Cuando se emplean sistemas de observación directa, como son las lupas y los endoscopios sencillos, la calidad de la inspección dependerá de la agudeza visual del Inspector o de la resolución del monitor de video.

- La detección de discontinuidades puede ser difícil si las condiciones de la superficie sujeta a inspección no son correctas.

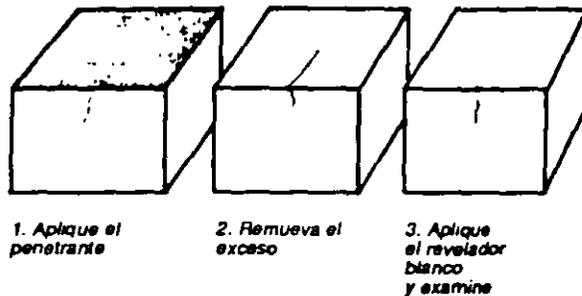
### **LIQUIDOS PENETRANTES.**

La inspección por Líquidos Penetrantes es empleada para detectar e indicar discontinuidades que afloran a la superficie de los materiales examinados.

En términos generales, esta prueba consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente a la superficie a examinar, el cual penetra en las discontinuidades del material debido al fenómeno de capilaridad. Después de cierto tiempo, se remueve el exceso de penetrante y se aplica un revelador, el cual generalmente es un polvo blanco, que absorbe el líquido que ha penetrado en la discontinuidades y sobre la capa de revelador se delinea el contorno de ésta.

Actualmente existen 18 posibles variantes de inspección empleando este método; cada una de ellas ha sido desarrollada para una aplicación y sensibilidad específica. Así por ejemplo, si se requiere detectar discontinuidades con un tamaño de aproximadamente medio milímetro (0.012" aprox.), debe emplearse un penetrante fluorescente, removible por posemulsificación y un revelador seco. Por otra parte, si lo que se necesita es detectar discontinuidades mayores a 2.5 mm (0.100" aprox.), conviene emplear un penetrante contrastante, lavable con agua y un revelador en suspensión acuosa.

La figura 2 ilustra el principio de la inspección por líquidos penetrantes.



**FIGURA No. 2**  
Principio de la inspección por líquidos penetrantes.

### REQUISITOS DE LA INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES.

Antes de iniciar las pruebas de Líquidos Penetrantes, es conveniente tener en cuenta la siguiente información:

1. Es muy importante definir las características de las discontinuidades y el nivel de sensibilidad con que se las quiere detectar, ya que si son relativamente grandes o se quiere una sensibilidad entre baja y normal, se recomienda emplear penetrantes visibles; pero si la discontinuidad es muy fina y delgada o se requiere de una alta o muy alta sensibilidad, es preferible emplear los penetrantes fluorescentes.

2. Otro factor de selección es la condición de la superficie a

inspeccionar; ya que si es una superficie rugosa o burda, como sería el caso de una unión soldada o una pieza fundida, se debe emplear un penetrante líquido removible con agua. Pero si la superficie es tersa y pulida, es preferible emplear un penetrante removible con solvente. Finalmente cuando se requiere una inspección de alta calidad o con problemas de sensibilidad, se puede emplear un penetrante posemulsificable.

3. Si el material a examinar es acero inoxidable, titanio o aluminio (para componentes aeronáuticos, por ejemplo) o aleaciones de níquel (monel), entonces los penetrantes deberán tener un control muy rígido de contaminantes, como son los compuestos halogenados (derivados del fluor, cloro, bromo, iodo) o de azufre (sulfatos o sulfuros), ya que si quedan residuos de ellos, pueden ocasionar fracturas o fragilidad del material. Todos los proveedores de productos de alta calidad proporcionan un certificado de pureza de sus productos sin cargo adicional.

4. Si se trabaja bajo normas internacionales (Código ASME, API, AWS) o de compañías (Bell, Pratt & Whitney o GE), los líquidos deben ser de los proveedores de las listas de proveedores aprobados o confiables publicados por ellos. En caso necesario, se solicitará al proveedor una lista de qué normas, códigos o

especificaciones de compañías cubren sus productos.

5. Una vez seleccionado uno o varios proveedores, nunca se deberán mezclar sus productos; como por ejemplo, emplear el revelador del proveedor A con un penetrante del proveedor B o un penetrante de una sensibilidad con un revelador de otra sensibilidad, aunque ambos sean fabricados por el mismo proveedor.

### **SECUENCIA DE LA INSPECCIÓN.**

Para la inspección por Líquidos Penetrantes, se deben realizar varias operaciones previas, las cuales varían poco y dependen del tipo de penetrante que se emplee:

#### **Limpieza Previa.**

En toda pieza o componente que se inspeccione por este método, se deben eliminar de la superficie todos los contaminantes, sean éstos óxidos, grasas, aceite, pintura, etc., pues impiden al penetrante introducirse en las discontinuidades. Normalmente la limpieza previa se realiza en dos pasos; el primero es propiamente una prelimpieza en la que se pueden emplear medios químicos o mecánicos para remover los contaminantes de la superficie; y el segundo, que consiste en la limpieza con un solvente (removedor) que sea afín con el penetrante que se empleará en la inspección. Todo esto con el fin de que las posibles indicaciones queden

limpias y permitan la fácil entrada del penetrante.

#### **Aplicación Del Penetrante.**

El penetrante se aplica por cualquier método que humedezca totalmente la superficie que se va a inspeccionar, dependiendo del tamaño de las piezas, de su área y de la frecuencia del trabajo. Se puede seleccionar el empleo de rociado, inmersión, brocha, etc.; cualquiera que sea la selección, ésta debe asegurar que el penetrante cubra totalmente la superficie.

Actualmente existen diferentes clases de penetrantes, que tienen aplicaciones bien definidas; por ejemplo, si la superficie es rugosa, se debe emplear de preferencia un penetrante que sea lavable con agua; si la superficie es tersa, se puede usar un penetrante removible con solvente y si es necesaria una gran sensibilidad pero con una fácil remoción, debe emplearse un penetrante posemulsificable.

Otra variable importante a tomar en cuenta es la sensibilidad, ya que si hace falta una alta sensibilidad (detección de fracturas muy pequeñas o cerradas), debe aplicarse un penetrante fluorescente de alta luminosidad o si se desea una sensibilidad normal, debe emplearse un penetrante contrastante (visible).

Por otra parte, el tiempo de penetración es una variable crítica en este tipo de inspecciones. Un tiempo

muy breve no permite que la concentración del penetrante en las discontinuidades sea la óptima; por este motivo el tiempo que debe permanecer el penetrante en la superficie sujeta a inspección debe determinarse experimentalmente, aún cuando en las normas existen tiempos mínimos recomendados. El tiempo de penetración puede variar desde 5 minutos para discontinuidades relativamente grandes, hasta 45 minutos para discontinuidades muy cerradas o pequeñas, como es el caso de las fracturas por fatiga.

### Penetrantes.

**Penetrantes removibles con agua.**- Como su nombre lo indica, se retiran de la superficie con agua, la cual no debe exceder de una temperatura de 45 grados centígrados. El lavado puede realizarse por rociado de gota gruesa o con una mezcla de agua y aire a presión; en este último caso, la presión del rociado no debe ser superior a los 35 psi. Cualquiera que sea el método de lavado seleccionado, se debe asegurar que éste no se remueva el penetrante que se encuentre introducido en las discontinuidades.

**Penetrantes posemulsificables.**- Requieren de la aplicación de una sustancia para provocar que el penetrante se solubilice en el agua. Se pueden emplear emulsificantes hidrosolubles o liposolubles, dependiendo de la sensibilidad y de la

rapidez con la que se quiera realizar la inspección. Una vez que ha transcurrido el tiempo de emulsificación, el exceso de penetrante se lava de forma similar a como se hace con los penetrantes removibles con agua.

**Penetrantes removibles con solvente.**- Se retiran de la superficie empleando un material absorbente que puede ser tela o papel, con la condición que no dejen pelusa y en caso necesario, se puede humedecer el material absorbente con el removedor que se emplea para la limpieza previa.

Una recomendación muy importante es la de evitar lavar la superficie con el removedor; además de ser un desperdicio de este material, el removedor disuelve y elimina al penetrante que se introdujo en las discontinuidades.

### **Eliminación Del Exceso De Penetrante.**

Consiste en la eliminación del exceso de penetrante que no se introdujo en las discontinuidades. Esta etapa reviste gran importancia pues de ella depende en gran parte la sensibilidad del método.

### **Aplicación Del Revelador.**

La función del revelador es absorber o extraer el penetrante atrapado en las discontinuidades, aumentando o provocando la visibilidad de las

indicaciones. Existen varios tipos de reveladores cada uno de ellos con características diferentes.

**Reveladores secos.-** Sólo se recomiendan para los líquidos fluorescentes y tienen la ventaja de dejar una capa muy fina y en algunas ocasiones invisible; este tipo de revelador tiene la más alta resolución al formar las indicaciones. Su empleo se recomienda cuando no deben quedar residuos después de terminar la inspección

**Reveladores en suspensión.-** Pueden ser del tipo acuoso o no acuoso. Están compuestos de un material sólido con un tamaño controlado de partículas, las cuales se mantienen en suspensión mediante una agitación vigorosa.

**Revelador en suspensión acuosa.-** Se recomienda cuando la inspección se realiza empleando penetrantes removibles con agua, pero tienen el inconveniente de que son los reveladores con la más baja resolución. Estos reveladores se pueden aplicar por inmersión, seguidos de un secado; o por rociado y secado al aire.

**Reveladores en suspensión no acuosa.-** Son los más empleados y tienen la ventaja de una evaporación muy rápida, lo que permite la formación de indicaciones bastante claras y definidas. Conforme a las normas, es el revelador recomendado para los

penetrantes removibles con solvente. Estos reveladores generalmente se aplican por aspersion, con lo que se obtiene una capa uniforme.

**Reveladores en solución.-** Generalmente son soluciones acuosas y tienen la ventaja con respecto a los reveladores en suspensión de no necesitar de una agitación continua para mantener la solución homogénea. Se aplican por inmersión o por rociado, seguido de un secado al aire o en estufas.

#### Tiempo de revelado.

Cualquiera que sea el revelador empleado, éste debe permanecer sobre la superficie de la pieza aproximadamente el mismo tiempo que se dio de penetración; esto es con el fin de dar tiempo al revelador para que extraiga al penetrante de las discontinuidades y forme una indicación de buena calidad. Es conveniente aclarar que las discontinuidades grandes formarán indicaciones casi inmediatamente, pero las discontinuidades muy finas, pequeñas o cerradas, tardarán en hacerlo; por lo cual este tiempo de revelado no debe ser menor de la mitad del tiempo de penetración. Las pruebas de experimentación con diferentes tiempos de revelado son la mejor manera de establecer cuál es el tiempo de revelado óptimo para cada inspección en particular

### **Interpretación Y Evaluación De Las Indicaciones.**

Después de que ha transcurrido el tiempo de revelado, la pieza está lista para su evaluación. En esta etapa es importante considerar el tipo de iluminación, el cual se determina de acuerdo al proceso utilizado. Se emplea iluminación normal (luz blanca) de suficiente intensidad para el método de penetrante visible e iluminación ultravioleta (luz negra), para el método de penetrante fluorescente. La calidad de la inspección depende principalmente de la norma de aceptación, de la habilidad y de la experiencia del inspector para encontrar y evaluar las indicaciones presentes en la pieza.

### **Limpieza Final.**

Después de concluir la inspección, generalmente debe limpiarse la superficie de la pieza. Este paso puede realizarse mediante un enjuague con agua a presión, por inmersión o mediante un removedor. Por lo común, aquellas piezas que están sujetas a alta temperatura, pueden requerir que los residuos de penetrantes sean removidos de la superficie antes de someter la pieza a procesos posteriores, para asegurar que no exista reacción con el material.

En la página siguiente de este texto se encuentra el diagrama 1, que ilustra las etapas de prueba de cada uno de los sistemas descritos con anterioridad.

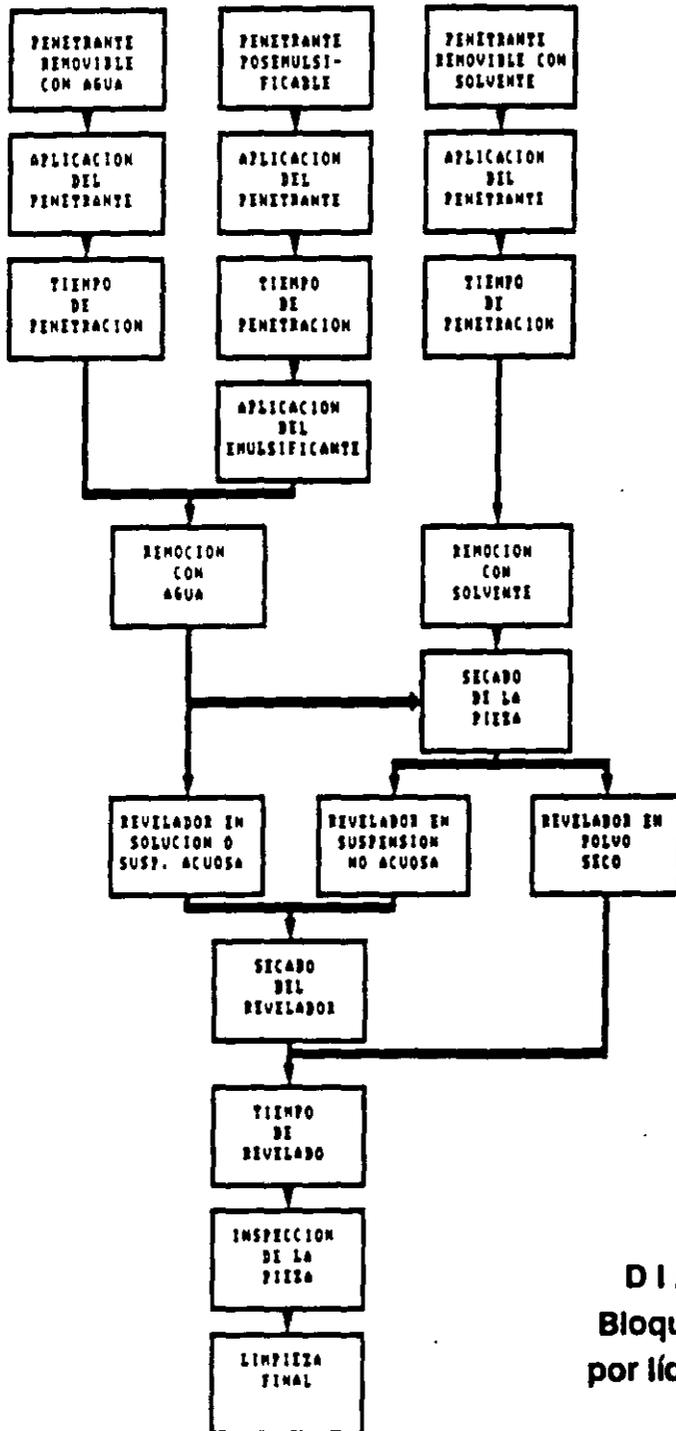
### **APLICACIONES.**

Las aplicaciones de los Líquidos Penetrantes son amplias y por su gran versatilidad se utilizan desde la inspección de piezas críticas, como son los componentes aeronáuticos, hasta los cerámicos como las vajillas de uso doméstico.

Muchas de las aplicaciones descritas son sobre metales, pero esto no es una limitante, ya que se pueden inspeccionar otros materiales, por ejemplo cerámicos vidriados, plásticos, porcelanas, recubrimientos electroquímicos. etc..

### **VENTAJAS DE LOS LÍQUIDOS PENETRANTES.**

- La inspección por Líquidos Penetrantes es extremadamente sensible a las discontinuidades abiertas a la superficie.
- La configuración de las piezas a inspeccionar no representa un problema para la inspección.
- Son relativamente fáciles de emplear.
- Brindan muy buena sensibilidad.
- Son económicos.
- Son razonablemente rápidos en cuanto a la aplicación, además de que el equipo puede ser portátil.
- Se requiere de pocas horas de capacitación de los Inspectores.



**DIAGRAMA 1**  
 Bloques de inspección  
 por líquidos penetrantes.

### **LIMITACIONES DE LOS LÍQUIDOS PENETRANTES.**

- Sólo son aplicables a defectos superficiales y a materiales no porosos.
- Se requiere de una buena limpieza previa a la inspección.
- No se proporciona un registro permanente de la prueba no destructiva.
- Los inspectores deben tener amplia experiencia en el trabajo.
- Una selección incorrecta de la combinación de revelador y penetrante puede ocasionar falta de sensibilidad en el método.

### **PARTICULAS MAGNÉTICAS.**

La inspección por Partículas Magnéticas permite detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos. Se selecciona usualmente cuando se requiere una inspección más rápida que con los líquidos penetrantes.

El principio del método es la formación de distorsiones del campo magnético o de polos cuando se genera o se induce un campo magnético en un material ferromagnético; es decir, cuando la pieza presenta una zona en la que existen discontinuidades perpendiculares a las líneas del campo magnético, éste se deforma o produce

polos. Las distorsiones o polos atraen a las partículas magnéticas, que fueron aplicadas en forma de polvo o suspensión en la superficie sujeta a inspección y que por acumulación producen las indicaciones que se observan visualmente de manera directa o bajo luz ultravioleta. La figura 3 muestra el principio del método por Partículas Magnéticas.



**FIGURA No. 3**  
Inspección por partículas magnéticas.

Actualmente existen 32 variantes del método, que al igual que los líquidos penetrantes sirven para diferentes aplicaciones y niveles de sensibilidad. En este caso, antes de seleccionar alguna de las variantes, es conveniente estudiar el tipo de piezas a inspeccionar, su cantidad, forma y peso, a fin de que el equipo a emplear sea lo más versátil posible; ya que con una sola máquina es posible efectuar al menos 16 de las variantes conocidas.

## **REQUISITOS DE LA INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.**

Antes de iniciar la inspección por Partículas Magnéticas, es conveniente tomar en cuenta los siguientes datos:

1. La planificación de este tipo de inspecciones se inicia al conocer cuál es la condición de la superficie del material y el tipo de discontinuidad a detectar. Así mismo deben conocerse las características metalúrgicas y magnéticas del material a inspeccionar; ya que de esto dependerá el tipo de corriente, las partículas a emplear y, en caso necesario, el medio de eliminar el magnetismo residual que quede en la pieza.

2. Si se trabaja bajo normas internacionales (Código ASME, API, AWS) o de compañías (Bell, Pratt & Whitney o GE), las partículas a emplear deben ser de los proveedores de las listas de proveedores aprobados o confiables publicados por ellas. En caso necesario, se solicita al proveedor una lista de qué normas, códigos o especificaciones de compañías satisfacen sus productos.

3. Al igual que en el caso de los líquidos penetrantes, una vez seleccionado uno o varios proveedores, nunca se deben mezclar sus productos, como puede ser el caso de emplear las partículas del proveedor A con un agente humectante del proveedor B o las partículas de

diferentes colores o granulometrías fabricadas por el mismo proveedor.

## **SECUENCIA DE LA INSPECCIÓN.**

Es importante destacar que con este método sólo pueden detectarse las discontinuidades perpendiculares a las líneas de fuerza del campo magnético. De acuerdo al tipo de magnetización, los campos inducidos son longitudinales o circulares. Además, la magnetización se genera o se induce, dependiendo de si la corriente atraviesa la pieza inspeccionada o si ésta es colocada dentro del campo generado por un conductor adyacente. Las figuras 4, 5, 6 y 7 muestran algunos tipos de magnetización.

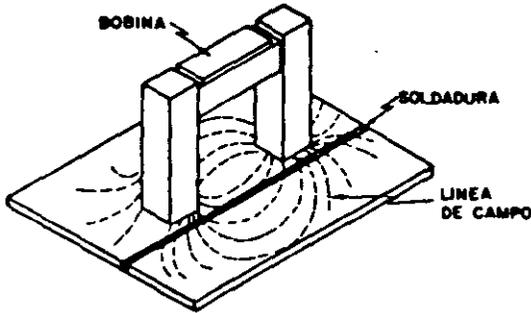
Las etapas básicas involucradas en la realización de una inspección por este método son:

### **Limpieza.**

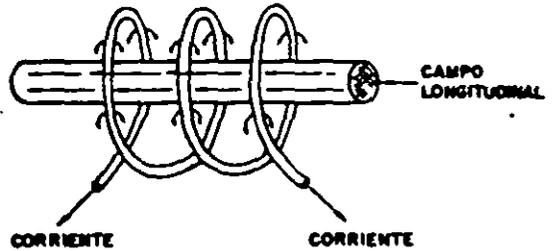
Todas las superficies a inspeccionar deben estar limpias y secas. La expresión "limpia" quiere decir que la superficie se encuentre libre de aceite, grasa, suciedad, arena, óxido, cascarilla suelta u otro material extraño, el cual pueda interferir con el ensayo.

### **Magnetización De La Pieza.**

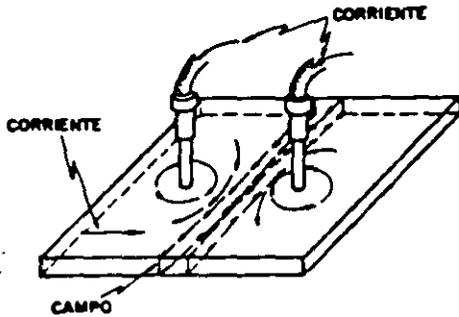
Este paso puede efectuarse por medio de un imán permanente, con un electroimán o por el paso de una corriente eléctrica a través de la pieza.



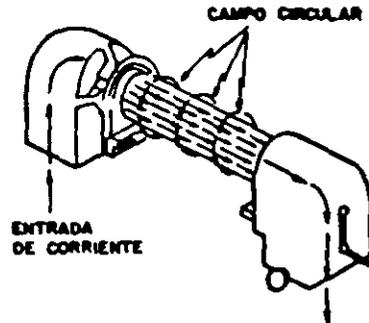
**FIGURA 4**  
Magnetización por yugo.



**FIGURA 5**  
Magnetización por bobina.



**FIGURA 6**  
Magnetización con puntas de contacto.



**FIGURA 7**  
Magnetización entre cabezales.

El tipo de magnetización a emplear depende de:

- El tipo de pieza.
- Las instalaciones existentes en la empresa.
- El tipo de discontinuidad.
- La localización de la misma.

Corriente de magnetización.

Se seleccionara en función de la localización probable de las discontinuidades; si se desea detectar sólo discontinuidades superficiales, debe emplearse la corriente alterna, ya que ésta proporciona una mayor densidad de flujo en la superficie y por lo tanto mayor sensibilidad para la

detección de discontinuidades superficiales; pero es ineficiente para la detección de discontinuidades subsuperficiales.

Si lo que se espera es encontrar defectos superficiales y subsuperficiales, es necesario emplear la corriente rectificada de media onda; ya que ésta presenta una mayor penetración de flujo en la pieza, permitiendo la detección de discontinuidades por debajo de la superficie. Sin embargo, es probable que se susciten dificultades para desmagnetizar las piezas.

**Magnetización lineal.**- La forma de magnetizar es también importante, ya que conforme a las normas comúnmente adoptadas, la magnetización con yugo sólo se permite para la detección de discontinuidades superficiales. Los yugos de AC o DC producen campos lineales entre sus polos y por este motivo tienen poca penetración.

Otra técnica de magnetización lineal es emplear una bobina (solenoides). Si se selecciona esta técnica, es importante procurar que la pieza llene lo más posible el diámetro interior de la bobina; problema que se elimina al enredar el cable de magnetización alrededor de la pieza. Entre mayor número de vueltas (espiras) tenga una bobina, presentará un mayor poder de magnetización.

**Magnetización circular.**- Cuando la pieza es de forma regular (cilíndrica), se puede emplear la técnica de cabezales, que produce magnetización circular y permite la detección de defectos paralelos al eje mayor de la pieza. Una variante de esta técnica es emplear contactos en los extremos de la pieza, que permiten obtener resultados similares. Otra forma de provocar un magnetismo circular es emplear puntas de contacto; pero sólo se recomienda su empleo para piezas burdas o en proceso de semi acabado. Se deben utilizar puntas de contacto de aluminio, acero o plomo para evitar los depósitos de cobre, que pudieran iniciar puntos de corrosión. Esta técnica permite cierta movilidad con los puntos de inspección, pudiéndose reducir la distancia hasta 7 cm entre los polos o aumentarse hasta 20 cm, con lo cual es factible inspeccionar configuraciones relativamente complicadas.

Para la inspección de piezas con alta permeabilidad y baja retentividad, como es el caso de los aceros al carbono o sin tratamiento térmico de endurecimiento, es recomendada la técnica de magnetización continua; esto es, mantener el paso de la energía eléctrica mientras se efectúa la inspección. Cuando las piezas son de alta retentividad, se acostumbra emplear el campo residual (magnetismo residual). En este caso se hace pasar la corriente de magnetización y posteriormente se aplican las partículas.

Cualquiera que sea la técnica seleccionada, siempre se debe procurar que la inspección se realice con dos magnetizaciones aproximadamente perpendiculares entre sí; por ello, en la práctica es común combinar dos o más métodos.

### **Aplicación De Las Partículas.**

**Tipo de partículas.-** Por término general, se prefieren las partículas secas cuando se requiere detectar discontinuidades relativamente grandes. Las partículas en suspensión se emplean preferentemente para detectar discontinuidades muy pequeñas y cerradas.

**Color de las partículas.-** Dependerá del contraste de fondo. De este modo se emplearán partículas de color oscuro (negras o azules) para piezas recién maquinadas y partículas de colores claros (grises o blancas) para piezas con superficies oscuras.

Las partículas de color rojo están en un punto intermedio y fueron desarrolladas para que su observación se facilite empleando una tinta de contraste blanco; esta tinta tiene un color y consistencia parecidos al del revelador no acuoso de los PT, pero con mayor poder de adherencia.

Cuando se desea una mayor sensibilidad en un método, es necesario emplear las partículas fluorescentes.

Las partículas se aplican conforme se realiza la inspección, para lo que existen dos prácticas comunes que son:

- Si se emplean partículas secas, primero se hace pasar la corriente de magnetización y al mismo tiempo se rocían las partículas.

- Si se emplean partículas en suspensión, primero se aplica la solución sobre la superficie a inspeccionar e inmediatamente se aplica la corriente de magnetización.

Generalmente se recomienda que la corriente de magnetización se mantenga durante el tiempo de aplicación de las partículas, ya que es cuando el campo magnético es más intenso y permite que las partículas sean atraídas hacia cualquier distorsión o fuga de campo, para así indicar la presencia de una posible discontinuidad.

### **Observación E Interpretación De Los Resultados.**

La inspección visual de las indicaciones se efectuará en parte durante la magnetización y continuará el tiempo necesario después de que el medio de examen se haya estabilizado, para explorar toda la zona de ensayo. Las discontinuidades quedarán indicadas por la retención de las partículas magnéticas. Con base en lo anterior, se puede determinar la

existencia de discontinuidades así como su forma, tamaño y localización.

### Desmagnetización.

Debido a que algunos materiales presentan magnetismo residual, en ocasiones es necesario efectuar la desmagnetización de la pieza para evitar que el magnetismo residual afecte el funcionamiento o el procesamiento posterior de la misma. Como regla general se recomienda que si se emplea corriente alterna, se desmagnetice con corriente alterna; de manera similar, si se magnetiza con corriente rectificada, se debe desmagnetizar con corriente rectificada.

La desmagnetización consiste en aplicar un campo magnético que se va reduciendo de intensidad y cambiando de dirección hasta que el magnetismo residual en el material queda dentro de los límites de aceptación.

### **VENTAJAS DE LA PARTICULAS MAGNÉTICAS.**

Con respecto a la inspección por líquidos penetrantes, este método tiene las siguientes ventajas:

- Requiere de un menor grado de limpieza.
- Generalmente es un método más rápido y económico.
- Puede revelar discontinuidades que no afloran a la superficie.

- Tiene una mayor cantidad de alternativas.

### **LIMITACIONES DE LAS PARTICULAS MAGNÉTICAS.**

- Son aplicables sólo en materiales ferromagnéticos.
- No tienen gran capacidad de penetración.
- El manejo del equipo en campo puede ser caro y lento.
- Generalmente requieren del empleo de energía eléctrica.
- Sólo detectan discontinuidades perpendiculares al campo.

### **ELECTROMAGNETISMO (CORRIENTES DE EDDY).**

El Electromagnetismo, anteriormente llamado Corrientes de Eddy o de Foucault, se emplea para inspeccionar materiales que sean electroconductores, siendo especialmente aplicable a aquéllos que no son ferromagnéticos. Esta técnica comienza a tener grandes aplicaciones en México, aun cuando ya tiene más de 50 años de desarrollo.

Como dato histórico, cabe mencionar que el efecto electromagnético es conocido desde mediados del siglo pasado. De hecho, el primer registro de aplicación como Ensayo no

Destructivo fue realizado por Hughes en 1879; esto fue 20 años antes del descubrimiento de los rayos X! El principal problema para su aplicación industrial como se conoce hoy en día esta técnica es la forma de poder representar las variaciones producidas por las corrientes inducidas en forma de coordenadas cartesianas, lo cual fue posible gracias a los estudios del Dr. Friederich Foster, quien diseñó el primer aparato de ET. Actualmente existen equipos mucho más sofisticados y versátiles que son de fácil aplicación y empleo.

La inspección por Corrientes de Eddy está basada en el efecto de inducción electromagnética. Su principio de operación es el siguiente:

Se emplea un generador de corriente alterna, con una frecuencia generalmente comprendida entre 500 Hz y 5,000 KHz. El generador de corriente alterna se conecta a una bobina de prueba, que en su momento produce un campo magnético. Si la bobina se coloca cerca de un material que es eléctricamente conductor, el campo magnético de la bobina, llamado primario, inducirá una corriente eléctrica en el material inspeccionado. A su vez, esta corriente generará un nuevo campo magnético (campo secundario), que será proporcional al primario, pero de signo contrario.

En el momento en que la corriente de la bobina se vuelva cero, el campo magnético secundario inducirá una nueva corriente eléctrica en la bobina. Este efecto se repetirá cuantas veces la corriente cambie de fase (al pasar de positivo a negativo y viceversa).

Es predecible que el electromagnetismo se generará entre conductores adyacentes en cualquier momento en que fluya una corriente alterna.

Por otra parte, las variaciones de la conductividad eléctrica, permeabilidad magnética, geometría de la pieza o de su estructura metalúrgica, causan modificaciones en la corriente inducida del material sujeto a inspección, lo que ocasionará que varíe su campo magnético inducido, hecho que será detectado por la variación del voltaje total que fluye en la bobina.

Antes de proseguir, es conveniente aclarar que para la detección de discontinuidades por Electromagnetismo, éstas deben ser perpendiculares a las corrientes de Eddy; adicionalmente, la indicación que se genere se modificará en la pantalla del instrumento de inspección, dependiendo de su profundidad y su forma.

Esta técnica cuenta con una amplia gama de alternativas, cada una con un objetivo específico de detección; por lo que antes de comprar un equipo o las sondas es necesario definir la forma del

material que se va a inspeccionar, la localización y el tipo de discontinuidades que se deseen detectar y evaluar, con el fin de tener el equipo más versátil y adecuado para la inspección.

### **REQUISITOS PARA LA INSPECCIÓN POR ELECTROMAGNETISMO.**

Al igual que en las técnicas ya descritas, antes de iniciar las pruebas con electromagnetismo, es conveniente revisar la siguiente información:

1. Conocer la forma, así como las características eléctricas, metalúrgicas y magnéticas del material a inspeccionar, ya que de esto dependerá el tipo de frecuencia, la forma de la sonda y la variante de la técnica a utilizar y, en caso necesario, el medio de eliminar las posibles interferencias que se produzcan en la pieza.

2. Si se trabaja bajo normas internacionales (Código ASME, API, AWS) o de compañías (Bell, Pratt & Whitney o GE), los instrumentos de inspección, así como las sondas deben ser de los proveedores de las listas de proveedores aprobados o confiables publicados por ellas. En caso necesario, se solicita al proveedor una lista de qué normas, códigos o especificaciones de compañías satisfacen sus productos.

3. Una vez seleccionado uno o varios proveedores, no es recomendable mezclar sus productos como puede ser el caso de emplear un instrumento del proveedor A con sondas y cables del proveedor B o bien, cables y sondas con diferentes características de diseño, aunque fueran fabricados por el mismo proveedor, sin antes hacer pruebas de calificación para asegurar que el sistema tiene la resolución y la sensibilidad correctas para la inspección a realizarse.

### **SECUENCIA DE LA INSPECCIÓN.**

Las etapas básicas de esta técnica de inspección son:

#### **Limpeza Previa.**

La importancia de este primer paso radica en que si bien los equipos de electromagnetismo pueden operar sin necesidad de establecer un contacto físico con la pieza, se pueden producir falsas indicaciones por la presencia de óxidos de fierro, capas de pintura muy gruesas o algún tipo de recubrimiento que sea conductor de la electricidad; en caso de que no se desee quitar las pinturas o recubrimientos, es recomendable que el patrón de calibración sea similar en el acabado superficial al de la parte sujeta a inspección.

#### **Selección De La Sonda De Prueba.**

Este paso es tan crítico como la selección del instrumento empleado, porque de acuerdo a la variable sujeta

a evaluación, se selecciona la sonda que se utilizará. Por este motivo, es necesario conocer las ventajas y limitaciones de cada configuración.

La capacidad de detección de una sonda es proporcional a:

- La magnitud de la corriente aplicada.
- La velocidad (frecuencia) de oscilación de la corriente.
- Las características de diseño de la sonda que incluyen:
  - Inductancia.
  - Diámetro del enrollamiento.
  - Longitud de la bobina.
  - Número de espiras.

Las sondas, según su arreglo se clasifican en dos grupos: **absolutas y diferenciales**.

**Sondas absolutas.**- Se consideran sondas absolutas (o bobinas absolutas) a aquéllas que realizan la medición sin necesidad de una referencia directa o de un patrón de comparación. Este tipo de arreglo tiene aplicaciones en la medición de la conductividad, permeabilidad, dimensiones o dureza de ciertos materiales.

Sus principales ventajas son:

- Responde a cambios bruscos o progresivos de la característica que se mide.

- Cuando existe más de una indicación, éstas son relativamente fáciles de separar (interpretación sencilla).

- Puede detectar la longitud real de una discontinuidad.

Las principales limitaciones de este tipo de arreglo son:

- Son muy sensibles a cambios de temperatura (térmicamente son inestables).

- Registran cualquier variación de la distancia entre la bobina y la pieza (falsas indicaciones).

**Sondas diferenciales.**- Consisten en dos o más bobinas conectadas entre sí, pero con diferente dirección de enrollamiento. Este arreglo se puede dividir en dos grupos:

1. **Bobinas diferenciales autorreferidas.**- Este tipo de arreglo cuenta con una bobina que es la que realiza las mediciones y en un punto cercano (normalmente dentro del cuerpo del portabobina) existe una segunda bobina con un núcleo (de ferrita o zirconio) y con el cual se balancea el equipo cuando se calibra el sistema.

2. **Bobinas diferenciales con referencia externa.**- Este arreglo tiene dos variantes. En el primer caso se coloca la bobina de referencia en el material que será el patrón de comparación y la bobina de medición

en el material que se desea inspeccionar; es decir, las bobinas se encuentran separadas físicamente.

En el segundo arreglo, las bobinas de medición y referencia se colocan sobre el mismo objeto. Este arreglo tiene la ventaja que se reducen los efectos de variaciones por cambios de separación o por características de la pieza que se está inspeccionando.

Las ventajas de las bobinas diferenciales son:

- Se reducen las indicaciones falsas provenientes de las variables no estudiadas.
- Se mejora la calidad de la indicación lograda.

Las limitaciones de las bobinas diferenciales son:

- Sólo se conoce el fin o el principio de una discontinuidad longitudinal.
- Se reduce la sensibilidad de la inspección.

Adicionalmente, las bobinas sirven para inspeccionar:

- Superficies exteriores, que pueden tener la forma de un lapicero o de un transductor.
- Superficies interiores y/o exteriores de partes tubulares con la forma de una bobina envolvente, en la que el núcleo es la pieza sujeta a inspección.

- Superficies exteriores y/o interiores de partes tubulares con la forma de una bobina en forma de cápsula y el material sujeto a inspección está en la parte exterior.

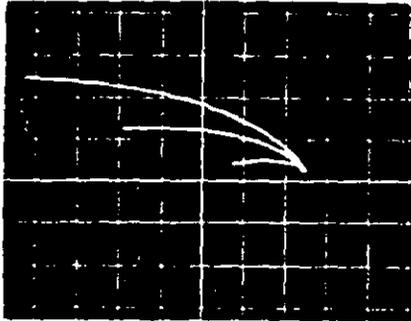
#### Frecuencia de prueba.

La siguiente variable a controlar, una vez seleccionada la bobina, es la selección de la frecuencia de inspección. Esta normalmente será referida al valor de una penetración normal (*std depth penetration*) del material; al tipo de discontinuidad que se espera localizar y a la profundidad a la que se encuentra.

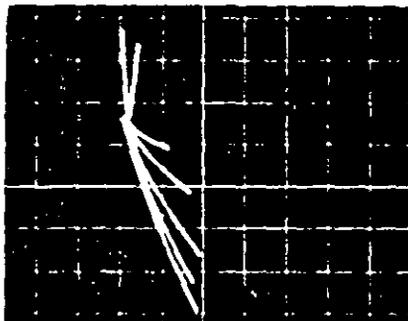
#### **Tipo De Calibración Que Se Desea Efectuar Y Selección Del Patrón De Calibración O De Referencia.**

Los instrumentos de pantalla osciloscópica pueden calibrarse para detectar fracturas superficiales como las que se muestran en la figura 8; o bien de cambios de conductividad eléctrica, como los mostrados en la figura 9 y, por último, cambios en el espesor de una pared, como las mostradas en la figura 10. En términos generales, la pantalla de rayos catódicos muestra cómo la corriente de Eddy es afectada por la pieza. Si existe una fractura o una costura en la pieza, la corriente de Eddy se reduce. Esto es, las discontinuidades alteran el patrón observado en la pantalla. Existe la presentación por medio de escalas analógicas, en las que una aguja indica el valor de la lectura en una escala calibrada previamente; y también a

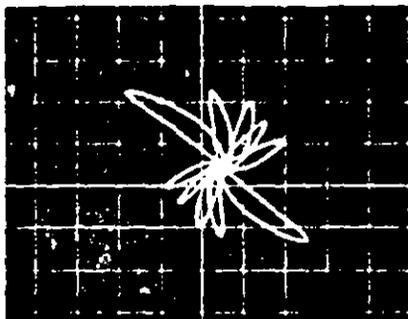
través de pantallas digitales, en las que se lee un valor, que posteriormente se correlaciona con la variable a medir.



**FIGURA No. 8**  
Indicaciones de fracturas.



**FIGURA No. 9**  
Indicaciones de conductividad.



**FIGURA No. 10**  
Indicaciones de defectos en tubos de pared delgada y diámetro pequeño.

### **Interpretación De Las Indicaciones.**

En este último paso se debe ser cuidadoso en la interpretación de los resultados, bien sean por observación en pantalla o por lectura, ya que un cambio en las propiedades del material también afecta la lecturas y por este motivo la interpretación la debe realizar un Inspector con amplia experiencia en este tipo de trabajos.

### **VENTAJAS DEL ELECTROMAGNETISMO.**

- Detecta y generalmente evalúa discontinuidades subsuperficiales en casi cualquier conductor eléctrico.

- En muchos casos, la inspección por Electromagnetismo puede ser completamente automatizada.

- Puesto que no requiere contacto directo, puede emplearse a altas velocidades para la inspección continua a bajo costo.

- Con esta técnica es posible clasificar y diferenciar materiales de aleaciones, tratamientos térmicos o estructura metalúrgica distintos, siempre y cuando presenten una diferencia significativa de conductividad.

- Es excelente para la inspección de productos tubulares, de preferencia fabricados con materiales no ferromagnéticos, como son los empleados en algunos tipos de intercambiadores de calor, condensadores o sistemas de aire acondicionado.

### LIMITACIONES DEL ELECTROMAGNETISMO.

- Debe eliminarse de la superficie cualquier tipo de contaminación o suciedad que sea magnética o eléctricamente conductora.

- Generalmente la bobina de prueba debe diseñarse en especial para una pieza específica.

- La profundidad de la inspección está limitada a aproximadamente 6 mm de penetración y depende de la frecuencia elegida para excitar el campo electromagnético y el tipo de material que se esté inspeccionando.

- Se requiere de gran entrenamiento para calibrar y operar adecuadamente el equipo de prueba.

- La señal es sensible a las diferencias en composición y estructura de material, lo que enmascara pequeños defectos o proporciona indicaciones falsas.

### RESUMEN.

Las técnicas de Inspección Superficial sirven para comprobar la integridad superficial de un material y detectar discontinuidades que están en la superficie o abiertas a ésta y a profundidades menores de 3 mm.,

Existen otras técnicas de Inspección Superficial, pero las más empleadas en México son:

Inspección Visual (VT).

Líquidos Penetrantes (PT).

Partículas Magnéticas (MT).

Electromagnetismo o Corrientes de Eddy (ET).

Cada método tiene variantes y particularidades que les permiten versatilidad en cuanto a su aplicación específica.

Debido a que los campos de acción de cada técnica son particulares y por tanto sus respectivos universos de trabajo, se recomienda combinarlas y, en caso necesario, complementarlas con algún método de Inspección Volumétrica compatible, para obtener resultados más confiables.

La Inspección Visual es el método de END más económico que existe; pero depende en gran medida de la experiencia por parte del Inspector y de la información con que se cuente acerca del material a examinar, para realizar una evaluación correcta.

La Inspección Visual consiste en la observación directa del material a examinar; o bien, utilizando instrumentos como las lentes de aumento o lupas, sistemas de interferencia cromática o luz polarizada y endoscopios.

Son 3 las formas de Inspección Visual.

Los Líquidos Penetrantes se utilizan para detectar discontinuidades que afloran a la superficie.

Existen 18 variantes de inspección por PT.

Su principio se basa en aplicar un líquido coloreado o fluorescente sobre la superficie a examinar, que penetra en las discontinuidades del material. Posteriormente se remueve el exceso de penetrante y se aplica una sustancia que absorbe el líquido que ha penetrado en las discontinuidades y que las hace obvias.

Según el tipo de discontinuidad que se pretende detectar y evaluar es el tipo de penetrante y revelador que son seleccionados para las pruebas.

Las Partículas Magnéticas detectan discontinuidades superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos.

Existen 32 posibilidades distintas de examen por Partículas Magnéticas.

Es un sistema más rápido que los PT y consiste en aplicar un sustancia ferromagnética en polvo (partículas magnéticas) sobre un material que ha sido magnetizado. Las zonas donde existe un discontinuidad en el material provocan distorsiones del campo magnético o de los polos magnéticos. Esas distorsiones atraen a las

partículas magnéticas y de este modo se crean las indicaciones virtuales de las discontinuidades, que posteriormente podrán interpretarse.

Al igual que los PT, existen Partículas Magnéticas visibles con luz normal y con luz ultravioleta, según las necesidades de examinación.

El Electromagnetismo, también conocido como Corrientes de Eddy, es principalmente aplicable a materiales no ferromagnéticos y se basa en el fenómeno de la inducción electromagnética.

Funciona a partir de un generador de corriente alterna, que se conecta a una bobina de prueba para crear un campo magnético primario. El campo magnético primario induce una corriente eléctrica en el material sujeto a inspección y esto provoca un campo magnético secundario, proporcional al primario, pero de signo contrario. En el momento en que la corriente de la bobina se vuelva cero, el campo magnético secundario inducirá una nueva corriente eléctrica en la bobina. Este efecto se repetirá cuantas veces la corriente cambie de fase (al pasar de positivo a negativo y viceversa).

Las variaciones de la conductividad eléctrica causan modificaciones en la corriente inducida del material sujeto a inspección; lo que ocasionará que varíe su campo magnético inducido, hecho que será detectado por la

variación del voltaje total que fluye en la bobina.

Como el resumen indica, existen más métodos de Inspección Superficial, como la Termografía Infrarroja, pero

sólo se han descrito y diferenciado los de más uso en la República Mexicana.

En el siguiente capítulo se tratará lo referente a los sistemas de Inspección Volumétrica.



FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM  
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

# CURSOS ABIERTOS

## DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

MODULO III DISEÑO DE RECIPIENTES A  
PRESIÓN, PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS Y  
VÁLVULAS DE SEGURIDAD

CLAVE CA-227

TEMA

TÉCNICAS DE INSPECCION VOLUMÉTRICA  
DEL 17 AL 21 DE MAYO

**EXPOSITOR: ING. ORLANDO RAFAEL RIVERA MENDOZA**  
**PALACIO DE MINERÍA**  
**MAYO DE 2004**

## CAPITULO III

---

### TECNICAS DE INSPECCION VOLUMETRICA

Son aquellas con las que se comprueba la integridad de un material en su espesor y se detectan discontinuidades internas que no son visibles en la superficie de la pieza. Este tipo de inspección se realiza por medio de cualquiera de los siguientes ensayos:

- RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL (RT).
- ULTRASONIDO INDUSTRIAL (UT).
- RADIOGRAFÍA NEUTRÓNICA (NT).
- EMISIÓN ACÚSTICA (AET).

Por regla general estos métodos deben considerarse como complementarios entre sí, ya que cada uno es especialmente sensible para apreciar un tipo determinado de indicaciones; por lo que la combinación correcta de las técnicas arriba mencionadas permitirá detectar y evaluar correctamente las indicaciones que pudieran encontrarse en el interior de un material.

A continuación serán descritos los métodos de Inspección Volumétrica

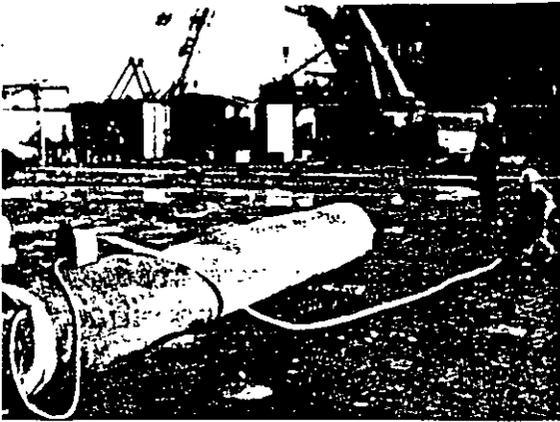
que se utilizan con más frecuencia en la República Mexicana, por tal razón no se analizará la Radiografía Neutrónica, pues esta técnica aun no se ha desarrollado dentro de nuestro país de forma importante.

#### RADIOGRAFIA INDUSTRIAL

El caso de la Radiografía Industrial (RT), como prueba no destructiva, es muy interesante; pues permite asegurar la integridad y confiabilidad de un producto; además, proporciona información para el desarrollo de mejores técnicas de producción y para el perfeccionamiento de un producto en particular.

La inspección por RT se define como un procedimiento de inspección no destructivo de tipo físico, diseñado para detectar discontinuidades macroscópicas y variaciones en la estructura interna o configuración física de un material. En la figura 11 se

muestra una imagen del arreglo radiográfico empleado con mayor frecuencia.



**FIGURA No. 11**  
Arreglo radiográfico convencional.

Al aplicar RT, normalmente se obtiene una imagen de la estructura interna de una pieza o componente, debido a que este método emplea radiación de alta energía, que es capaz de penetrar materiales sólidos, por lo que el propósito principal de este tipo de inspección es la obtención de registros permanentes para el estudio y evaluación de discontinuidades presentes en dicho material. Por lo anterior, esta prueba es utilizada para detectar discontinuidades internas en una amplia variedad de materiales.

Dentro de los END, la Radiografía Industrial es uno de los métodos más antiguos y de mayor uso en la industria. Debido a esto, continuamente se

realizan nuevos desarrollos que modifican las técnicas radiográficas aplicadas al estudio no sólo de materiales, sino también de partes y componentes; todo con el fin de hacer más confiables los resultados durante la aplicación de la técnica.

El principio físico en el que se basa esta técnica es la interacción entre la materia y la radiación electromagnética, siendo esta última de una longitud de onda muy corta y de alta energía.

Durante la exposición radiográfica, la energía de los rayos X o gamma es absorbida o atenuada al atravesar un material. Esta atenuación es proporcional a la densidad, espesor y configuración del material inspeccionado.

La radiación ionizante que logra traspasar el objeto puede ser registrada por medio de la impresión en una placa o papel fotosensible, que posteriormente se somete a un proceso de revelado para obtener la imagen del área inspeccionada; o bien, por medio de una pantalla fluorescente o un tubo de video, para después analizar su imagen en una pantalla de televisión o grabarla en una cinta de video. En términos generales, es un proceso similar a la fotografía, con la diferencia principal de que la radiografía emplea rayos X o rayos Gamma y no energía luminosa.

Los rayos X fueron descubiertos en 1895 por el físico alemán Roentgen (premio Nobel 1901), quien les dio tal nombre debido a que en ese entonces se ignoraba todo sobre su naturaleza.

Roentgen tuvo la suficiente visión para darse cuenta de que la radiografía era empleable con fines industriales o de investigación y se puede afirmar que él fue el primer radiólogo industrial, puesto que realizó investigaciones sobre el comportamiento de ciertos materiales y de armamentos de reciente creación.

Por otra parte, durante ese mismo año, el físico francés Henri Becquerel estudiaba la fluorescencia de los compuestos de uranio; y al realizar varios experimentos colocando cristales de sulfato de potasio y uranio sobre una placa fotográfica envuelta con papel negro, observó que al exponerlos a la luz solar, la parte de la placa que se encontraba en contacto con los cristales se oscurecía. Como consecuencia de estos experimentos, Becquerel formuló su primera hipótesis, donde consideró que el oscurecimiento de la película fotográfica se debía a que la iluminación o la luz solar producían alguna fluorescencia en los compuestos de uranio.

Para demostrar su teoría, Becquerel expuso una película envuelta en papel negro a los rayos solares y observó que ésta no se había oscurecido, por

lo que creyó que era debido a que la envoltura de papel negro no permitía el paso de la luz.

Sin embargo, una casualidad lo llevó a la conclusión de que el uranio emitía rayos en forma espontánea, sin necesidad del estímulo de la luz exterior. A este fenómeno de emisión espontánea de radiación le dio el nombre de radioactividad.

Ante estos hechos, Becquerel llegó a otra hipótesis para establecer que la presencia de radioactividad en algunos minerales de uranio indicaba la existencia de una sustancia aún más radioactiva que éste; por lo que encargó a Pierre y Marie Curie la identificación y separación de dicha sustancia.

Los esposos Curie efectuaron la separación química y el análisis de minerales de uranio, logrando aislar en 1898 un nuevo elemento radioactivo: el polonio, nombre dado en honor al país natal de Marie.

En 1902, los esposos Curie lograron aislar del mineral pechblenda (de uranio) una pequeña cantidad de otro elemento nuevo, el cual era 300,000 veces más radioactivo que el uranio y al que llamaron radio.

Marie Curie fue la primera radióloga que empleó radioisótopos para tomar una radiografía médica. Esto lo realizó

durante la Primera Guerra Mundial, en el frente de Verdum, demostrando adicionalmente la ventaja de que este tipo de radiografía no necesitaba de energía eléctrica para su realización.

En la actualidad, dentro del campo de la industria existen dos técnicas comúnmente empleadas para la inspección radiográfica:

- Radiografía con rayos X.
- Radiografía con rayos gamma.

La principal diferencia entre estas dos técnicas es el origen de la radiación electromagnética; ya que, mientras los rayos X son generados por un alto potencial eléctrico, los rayos gamma se producen por desintegración atómica espontánea de un radioisótopo.

Los rayos X son generados por dispositivos electrónicos y los rayos gamma por fuentes radioactivas naturales o por isótopos radioactivos artificiales producidos para fines específicos de Radiografía Industrial, tales como: iridio 192, cobalto 60, cesio 137 y tulio 170.

La fuente de rayos X es el ánodo en un tubo eléctrico de alto voltaje. Cuando se prende, el haz de electrones generado en el cátodo impacta sobre el ánodo y esto provoca la emisión de los rayos X en todas direcciones; la capa de blindaje alrededor del tubo absorbe los rayos X, excepto aquellos que escapan a través

de un orificio o ventana que existe para tal fin. Los rayos que pasan se emplean para producir la radiografía. Cuando se apaga la máquina de rayos X, la radiación cesa y la pieza inspeccionada no conserva radioactividad.

Un radioisótopo, como por ejemplo el cobalto 60 o el iridio 192, emiten radiación constante por lo que se emplean contenedores especiales o cámaras para almacenar y controlarlos dentro de una cápsula, que es una pequeña píldora que se conecta al final del cable de control. Cuando la cápsula está en el contenedor, la mayoría de los rayos gamma son absorbidos por el blindaje. Cuando la fuente es sacada del contenedor por medio del cable de control, la radiación del radioisótopo se dispersa en todas direcciones y es empleada para crear una radiografía.

Aunque existen arreglos especiales, diseñados para casos determinados, el equipo que se emplea con más frecuencia para la inspección radiográfica es el siguiente:

1. Fuente de radiación (rayos X o rayos gamma).
2. Controles de la fuente.
3. Película radiográfica.
4. Pantallas intensificadoras.
5. Indicadores de calidad de la imagen.
6. Accesorios.

## **REQUISITOS Y SECUENCIA DE LA INSPECCIÓN POR RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL.**

El procedimiento que normalmente se sigue para obtener una radiografía se describe de la siguiente forma:

Inicialmente, deben conocerse algunas características del material que se va a examinar, como son: tipo del metal, su configuración, el espesor de la pared a ser radiografiada, etc.. Todo ello con el fin de seleccionar el radioisótopo o el kilovoltaje más adecuados.

Una vez establecida la fuente de radiación, se deben calcular las distancias entre ésta, el objeto y la película, para así poder obtener la nitidez deseada.

Igualmente, se selecciona la película con ciertas características que permitan una exposición en un tiempo razonable y una calidad de imagen óptima. Esta se coloca dentro de un portapelícula que sirve como protección para evitar que la luz dañe la emulsión fotográfica, y que además contiene las pantallas intensificadoras que sirven para reducir el tiempo de exposición, mejorando con esto la calidad de la imagen. Este último proceso se efectúa en el laboratorio.

Una vez realizado lo anterior, se procede a poner en práctica las medidas de seguridad radiológica en la zona en la que se va a efectuar la radiografía, con el fin de evitar una

sobredosis al personal que pueda estar laborando cerca de la zona de inspección.

La aplicación del proceso radiográfico implica observar todas las medidas de seguridad obligatorias que eviten dosis de radiación innecesarias al operario; ya que si bien es indudable el valor que como método de inspección representa, también es innegable el riesgo al que está expuesto todo ser humano debido a la utilización de radiaciones ionizantes, motivo por el cual ningún tipo de protección ni medida de seguridad serán excesivos.

Mantenerse a una distancia prudente de la fuente es el mejor camino para evitar la exposición. La segunda medida es usar una protección (plomo, acero, concreto) entre el individuo y la fuente. El tiempo es también un factor importante. Cuanto menos tiempo se encuentre expuesto a la radiación, menor será la dosis de ésta que reciba.

A continuación, se hace el arreglo para colocar la fuente a la distancia calculada con respecto al objeto y se coloca la película radiográfica del otro lado de éste para registrar la radiación que logre atravesar al material sujeto a inspección.

Esta radiación provoca la impresión de la película radiográfica, que corresponde al negativo de una fotografía. Entre mayor sea la cantidad

de radiación que incida sobre la película, más se ennegrecerá ésta.

Con el objeto de determinar la sensibilidad y la calidad de una radiografía, se emplean indicadores de calidad de imagen, mal llamados penetrámetros. Al realizar la inspección, los indicadores de calidad de imagen se eligen normalmente de manera que el espesor de éstos represente aproximadamente el 2% del espesor de la parte a inspeccionar y, siempre que sea humanamente posible, se colocarán del lado de la fuente de radiación.

La exposición se realiza, bien sea sacando la cápsula que contiene al radioisótopo o encendiendo al aparato de rayos X; esto se lleva a cabo durante el tiempo previamente calculado para realizar la exposición. Una vez terminada la exposición, se recupera la cápsula o se apaga el instrumento de rayos X y la película se lleva a revelar.

Como ya se mencionó, el proceso de revelado se verifica en el laboratorio de revelado, también conocido como cuarto oscuro. El revelado es una de las partes más críticas de la Radiografía Industrial y consiste en convertir la imagen virtual, producida por el paso de la radiación a través de la película, en una imagen real por medio de una serie de reacciones químicas. El revelado se efectúa en varios pasos: revelado, baño ácido o de parada, baño de fijado y lavado final. Al terminar

el revelado, se seca la película y se procede a la interpretación de la imagen obtenida; siendo primero evaluada para comprobar si reúne los requisitos de calidad indicados por el procedimiento de inspección.

Las radiografías, para ser confiables, necesitan cumplir con ciertos requisitos (fijados por las normas correspondientes), tales como densidad radiográfica y calidad de imagen.

La densidad radiográfica de una película es su grado de "ennegrecimiento"; es decir, la cantidad de luz que puede pasar de un lado a otro de ésta. Para que una película pueda interpretarse confiablemente, debe tener una densidad entre 2 y 4, dependiendo del tipo de fuente empleada.

Si se comprueba que la imagen es satisfactoria, entonces se interpreta para conocer qué tipo de indicaciones están presentes; las cuales posteriormente serán evaluadas para conocer su nivel de severidad y su posible efecto en el material que se inspecciona.

#### **APLICACIONES.**

Las propiedades particulares de la radiografía facilitan su aplicación a nivel industrial, médico y de investigación; pues adicionalmente de que la energía de la radiación puede ser absorbida

por la materia, también puede hacer fluorescer ciertas sustancias; siendo por todo esto que la técnica tiene diversas aplicaciones en diferentes ramas.

En primer lugar, están las aplicaciones en las que se emplea la energía radiante y su efecto sobre la materia, como es el caso de las aplicaciones físicas (efectos de fluorescencia), médicas (destrucción de ciertas células) y biológicas (mutaciones o aplicaciones de esterilización biológica).

En segundo lugar, deben mencionarse las aplicaciones en las cuales se emplean los efectos físicos, como son la difracción (determinación de estructuras cristalográficas), fluorescencia (determinación de composición química) y la ionización (detección de la radiación), etc..

En tercer lugar, se tienen las aplicaciones en las que se mide la atenuación de la radiación, como es el caso de la medición de espesores en procesos de alta temperatura; la medición de niveles de fluidos; la determinación de densidades en procesos de producción continua y la Radiografía Industrial.

Finalmente, resta aclarar que la corta longitud de onda de la radiación que emplea la radiografía le permite penetrar materiales sólidos, que absorben o reflejan la luz visible; lo que

da lugar al uso de esta técnica en el control de calidad de productos soldados, fundiciones, forjas, etc.; para la detección de defectos internos macroscópicos tales como grietas, socavados, penetración incompleta en la raíz, falta de fusión, etc..

### **VENTAJAS DE LA RADIOGRAFIA INDUSTRIAL.**

- Es un excelente medio de registro de inspección.
- Su uso se extiende a diversos materiales.
- Se obtiene una imagen visual del interior del material.
- Se obtiene un registro permanente de la inspección.
- Descubre los errores de fabricación y ayuda a establecer las acciones correctivas.

### **LIMITACIONES DE LA RADIOGRAFIA INDUSTRIAL.**

- No es recomendable utilizarla en piezas de geometría complicada.
- No debe emplearse cuando la orientación de la radiación sobre el objeto sea inoperante, ya que no es posible obtener una definición correcta.
- La pieza de inspección debe tener acceso al menos por dos lados.
- Su empleo requiere el cumplimiento de estrictas medidas de seguridad.

- Requiere personal altamente capacitado, calificado y con experiencia.

- Requiere de instalaciones especiales como son: el área de exposición, equipo de seguridad y un cuarto oscuro para el proceso de revelado.

- Las discontinuidades de tipo laminar no pueden ser detectadas por este método.

## ULTRASONIDO INDUSTRIAL

Este sistema de inspección tiene sus orígenes en los ensayos de percusión, en los cuales los materiales eran golpeados con un martillo y se escuchaba cuidadosamente el sonido que la pieza examinada emitía. La desventaja de estos ensayos es que sólo permitían detectar defectos de una magnitud tal que ocasionarán un cambio en el tono del sonido que emitía el material sujeto a prueba y por este motivo eran poco confiables en la inspección preventiva.

La examinación por Ultrasonido Industrial (UT) se define como un procedimiento de inspección no destructiva de tipo mecánico, que se basa en la impedancia acústica, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de propagación del sonido entre la densidad de un material.

La historia del Ultrasonido Industrial como disciplina científica pertenece al siglo XX. En 1924, El Dr. Sokolov desarrolló las primeras técnicas de inspección empleando ondas ultrasónicas. Los experimentos iniciales se basaron en la medición de la pérdida de la intensidad de la energía acústica al viajar en un material. Para tal procedimiento se requería del empleo de un emisor y un receptor de la onda ultrasónica.

Posteriormente, durante la Segunda Guerra Mundial, los ingenieros alemanes y soviéticos se dedicaron a desarrollar equipos de inspección ultrasónica para aplicaciones militares. En ese entonces la técnica seguía empleando un emisor y un receptor (técnica de transparencia) en la realización de los ensayos.

No fue sino hasta la década de 1940 cuando el Dr. Floyd Firestone logró desarrollar el primer equipo que empleaba un mismo palpador como emisor y receptor, basando su técnica de inspección en la propiedad característica del sonido para reflejarse al alcanzar una interfase acústica. Es así como nace la inspección de pulso eco; esta nueva opción permitió al ultrasonido competir y en muchas ocasiones superar las limitaciones técnicas de la radiografía, ya que se podían inspeccionar piezas de gran espesor o de configuraciones que sólo permitían el acceso por un lado.

El perfeccionamiento del instrumento de inspección por ultrasonido se debe principalmente a los investigadores alemanes Josef y Herbert Krautkramer, quienes desde 1948 se han dedicado a desarrollar y mejorar el equipo de inspección ultrasónica.

Los equipos de ultrasonido que empleamos actualmente permiten detectar discontinuidades superficiales, subsuperficiales e internas, dependiendo del tipo de palpador utilizado y de las frecuencias que se seleccionen dentro de un ámbito de 0,25 hasta 25 MHz.

Por otra parte, hoy en día contamos con una infinidad de variantes de la inspección ultrasónica; cada una de ellas ha sido especialmente desarrollada para poder detectar un tipo particular de discontinuidad o para inspeccionar diferentes materiales.

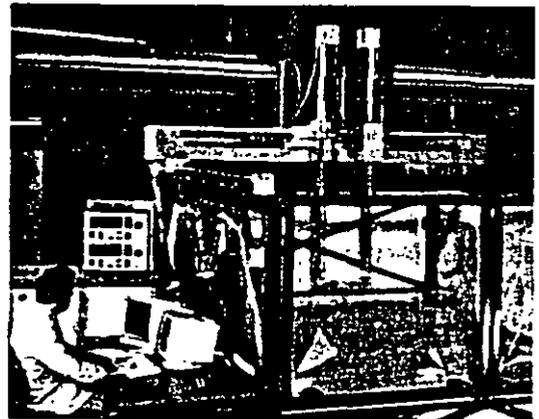
### **REQUISITOS Y SECUENCIA DE LA INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO INDUSTRIAL.**

Antes de iniciar una inspección por UT, es necesario definir los siguientes parámetros, a fin de hacer una correcta selección del equipo de trabajo:

- Cuál es el tipo de discontinuidad que puede encontrarse.
- Qué extensión y orientación puede tener en la pieza.
- Qué tolerancias se pueden aplicar para aceptar o rechazar la indicación.

Una vez definidos los puntos anteriores, el siguiente paso es decidir qué equipo de inspección será utilizado.

Los equipos que actualmente existen de forma comercial ofrecen una gran variedad de alternativas, por lo que antes de comprar un equipo es conveniente que se analicen todas las posibles alternativas de operación, siendo recomendable escoger un instrumento que cuente con servicio, refacciones y confiabilidad; ya que la inversión inicial puede variar desde un mínimo de 6,000 USD, hasta varios cientos de miles de dólares. En la figura 12 se muestra un equipo completo de inspección ultrasónica por inmersión.



**FIGURA No. 12**  
**Equipo de Inspección por Inmersión.**

Todas las normas establecen los requisitos mínimos que debe cumplir un instrumento de inspección por ultrasonido y son:

a) La ganancia, que es la capacidad de amplificación del instrumento y que debe ser de por lo menos 60 dB; esto es, que pueda amplificar la señales del orden de 1,000 veces como mínimo. Adicionalmente, la ganancia debe estar calibrada en pasos discretos de 2 dB.

b) La pantalla debe tener una retícula grabada en la pantalla del tubo de rayos catódicos y deberá estar graduada en valores no menores del 2% del total de la escala.

c) El ruido del instrumento (señal de fondo) no debe exceder del 20% del total de la escala vertical cuando la ganancia esté al máximo de operación. En el caso de emplear medidores con lectura digital o analógica, la repetitividad del instrumento no deberá ser menor al 5%.

Por otra parte, todas las normas exigen que el instrumento de inspección ultrasónica sea revisado y, en caso necesario, recalibrado por un taller de servicio autorizado por el fabricante.

Este último punto es de vital importancia si se está trabajando bajo códigos o normas de aceptación internacional como AWS o ANSI/ASME. Con base en lo anterior, antes de adquirir un equipo, es recomendable visitar al proveedor y comprobar que cuenta con la licencia por parte del fabricante para dar el servicio de mantenimiento preventivo y correctivo al equipo.

A continuación se deben seleccionar el palpador y el cable coaxial a ser empleados.

Los cables son del tipo coaxial para prevenir problemas de interferencia eléctrica y sus conexiones deben ser compatibles con las del instrumento y el palpador a emplear. La longitud del cable afectará la calidad de la inspección, por lo que se debe evitar el empleo de cables más largos de lo recomendado por los fabricantes del equipo.

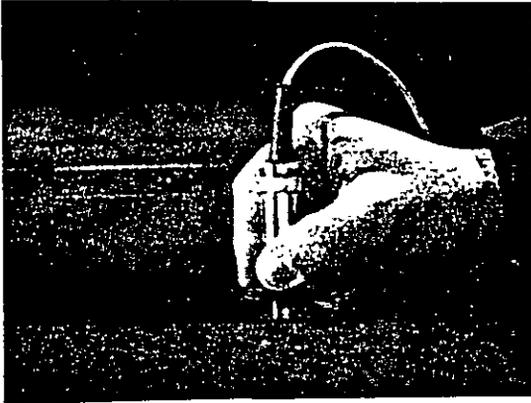
La selección del palpador es uno de los puntos más críticos, ya que de él dependerá en gran medida la calidad de la inspección.

Los factores a ser tomados en cuenta para la selección de un palpador son:

- Número de elementos piezoeléctricos.
- El tipo de inspección (contacto, inmersión, alta temperatura).
- El diámetro del elemento piezoeléctrico.
- La frecuencia de emisión.
- En su caso, el ángulo de refracción.
- El tipo de banda.
- El tipo de protección de antidesgaste.

Por lo común, las normas establecen las condiciones mínimas que deben cumplir los palpadores. Como la variedad de éstos es muy amplia, es

conveniente contar con los catálogos de los fabricantes o consultar al proveedor aprobado respecto a las características de cada unidad antes de efectuar una adquisición. En la figura 13 se muestra la imagen de un palpador convencional.



**FIGURA No. 13**  
Palpador para ultrasonido.

Las ondas ultrasónicas son generadas por un cristal o un cerámico piezoeléctrico dentro del palpador; este elemento, que llamaremos transductor, tiene la propiedad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica y viceversa. Al ser excitado eléctricamente, y por el efecto piezoeléctrico, el transductor vibra a altas frecuencias (lo que genera ultrasonido); estas vibraciones son transmitidas al material que se desea inspeccionar. Durante el trayecto en el material, la intensidad de la energía sónica sufre una atenuación, que es proporcional a la distancia del recorrido. Cuando el haz sónico alcanza la frontera del material, dicho

haz es reflejado. Los ecos o reflexiones del sonido son recibidos por otro (o por el mismo) elemento piezoeléctrico y su señal es filtrada e incrementada para ser enviada a un osciloscopio de rayos catódicos, en donde la trayectoria del haz es indicada por las señales de la pantalla; también puede ser transmitida a un sistema de graficado, donde se obtiene un perfil acústico de la pieza; a una pantalla digital, donde se leerá un valor o a una computadora, para el análisis matemático de la información lograda.

Es importante apuntar la necesidad de emplear un acoplante (aceite, grasa o glicerina) con objeto de que el sonido pueda transmitirse del transductor a la pieza de trabajo sin que existan grandes pérdidas de energía en la interfase acústica conformada por el espacio de aire entre el metal o el material a examinar y el palpador.

El acoplante debe reunir las siguientes características para emplearlo con confianza: ser inerte al material en inspección; de fácil remoción después de terminar la inspección; debe formar una capa homogénea en la superficie de contacto; además, su costo será bajo y fácil la adquisición.

Cabe aquí aclarar que algunas normas o códigos son rígidamente específicos en el tipo de acoplante a ser empleado, quedando limitado al

empleo de glicerina, agua o gel de celulosa.

En cuanto al sonido, una vez que ha sido introducido en el material sujeto a inspección, puede presentar diferentes formas (modos) de conversión (viaje). Así pues, si el palpador está orientado perpendicularmente a la superficie de inspección (superficie de incidencia), el sonido viajará preferentemente de forma compresiva (se desplazará con una velocidad longitudinal o compresiva) y será este modo el que se empleará para detectar las indicaciones.

Si por el contrario el palpador se inclina dentro de ciertos ángulos (entre el primer y segundo ángulo crítico de la ley de Snell) sobre la superficie de incidencia, el sonido viajará preferentemente de forma cortante: el sonido se desplazará con una velocidad transversal o cortante. Por último, si el palpador se inclina con una orientación tal que el haz incida con un ángulo igual al segundo ángulo crítico de la ley de Snell, el haz viajará de forma superficial: el sonido se desplazará con una velocidad superficial.

Cada uno de estos modos de propagación tiene aplicaciones muy específicas en la inspección ultrasónica y su selección dependerá de las características de la pieza sujeta a inspección y de las discontinuidades que se quieran detectar.

Si el material está libre de indicaciones que puedan ser detectadas, la señal será constante en cuanto a su intensidad y posición; pero si hay un cambio en las propiedades acústicas del material o una discontinuidad que refleje, atenúe o disperse el haz de ultrasonido, la señal se modificará y se podrá observar una disminución en la amplitud de la señal de la pared posterior o la aparición de indicaciones antes de lo esperado.

La interpretación de estos cambios en las señales debe ser realizada por personal que ha sido capacitado, calificado y que cuente con la experiencia necesaria en la inspección a realizar, ya que de ello depende que los resultados sean confiables, reproducibles y repetitivos.

#### **APLICACIONES.**

El Ultrasonido Industrial es un ensayo no destructivo ampliamente difundido en la evaluación de materiales metálicos y no metálicos.

Es frecuente su empleo para la medición de espesores, detección de zonas de corrosión, detección de defectos en piezas que han sido fundidas forjadas, roladas o soldadas; en las aplicaciones de nuevos materiales como son los metalcerámicos y los materiales compuestos, ha tenido una gran aceptación, por lo sencillo y fácil de aplicar como método de inspección para el control de

calidad. Las nuevas tendencias indican que su campo de aplicación se mejorará con el apoyo de las computadoras para el análisis inmediato de la información obtenida.

### **VENTAJAS DEL ULTRASONIDO INDUSTRIAL.**

-Se detectan discontinuidades superficiales y subsuperficiales.

-Puede delinearse claramente el tamaño de la discontinuidad, su localización y su orientación.

-Sólo se requiere acceso por un lado del material a inspeccionar.

-Tiene alta capacidad de penetración y los resultados de prueba son conocidos inmediatamente.

### **LIMITACIONES DEL ULTRASONIDO INDUSTRIAL.**

-Está limitado por la geometría, estructura interna, espesor y acabado superficial de los materiales sujetos a inspección.

-Localiza mejor aquellas discontinuidades que son perpendiculares al haz de sonido.

-Las partes pequeñas o delgadas son difíciles de inspeccionar por este método.

-El equipo puede tener un costo elevado, que depende del nivel de sensibilidad y de sofisticación requerido.

-El personal debe estar calificado y generalmente requiere de mucho

mayor entrenamiento y experiencia para este método que para cualquier otro de los métodos de inspección.

-La interpretación de las indicaciones requiere de mucho entrenamiento y experiencia de parte del operador.

-Requiere de patrones de referencia y generalmente no proporciona un registro permanente.

### **EMISION ACUSTICA.**

Esta nueva técnica ha despertado gran interés entre los inspectores e ingenieros de diseño, ya que puede detectar pequeñas discontinuidades y adicionalmente permite la evaluación del comportamiento de un material o una estructura durante el servicio.

Inicialmente puede decirse que todos hemos tenido la oportunidad de escuchar la emisión de sonidos al doblar una lámina de aluminio o de estaño. De igual modo, en algunos casos los materiales sujetos a un esfuerzo emiten sonidos audibles antes de fallar.

El primer estudio formal de esta nueva técnica es la tesis doctoral del Dr. Joseph Kaiser, de la Universidad de Munich, Alemania, quien demostró teórica y experimentalmente que la emisión acústica es causada por la formación de fallas microscópicas y macroscópicas de un material sujeto a

esfuerzos. En un principio, estos estudios se realizaron a frecuencias audibles; sin embargo, por diferentes razones técnicas, la inspección se realiza actualmente empleando frecuencias ultrasónicas.

La Emisión Acústica (AET) ha tomado un gran impulso en los últimos años por ser capaz de determinar las condiciones generales de equipos y materiales en servicio.

El principio de la Emisión Acústica (AET) es la detección de ondas elásticas que se crean de forma espontánea en aquellos puntos del material que se está deformando de manera elástica o plástica, al ser sometido a un esfuerzo (carga estática o dinámica), o por esfuerzos residuales que están presentes en el material.

Las deformaciones del tipo cortante o que produzcan deslizamiento de los planos cristalinos son las fuentes principales de la emisión acústica. En el caso de los metales, la emisión detecta la acumulación de los deslizamientos y dislocaciones intercristalinas, que en caso de continuar el esfuerzo darán inicio a una fractura.

Es conveniente mencionar que cuando un material está sano, la emisión más intensa se produce en la porción elástica de la curva de esfuerzo-deformación, alcanzando su máximo en el punto del límite elástico; a partir del cual la emisión decrece

abruptamente. La posible causa de este comportamiento es el efecto que puede tener sobre la movilidad de los planos de dislocación el endurecimiento por deformación que presenta el material al ser sometido a tensión.

Sin embargo, cuando el material presenta una discontinuidad y ésta se propaga, se tiene una emisión constante que se va incrementando hasta que el material falla por fractura.

Tal vez uno de los inconvenientes que presenta esta técnica de inspección es que la emisión continua es un proceso irreversible (efecto Kaiser); esto quiere decir que una vez que el material ha sido sometido a esfuerzo hasta un valor determinado, y después se reduce el esfuerzo, cuando se vuelva a someter a tensión el material, la emisión no se iniciará sino hasta que se exceda el valor máximo del primer esfuerzo.

La emisión acústica se presenta como pulsos definidos que se propagan en el material de forma radial a la velocidad del sonido. Los pulsos se caracterizan por tener la forma de un tren de ondas atenuadas y con una amplia variedad de frecuencias que pueden variar desde la región audible, hasta varios megahertz. La duración del pulso es muy corta, del orden de nonasegundos a milisegundos, por lo que su detección debe efectuarse por medios electrónicos; aunque la señal

producida es también muy débil, del orden de unos cuantos electrón-volt.

### **REQUISITOS Y SECUENCIA DE LA INSPECCIÓN POR EMISIÓN ACÚSTICA.**

Para operar la inspección con AET, lo primero que se debe realizar es la selección de las frecuencias de rastreo y éstas dependerán del origen de la onda y el tipo de discontinuidad que se desea detectar.

El siguiente paso es la selección de los puntos en los cuales se deben localizar los transductores; ya que la determinación de la ubicación de los defectos es por medio de triangulación, en función del tiempo que tarda la señal en ser recibida por los distintos elementos.

Una vez que el equipo está dispuesto y se han calibrado los instrumentos, se inicia la prueba aplicando un esfuerzo mecánico a una velocidad conocida y las señales que emita el componente se registran y graban por medio de computadoras, las cuales analizan la cantidad de eventos que se detectan por unidad de tiempo, la intensidad de las emisiones y el tiempo que tardan las señales en ser registradas por los diferentes transductores.

El último paso y el más crítico es analizar el tipo de emisor que ha generado la emisión acústica, a fin de saber si es tan sólo una deformación

elástica o de relajación; o bien, si se trata de una fractura que está desarrollándose durante la deformación del material.

### **APLICACIONES.**

La Emisión Acústica es una de las nuevas técnicas que ha tenido un gran desarrollo, especialmente con la aceptación del empleo de computadoras para el proceso de datos como medio de interpretación de los resultados. Se emplea en el estudio de estructuras sujetas a esfuerzos cíclicos, como es el caso de las estructuras aeronáuticas, los recipientes a presión y edificios o puentes. Otra aplicación es la evaluación del comportamiento de nuevos materiales, como es el caso de los tejidos a base del Keblar; de las fibras de carbono monodireccionadas; las fibras de elementos cerámicos y los materiales compuestos a base de cerámico-metales y de plásticos reforzados con fibras.

### **VENTAJAS DE LA EMISIÓN ACÚSTICA.**

- Permite detectar un defecto o fractura durante su desarrollo, aun antes de que sea posible detectarla por algún otro tipo de ensayo no destructivo.

- Permite tener un patrón del comportamiento de la estructura sujeta a prueba, la cual puede ser tomada como referencia para evaluar su comportamiento después de haber

estado en servicio y conocer si ha sufrido algún daño o debilitamiento.

### LIMITACIONES DE LA EMISIÓN ACÚSTICA.

- La interpretación de los resultados; ya que para una evaluación completa en campo se requiere de procesadores que tengan alta velocidad y gran capacidad de memoria y almacenamiento; motivo por el cual un trabajo de inspección por AET puede realizarse rápidamente pero a un costo relativamente elevado.

- El personal que realiza este tipo de pruebas debe tener una gran capacitación y experiencia en la interpretación de señales y en la disposición de los transductores de inspección; quien se especializa en esta técnica requiere de por lo menos un año de trabajo previo antes de ser calificado como Nivel I y necesita casi dos años para poder ser calificado como nivel II.

### RESUMEN.

Las técnicas de Inspección Volumétrica sirven para detectar las discontinuidades en el interior de los materiales y para evaluar la severidad de éstas.

La Inspección Volumétrica se realiza a partir de cuatro técnicas:

- Radiografía Industrial (RT).
- Ultrasonido Industrial (UT).
- Radiografía Neutrónica (NT).
- Emisión Acústica (AET).

La Radiografía Industrial es un método físico de inspección. Se basa en la interacción entre la materia y la radiación electromagnética. Cuando un cuerpo es expuesto a la energía de los rayos X o gamma, éste los absorbe de forma proporcional a su densidad, espesor y configuración. La radiación que logra atravesar el material examinado se registra en una placa sensible a dicha energía. Posteriormente la placa se revela y así se obtiene la imagen del área inspeccionada, en la que las indicaciones de una discontinuidad aparecerán en un tono de gris o negro distinto al de las porciones de material homogéneo y saludable porque al no haber material que atravesar o tener éste otra composición, será distinta la cantidad de energía ionizante que atraviese esa parte de la pieza y se imprima en la placa fotosensible.

El Ultrasonido Industrial es un proceso de tipo mecánico, basado en la impedancia acústica; que se obtiene al conocer el producto de la velocidad máxima de propagación de una onda sonora específica entre la densidad de un material.

Para lo anterior se utiliza un instrumento de electrónico que genera una onda ultrasónica a través de un cristal o un cerámico piezoeléctrico y que tiene la propiedad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica (ondas sonoras) y viceversa. Los sólidos tienen la capacidad de transmitir en su interior esta onda, que retorna a la superficie de origen cuando ha llegado a la frontera del material en examen, pues ésta lo refleja. Si el haz ultrasónico durante su trayecto es interrumpido por una discontinuidad, la señal que la onda transmite a una pantalla de rayos catódicos u otro medio de registro se modifica y de esa señal se obtiene la indicación virtual cuantificable de un defecto dentro de la pieza en inspección.

La Emisión Acústica es un método de inspección de carácter mecánico y se

basa en la emisión de pulsos definidos que se propagan en el material de forma radial a la velocidad de sonido. Con lo anterior se detectan y miden, a través de instrumentos de AET, las ondas elásticas que se crean en forma espontánea en los puntos de un material que se somete a esfuerzo físico y al que se le deforma de manera plástica. El valor de dichas ondas es la representación de la posible discontinuidad que se pretende detectar.

Esta ha sido la descripción de los métodos de Inspección Volumétrica. En el último capítulo del libro se abordarán las particularidades que en la actualidad encierra la capacitación, calificación y certificación del personal que ejerce los END en nuestro país, así como las opciones que existen al respecto.





FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM  
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA

# CURSOS ABIERTOS

## DIPLOMADO EN INGENIERÍA DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN

MODULO III DISEÑO DE RECIPIENTES A  
PRESIÓN, PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS Y  
VÁLVULAS DE SEGURIDAD

CLAVE CA-227

TEMA

CAPACITACIÓN, CALIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN  
DEL 17 AL 21 DE MAYO

**EXPOSITOR: ING. ORLANDO RAFAEL RIVERA MENDOZA**  
**PALACIO DE MINERÍA**  
**MAYO DE 2004**

## CAPITULO IV

---

### CAPACITACION, CALIFICACION Y CERTIFICACION

La repetitividad y confiabilidad de los Ensayos no Destructivos dependen en gran medida de los conocimientos y de la habilidad de los individuos que los realizan. Por este motivo, se debe prestar una atención especial a la capacitación y a la adquisición de experiencia de los Inspectores.

Actualmente existen dos programas aceptados a nivel internacional para la capacitación, calificación y certificación del personal que realiza los END y son:

- La Práctica Recomendada SNT-TC-1A (ed. '88), editada por la Sociedad Americana para los Ensayos No Destructivos, también conocida como ASNT (American Society for Nondestructive Testing). Este documento se sustituyó a partir de 1990 por la "Norma ASNT para la calificación y certificación de personal de ensayos no destructivos".

- La DP ISO 9712-3, "Norma para la capacitación, calificación y certificación de personal que realiza ensayos no destructivos" (ed. '89); que ha sido preparada por la Organización Internacional de Normalización, ISO, (International Standardization Organization) y por la Administración Internacional de Energía Atómica, IAEA, (International Atomic Energy Agency), ambas dependientes de la ONU.

La principal diferencia entre la "Práctica recomendada" por ASNT y la "Norma" ISO antes mencionada es que ISO exige que el personal a cualquier nivel de calificación que realice inspecciones por END, sea certificado mediante un examen administrado por una agencia central reconocida internacionalmente; y la práctica SNT-TC-1A establece que la

certificación es una responsabilidad de la empresa contratante del individuo. Además, la práctica SNT-TC-1A es un documento en proceso de derogación (no se seguirá empleando) y se espera que a partir de 1993 deje de ser mencionada en otros códigos o normas de aplicación dentro de los Estados Unidos de América

En marzo de 1991, la oficina revisora de normas del Instituto Nacional Americano de Normalización, ANSI, aprobó la publicación de la norma ANSI/ASNT CP-189-1991, "Norma para la calificación y certificación del personal que realiza ensayos no destructivos" y que viene a sustituir al documento SNT-TC-1A. Esta nueva norma se apega a las recomendaciones de la ISO, y exige que la certificación del personal (inicialmente sólo los niveles III), sea realizada por una agencia central, que es la ASNT para los Estados Unidos de América, por otra parte también establece que solo los niveles III certificados ante la ASNT pueden actuar como los responsables de compañía o desempeñar las actividades de nivel III; también establece las condiciones que deben cumplir aquellas personas que se dediquen a la capacitación de los técnicos en ensayos no destructivos

Cuando se habla de calificación y de certificación, normalmente los usuarios de estos documentos pueden tener confusiones en cuanto a la definición de algunos términos, por lo cual los

documentos internacionales comúnmente aceptados establecen claramente el significado de los términos que se dan a continuación. Al respecto, tan sólo existen diferencias mínimas en cuanto a redacción se refiere entre un texto y otro.

**Entrenamiento.-** Es el programa debidamente estructurado para proporcionar los conocimientos teóricos y desarrollar las habilidades prácticas de un individuo; a fin de que realice una actividad definida de inspección. En este punto se establece de forma clara y breve el programa de entrenamiento para cada técnica y nivel, siendo el más actualizado el propuesto por ASNT.

**Calificación.-** Es la demostración, por medio de exámenes debidamente preparados, de que un individuo posee los conocimientos teóricos y las habilidades necesarias para desarrollar correctamente una inspección no destructiva; aplicar correctamente los criterios de aceptación y en su caso elaborar un reporte de inspección. Puede incluir la elaboración de un procedimiento para una inspección y/o la interpretación de los criterios de aceptación establecidos por un documento escrito, que puede ser un código, una norma o una especificación.

**Certificación.-** Es un testimonio escrito extendido por una agencia central certificadora (ISO 9712) o por una

empresa contratante (SNT-TC-1A), que demuestra que un individuo ha sido capacitado; que está debidamente calificado y tiene la experiencia suficiente para emplear correctamente un método de inspección no destructiva.

**Niveles De Certificación.**- Los niveles se dan para cada método de inspección no destructiva y son establecidos en función de los conocimientos, la experiencia práctica y responsabilidades que tiene el individuo al realizar una inspección. En cuanto a este concepto, ambos documentos tienen las mismas definiciones y niveles de certificación.

Se ha establecido una etapa de aprendizaje y se han definido tres niveles básicos de certificación. Estos niveles pueden ser subdivididos por la empresa contratante o por cada comité nacional para cubrir situaciones específicas en las que se requiera de habilidades adicionales o responsabilidades más específicas. Los niveles básicos de certificación son:

**Aprendiz.**- Es el individuo que está en proceso de capacitación para ser calificado y certificado (aun no tiene nivel de competencia); por definición se dice que es la persona en entrenamiento para adquirir los conocimientos y la habilidad necesarios para efectuar un ensayo no destructivo específico y que no podrá realizar por sí solo una inspección;

interpretar o evaluar una indicación ni emitir un reporte de resultados antes de concluir sus periodos de capacitación teórica y práctica, de experiencia y de aprobar su examen de calificación.

Esto debe interpretarse como que el individuo **sí** puede trabajar realizando las inspecciones, pero siempre guiado por una persona calificada y certificada, quien será en última instancia la responsable del trabajo que se esté realizando. Sobre este punto en particular, en el caso de una Auditoría de Calidad, el aprendiz deberá estar anotado como tal en la Lista de Personal de Ensayos no Destructivos; lo cual permitirá además contar con un registro de su experiencia previa a la presentación de sus exámenes de calificación y la emisión de su certificación.

**Nivel I.**- Es aquel individuo que ha sido capacitado y ha demostrado estar debidamente calificado para efectuar correctamente la calibración de un equipo de inspección; realizar una inspección específica; aplicar los criterios de aceptación o rechazo definidos en un procedimiento o instrucción de inspección y reportar o realizar los registros de estas actividades. El inspector Nivel I debe ser entrenado y supervisado por personal certificado como Nivel II o III. En este caso también existen dudas respecto a si un Nivel I puede o no emitir un veredicto de resultados; la

respuesta dependerá del contenido y las responsabilidades que estén establecidas en su procedimiento interno (caso SNT-TC-1A) o de lo que establezca la norma nacional (caso ISO 9712).

**Nivel II.-** Es aquel individuo que ha sido capacitado y ha demostrado estar debidamente calificado para efectuar correctamente las actividades antes mencionadas para Nivel I.

Además puede ser capacitado para establecer realizar o verificar la calibración de un equipo de prueba; interpretar los resultados obtenidos durante una prueba, evaluándolos conforme a un código, norma o especificación aplicable. Debe estar familiarizado con los alcances y limitaciones de su técnica y puede ser responsable de la capacitación práctica y supervisión de los individuos de Nivel I y de los Aprendices. Tiene la capacidad para responsabilizarse de preparar instrucciones de inspección y de organizar y emitir los reportes de resultados de las pruebas efectuadas por él o bajo su supervisión.

**Nivel III.-** Es aquel individuo que ha sido capacitado y ha demostrado estar debidamente calificado para efectuar correctamente las actividades definidas para los Niveles I y II; establecer técnicas y procedimientos generales de inspección; interpretar los códigos, normas y especificaciones para establecer los métodos, técnicas

y procedimientos específicos a ser empleados. Puede ser responsable de las pruebas por Ensayos no Destructivos para los cuales esté certificado. Debe ser capaz de interpretar y evaluar los resultados con los criterios establecidos por códigos, normas y especificaciones.

El nivel III debe tener un conocimiento general sobre los materiales, métodos y tecnologías de fabricación que le permitan establecer la técnica a emplear durante la inspección no destructiva y para asesorar en la selección de los criterios de aceptación cuando éstos no estén definidos. Debe estar familiarizado con lo demás métodos de inspección no destructiva. Puede ser responsable y estar capacitado para impartir el entrenamiento y aplicar los exámenes para la certificación de Niveles I y II.

### **EXÁMENES DE CALIFICACIÓN.**

Los dos documentos mencionados anteriormente también coinciden al definir los exámenes de calificación que deben presentar los individuos a ser certificados a los diferentes niveles de habilidad.

En el caso del personal a calificar como Nivel I o II, son los siguientes:

- De aptitud física.
- De conocimientos
- De habilidad práctica.

## 1. Exámenes Físicos.

Tienen la finalidad de demostrar que el personal que realiza la inspección es apto para poder observar y evaluar correctamente las indicaciones. Los exámenes físicos que se requieren son:

- De agudeza visual lejana.
- De agudeza visual cercana.
- De discriminación cromática.

El examen de agudeza visual se aplica empleando la carta de Snellen y el resultado debe ser una visión 20/40 o mejor. Para el examen de agudeza visual cercana se emplea la carta de Jaeger y el resultado debe ser una visión J2 o mejor. Estos resultados pueden ser empleando prótesis (lentes); pero en tal caso, el individuo siempre deberá emplear dicho instrumento al realizar una inspección.

Los exámenes físicos de agudeza visual cercana y lejana deben ser presentados cada seis meses, como mínimo, por el personal que realiza inspección visual; y deben ser anuales, como mínimo, para las demás técnicas.

El examen de discriminación cromática sólo se aplica al inicio de las actividades de un inspector; ya que, como se mencionó con anterioridad, el daltonismo es una deficiencia genética incorregible. Para esta prueba se emplean las cartas de Ishijara, que son láminas de diferentes colores y

tonalidades. Para aprobar, el individuo debe ser capaz de discriminar los tonos o los colores de las cartas.

Pueden ser necesarios otros exámenes físicos para el personal ocupacionalmente expuesto a la radiación ionizante. Esto dependerá de las reglamentaciones que sobre la materia existan en cada país o estado. En el caso de México, estos exámenes están definidos por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social y por La Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas.

Los exámenes físicos se aplican a todos el personal que realiza END, sin importar cuál sea su nivel.

## 2. Exámenes De Conocimientos.

Tienen la finalidad de evaluar la capacidad del individuo para realizar ciertas actividades propias de la inspección, así como la información teórica mínima que debe poseer para realizar una inspección, interpretación o evaluación confiables. Estos exámenes son:

**El examen general del método.-** Es sobre los principios básicos de la técnica y sus posibles modalidades o variantes. Normalmente las preguntas se redactan en consideración de las necesidades de cada empresa o área de actividad.

**El examen específico.-** Se prepara tomando como base un procedimiento calificado de inspección. El cuestionario debe cubrir aspectos técnicos y prácticos de los instrumentos o aparatos de inspección, procedimientos de calibración y operación; técnicas de prueba y especificaciones que normalmente se emplean en el trabajo cotidiano de inspección. Este examen puede incluir la interpretación y aplicación de los criterios de aceptación establecidos por los códigos y normas correspondientes.

### **3. Exámenes De Habilidad Práctica.**

Estos exámenes consisten en la demostración de la habilidad del aspirante para la calibración y operación correcta del equipo de inspección; la realización de una inspección determinada; el análisis e interpretación de las indicaciones obtenidas; la aplicación de los criterios de aceptación establecidos por los códigos o normas y la elaboración de los reportes de resultados.

En lo que respecta a los exámenes que debe presentar un individuo a ser calificado y certificado como nivel III, las normas establecen que deben ser los siguientes:

- De aptitud física.
- De conocimientos.
- De habilidad práctica.

### **1. Examen De Aptitud Física.**

Los exámenes de aptitud física son los mismos que para los Niveles I y II.

### **2. Exámenes De Conocimientos.**

Esta es la parte más importante de los exámenes que debe realizar un individuo que desea certificarse como Nivel III y si bien son similares a los de los Niveles I y II, el nivel de dificultad de los cuestionarios es mayor. Estos exámenes son:

**El examen de conocimientos básicos.-** Debe ser presentado una sola vez y el cuestionario se forma por preguntas referentes a los diferentes medios de fabricación (fundición, forja, laminación, extrusión, soldadura, etc.); los defectos más comunes que se presentan en cada uno de estos procesos; las técnicas más comunes de Ensayos no Destructivos, con un nivel de dificultad similar a las preguntas preparadas para un nivel II; principios de control y aseguramiento de la calidad y sobre temas relacionados con los mecanismos de certificación que se empleen en la empresa que contrata sus servicios o del área industrial en la que realizará las inspecciones.

**El examen del método.-** Consiste en una evaluación a profundidad de los conocimientos sobre un método específico; por ejemplo, radiografía. El cuestionario de este examen debe basarse en el manejo de los equipos y técnicas empleados en cada empresa

(SNT-TC-1A) o un área industrial específica, por ejemplo la metal-mecánica (ISO 9712); las normas y especificaciones aplicables a un producto o servicio. Debe incluir los criterios empleados para la elaboración de procedimientos, criterios de aceptación e interpretación de códigos y normas, así como el manejo, aplicación e interpretación de procedimientos ya calificados de inspección no destructiva.

### 3. Exámenes De Habilidad Práctica.

Para los Niveles III, estos exámenes pueden ser similares a los que se aplican a los niveles I y II o puede ser la elaboración y calificación de un procedimiento para una inspección determinada.

Para que se considere que el aspirante ha aprobado cualquiera de los exámenes antes mencionados para los diferentes niveles, la calificación no debe ser menor a 70/100. Posteriormente, los resultados de los exámenes de conocimientos se promedian con los exámenes prácticos para todos los niveles y generalmente este promedio no debe ser inferior a 80/100.

### EXPERIENCIA PRÁCTICA.

No se puede certificar personal que no tenga una experiencia práctica en la realización de inspecciones. En el caso del Nivel I, éste primero debió adquirir cierta experiencia actuando como Aprendiz. Para los Niveles II, el

individuo debió trabajar durante un tiempo como Nivel I y finalmente un Nivel III, debió ser previamente Aprendiz, Nivel I y trabajar al menos uno o dos años como Nivel II, antes de poder aspirar a ser certificado como Nivel III. Toda esta experiencia debe ser demostrada documentalmente y mantenida en archivos para su verificación en caso de ser necesaria.

## EMISION DE LOS CERTIFICADOS.

Los lineamientos para que se realice la certificación de personal a cualquiera de los niveles antes citados debe estar contenida en una "Especificación para la capacitación, calificación y certificación del personal que realiza ensayos no destructivos" ("Práctica escrita para SNT TC-1A" y "Norma Nacional para ISO 9712"). El certificado, para que sea válido, es un documento que debe contener como mínimo los siguientes puntos:

1. Nivel de escolaridad de los individuos.
2. Programa de entrenamiento.
3. Experiencia inicial de los individuos antes de certificarse en cualquier nivel.
4. Forma en que se realizarán los exámenes de certificación.
5. Vigencia de las certificaciones.

La ISO y ASNT establecen un periodo de vigencia de la certificación que normalmente tiene una validez de tres

años para los Niveles I y II; y de cinco años para el Nivel III.

La certificación expira cuando el individuo deja de laborar con la empresa que lo ha examinado y certificado, (SNT-TC-1A), o cuando se cambia de un área industrial a otra; por ejemplo, de aeronáutica a metal-mecánica o viceversa (ISO 9712). En este último caso, sólo es necesario presentar el examen específico de la nueva área de trabajo.

Como se puede observar, existen una serie de lineamientos obligatorios a ser seguidos para cumplir con los documentos de aceptación internacional. El documento más frecuentemente aplicado es el SNT-TC-1A, por las siguientes razones:

1. Es el indicado por las normas norteamericanas, que son las más aceptadas dentro de los criterios industriales.
2. Es la más "liberal" en cuanto a certificación se refiere.
3. La "Norma" ISO 9712 es de emisión reciente (1988).

Por lo tanto, se concluye que si una entidad quiere seguir el esquema de la ASNT, debe establecer e implementar un programa bien definido para la capacitación del personal de Ensayos no Destructivos; ya que de otra forma la inspección en vez de reducir costos los puede incrementar. En este caso,

es recomendable que la elaboración e implementación del programa de capacitación y que la especificación de capacitación, calificación y certificación la realice una persona con Nivel III, de preferencia certificado por la ASNT (actualmente ya es requisito obligatorio para algunos códigos) y con amplia experiencia en este tipo de actividades.

En 1989, la ASNT e ISO llegaron a un acuerdo de armonización de estos esquemas de certificación; en el cual se estableció que ASNT (específicamente la industria norteamericana) debe homogeneizar con ISO el esquema de certificación de Niveles III en un lapso de 5 años; y que en un lapso de 10 años homogeneizará el esquema de certificación de niveles I y II. El primer paso de este acuerdo ha sido la publicación de la "Norma ANSI/ASNT CP-189-91, para la calificación y certificación de personal que realiza ensayos no destructivos".

### **EL CASO DE MÉXICO.**

A petición de las industrias asociadas a la Cámara Nacional del Hierro y del Acero (CANACERO), se estudió la necesidad de escribir una norma que definiera los lineamientos para calificar al personal que efectúa los Ensayos no Destructivos. Durante el año de 1989, el Comité Consultivo Nacional de Normalización de la Industria Siderúrgica, a través del Subcomité No 7, "Métodos de Prueba Físicos", preparó la "Norma Nacional B-482 para la Capacitación, Calificación y

Certificación de Personal de Ensayos No Destructivos", adaptando las recomendaciones de ISO a las necesidades del país y seleccionando aquellos criterios que son los más actualizados, fueran de ISO o de ASNT. Por lo anterior se obtuvo una Norma más clara y actualizada que las "Propuestas" de ISO y más específica que las "Recomendaciones" de ASNT. Así mismo, los temarios de los cursos de entrenamiento son los mismos que los de ISO o de ASNT, pero contemplan tiempos más realistas para el entrenamiento. Es conveniente hacer mención que tanto las empresas como los técnicos tienen las siguientes ventajas con esta "Norma nacional":

1. Los cursos de capacitación serán dictados con un temario homogéneo, con lo cual se evitarán en lo posible los cursos de mala calidad o improvisados.

2. Los exámenes de calificación serán aplicados en español; lo que ayudará a aquellos técnicos que no dominen un idioma extranjero, como es el inglés.

3. La calificación será obtenida en el país, con lo que los gastos de transportación y hospedaje se reducirán.

La Norma fue enviada a encuesta durante 1990; se aprobó en diciembre

de ese mismo año y se publicó en 1991 en el "Diario Oficial de la Federación".

## CONCLUSIONES.

Los Ensayos no Destructivos ayudan a detectar aquellas discontinuidades superficiales o subsuperficiales que afectan la calidad o la operación de un equipo o servicio.

Debido a su universo de trabajo o campo de acción, los END se han dividido en Sistemas de Inspección Superficial, de Inspección Volumétrica y de Inspección de la Integridad o de la Hermeticidad.

Estas técnicas no sustituyen a los Ensayos Destructivos, sino que los complementan. Así mismo, los sistemas se complementan entre sí respecto a la información que se requiere para realizar un inspección, de acuerdo al campo de acción de cada método.

La confiabilidad de estos sistemas de inspección depende de la selección correcta, así como de la técnica o variantes escogida; ya que cada una tiene sus ventajas y limitaciones; por lo que una mala selección traerá como consecuencia resultados poco confiables, no repetitivos así como pérdidas de tiempo y recursos.

Por otra parte, el equipo o materiales consumibles también pueden afectar adversamente a la confiabilidad de los Ensayos no Destructivos; ya que un equipo o material de mala calidad, es decir, que no cumpla con los requisitos mínimos como son los certificados de contaminantes o de sensibilidad para la detección de pequeñas indicaciones, más que una inversión para mejorar o asegurar la integridad de la pieza que se inspecciona, es un gasto que no producirá los beneficios esperados.

Cabe recordar que para lograr que los END sean confiables, los equipos o sistemas de inspección deben ser verificados semestralmente y algunas normas y códigos de uso internacional exigen que el equipo sea calibrado y revisado en sus componentes electrónicos al menos una vez al año por un taller autorizado por el fabricante. Por lo que el proveedor del equipo debe garantizar este servicio.

El factor humano es otro elemento importante a considerar con respecto a los END, porque los inspectores deben ser capacitados y calificados, y deben tener una experiencia que permita asegurar que sus resultados sean confiables, repetitivos y reproducibles.

En la República Mexicana existe la incipiente labor para crear un organismo, el cual esté facultado y cuente con dicha autoridad a nivel nacional para realizar las actividades de certificación del personal que realiza END. Para lo anterior, gracias al interés de la industria nacional, ha comenzado a generarse la normatividad pertinente al caso y que será de capital importancia para establecer y regular las funciones de un comité nacional de certificación.

Este es el final de *Introducción a los ensayos no destructivos*. Esperamos que la meta para la cual fue escrito se haya cumplido a través de la lectura y estudio del mismo. En cuanto a los END, falta mucho por desarrollar; de igual modo, el presente texto apenas es una modesta invitación para adentrarse en el estudio serio de las técnicas, tanto de Inspección Superficial como Volumétrica, a partir de los libros que para tal fin se han elaborado.

## BIBLIOGRAFIA

GARCÍA Cueto, Alfonso R., *Ensayos no destructivos por la técnica de líquidos penetrantes*, México, 1988.

-----*Ensayos no destructivos por la técnica de Radiografía Industrial*, México, 1991.

-----*Ensayos no destructivos por la técnica de Ultrasonido Industrial*, México, 1989.

-----*Introducción a los ensayos no destructivos*, 2a ed., México, 1991.



*Introducción a los ensayos no destructivos* se terminó de imprimir el 30 de noviembre, en Impresos del Valle, trabajo al cuidado del Sr. José Palafox. México, Distrito Federal, 1992.