



*Ministerio de Educación,
Cultura, Ciencia y Tecnología
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Haedo*

MAESTRIA EN INGENIERIA ESTRUCTURAL MECANICA

CONTENIDOS

Curso 1: Componentes Contenedores de Presión, Tanques, Hornos y Cañerías

1. Cálculo y Diseño de Recipientes Contenedores de Presión y Tanques

- ✓ **Descripción general de recipientes y tanques de almacenamiento.**
Tipo de recipientes. Recipientes de presión, de almacenamiento esférico y cilindros (tanques). Intercambiadores de calor. Detalle de las partes componentes. Su clasificación de acuerdo con el código ASME.
- ✓ **Códigos y Normas. Antecedentes.**
Antecedentes del código ASME. Códigos y normas utilizadas en el diseño y verificación de recipientes. ASME Sección VIII División 1 y 2. otras normas: DIN, AD-MERKBLATTER, TRD. VDI, KTA, API (tanques).
- ✓ **Materiales, Requerimientos de los Códigos y Fallas Típicas.**
Aceros al Carbono y Materiales de alta aleación, inoxidable, utilizados en recipientes y cañerías. Normas ASTM y ASME II "Material Specifications". Tratamientos Térmicos y/o Alivio de Tensiones. Corrosión. Efecto por altas temperaturas y Creep. Fractura frágil, Efectos por Hidrógeno. Fallas en servicio en recipientes de presión.
- ✓ **Cargas aplicadas. Categorías de Tensiones Límites y Admisibles.**
Criterio de Rotura. Cargas aplicadas en recipientes: peso propio, térmicas, presión interior y exterior (vacío), localizadas, viento s/ CIRSOC 102, sismo s/ CIRSOC 103, nieve s/CIRSOC 104, fluido dinámicas, etc.
Tensiones admisibles de acuerdo con el material utilizado, factor de seguridad, clasificación de tensiones. Límites de tensiones en función del nivel de servicio (diseño, operación, prueba, emergencia y falla). Criterios de rotura aplicada a equipos de acero de carbono
- ✓ **Utilización de normas.**
Dimensionamiento general. Determinación de espesores de recipientes (envolventes y cabezales) sometidos a presión interior y exterior. Solicitaciones sobre recipientes horizontales y verticales debido a cargas de diseño, operación. Análisis de fatiga, vibraciones y pandeo. Dimensionamiento utilizando la teoría de Lamé. Comparación de resultados obtenidos con normas y soluciones analíticas. Análisis de discontinuidad.
- ✓ **Cargas localizadas en conexiones y bridas. Suportación y uniones.**
Tipos de conexiones y bridas. Códigos de cálculo. Método de Bijlard (boletín 107 de la Welding Research Council). Otras normas BRITISH Standard. Soluciones analíticas y/o numéricas utilizadas cuando no es aplicable el código de cálculo. Intersección de conexiones con cabezales cuadrados (aeroenfriadores). Tipos de suportación en



*Ministerio de Educación,
Cultura, Ciencia y Tecnología
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Haedo*

recipientes verticales y horizontales, método de Zick. Silleta, polleras, estructuras de apoyo, etc. Medios de unión de equipos con bulones y soldadura. Ejemplos de aplicación.

- ✓ Intercambios de calor
Últimos avances en el cálculo sin códigos. Tipos, clasificación de intercambiadores utilizados en la industria. Lineamientos de diseño mecánico según la norma TEMA y ASME VIII Div. 1 Appendice A y AA.
- ✓ Tanques de almacenamiento construidos en obra y taller.
cálculo de tanques según norma API 650 para tanques construidos en obra y API 650 Apéndice J para tanques construidos en taller. Ejemplos de aplicación.
- ✓ Procesos de fabricación de recipientes y tanques.
Inspecciones
- ✓ Visita Técnica a Calderería.

2. Diseño de Hornos de Proceso y Calderas

- ✓ Hornos de Proceso
Tipos de hornos. Primeros hornos. Su clasificación. Secciones de calentamiento: radiante y convectiva. Materiales utilizados en la fabricación. Parámetros que condicionan la vida útil de los hornos. Influencia de la presión, la temperatura y el medio. Causas de deterioro. Mecanismos de deterioros operativos y ambientales. Deterioro de los tubos. Casos prácticos. Cambios estructurales, químicos y físicos. Deterioro de otros componentes. Casos prácticos. Análisis de fallas. Casos prácticos. Análisis de falla en hornos de reformado.
- ✓ Calderas
Tipos de calderas. Su clasificación. Concepto de energía y sus formas. Calderas humo-tubulares y acuo-tubulares. Esquema simplificado de una unidad generadora de vapor. Problemas en calderas de baja presión. Efecto de los depósitos e incrustaciones. Relación entre el espesor de depósito y pérdidas de transferencia térmica. Corrosión en calderas. Parámetros que condicionan la vida útil de las calderas. Causas responsables de los deterioros. Principales materiales. Aceros al carbono, de baja, media y alta aleación. Efecto de la temperatura sobre los materiales. Evaluación de la resistencia a elevadas temperaturas. Cambios estructurales. Cambios químicos. Cambios físicos. Efectos combinados de la presión y la temperatura. Análisis de fallas. Casos prácticos.

3. Cálculo y Diseño de Líneas de Cañerías.

- ✓ Descripción general de cañerías.
Tipos de cañerías, descripción general, accesorios de una línea de cañería: bridas, codos, tee, reducciones, etc. Isometrías. Cañerías



*Ministerio de Educación,
Cultura, Ciencia y Tecnología
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Haedo*

- aéreas y enterradas. Suportación, tipos de soportes: rígidos, flexibles, constantes y variables. Selección y aplicación en la industria. Soportes antilátigos. Nociones sobre criterios de modelización computacional
- ✓ Códigos y Materiales.
Códigos y normas utilizadas en el diseño y verificación de cañerías: ANSI B311, ANSI B313, ASME, SECCION III nuclear y convencional. Otras normas. Materiales utilizados en la industria. Su selección. Requerimientos de los códigos. Materiales especiales, inoxidables, etc.
 - ✓ Cargas aplicadas y categorías de tensiones según el código.
Cargas aplicadas: peso propio, térmicas, presión interior y exterior, localizadas, viento, sismo, nieve, fluido dinámicas, cargas debido a rotura, etc. Tensiones admisibles de acuerdo con el material utilizado, clasificación de tensiones. Límites de tensión en función del nivel de servicio (diseño, operación, prueba, emergencia y falla)
 - ✓ Dimensionamiento general de cañerías.
Dimensionamiento general según versión americana y europea. Introducción al cálculo de flexibilidad. Factores de intensificación de tensiones: concepto, cálculo y determinación. Análisis de fatiga, vibraciones. Tópicos de programas comerciales con introducción y retroalimentación en los temas precedentes. Ejemplos de aplicación.

4. Proyecto

- ✓ Introducción para la realización de una planta de tratamiento de petróleo o destilería.
Interpretación de los diagramas de proceso. Ingeniería básica. Estudios de suelo y del terreno (planialtimétricos). Obra civil. Fundaciones y recintos de seguridad. Confección de lay-out general de la planta. Isométricos generales y constructivos. Planos de conjunto, detalles y llave listado de materiales y especificaciones de la planta. Ingeniería de detalle de equipos y recipientes/ tanques. Memorias de cálculo. Sistemas auxiliares: contra incendio, iluminación y control, calefacción de cañerías y tanques.
Pliego técnico, especificaciones. Calificación de empresas contratistas.

Curso 2: Análisis de Tensiones y Mecánica Computacional.

1. Introducción a la mecánica computacional.

- ✓ Introducción del Método de Elementos finitos.
El enfoque directo. Definición de elementos y propiedades (transformación). Ensamblado de partes. Características de la matriz de rigidez "K". El enfoque matemático y variacional. Tipos de funcionales en la mecánica y física. El método de elementos finitos. Definición de elementos y propiedades. Ensamblado y matriz de rigidez. Bases necesarias para el usuario de programas de elementos finitos. Tipos de



*Ministerio de Educación,
Cultura, Ciencia y Tecnología
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Haedo*

- elementos. Funciones de interpolación. Elementos isoparamétricos. Integración numérica. Condiciones de borde y tipos de carga. Evaluación del error modelo propuesto.
- ✓ Problemas de elasticidad y térmicos.
Problemas planos y con simetría de revolución. Elementos estructurales tridimensionales de vigas, placas y cáscaras. Alcances y capacidades. Modelización. Análisis de problema a resolver. Cuando se usa el método, su idealización y evaluación de resultados. Interpretación de efectos térmicos utilizando el MEF. Funcional de transferencia de calor.
- ✓ Introducción al análisis no lineal y vibraciones.
Problemas de elasticidad y contacto. Bases del problema. No-linealidad física y geométrica. Esquemas de cálculo. Análisis de vibraciones y problemas dinámicos.
- ✓ Aplicaciones en mecánica de la fractura y fatiga.
Determinación del Factor de Intensificación de Tensiones en recipientes y cañerías sometidos a presión y cargas externas que presentan figuras, mediante soluciones analíticas y elementos finitos. Comparación de resultados con respecto a los obtenidos en ensayos mecánicos. Diferencias de los resultados en la obtención del parámetro K1, utilizando diferentes métodos energéticos en la resolución mediante elementos finitos.
- ✓ Estudios de Casos
Cuando se utiliza un programa de elementos finitos para resolver un problema físico real. Interpretación de resultados.
- ✓ Introducción al uso de Programas de Cálculo.
Introducción al uso práctico de un programa de elementos finitos. Hipótesis de trabajo. Biblioteca de elementos. Alcances y capacidades. Tipos de análisis y cargas. Evaluación de resultados. Interacción con herramientas de diseño tipo CAD. Optimización y verificación,
- ✓ Uso de programas de calculo.
Introducción del programa ABAQUS u otro.

2. Análisis de tensiones

- ✓ El concepto de análisis de tensiones.
Otras metodologías de cálculo numéricas o analíticas. El método de elementos finitos. El concepto de análisis de tensiones. Optimización y Verificación. Clasificación de tensiones de acuerdo con el código ASME Sección VIII, DIV. 2: diseño por análisis. Cuando no es aplicable el cálculo según códigos (ASME u otros) y es necesario utilizar el método de elementos finitos.
- ✓ Estados de carga.
Su interpretación y aplicación en la modelización computacional. Cargas mecánicas y térmicas. Aplicadas en equipos tales como peso propio, presión interior y exterior (vacío) localizadas, viento s/ CIRSOC



*Ministerio de Educación,
Cultura, Ciencia y Tecnología
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Haedo*

- 102, sismo s/ CIRSOC 103, otras cargas. Su interpretación en el método de elementos finitos. Interpretación de cargas térmicas en elementos finitos. Shock térmico.
- ✓ Análisis de tensiones “Stress Analysis”.
Análisis de tensiones en recipientes contenedores de presión y tanques cisternas. La utilización del método de elementos finitos en conjunto con otras áreas temáticas. Análisis de fatiga.

Curso 3: Diseño y Tecnología de la Soldadura

- ✓ Clasificación de los procesos de soldadura.
Introducción. Soldadura por arco. Soldadura por resistencia y flash welding. Soldadura de estado sólido. Electron beam welding. Soldadura láser. Unión adhesiva. Metalizado. Procesos de corte.
- ✓ Física del arco y flujo de calor en soldadura.
Introducción fuentes de energía en soldadura. Características del arco eléctrico. Transferencia metálica. Fundamentos del flujo de calor. Calculo del calor apropiado.
- ✓ Materiales utilizados para construcciones metálicas.
Aceros al carbono y aleados, clasificación de acuerdo con sus aplicaciones según normas, propiedades mecánicas. Aceros inoxidables: tipos y clasificación según normas, propiedades mecánicas. Aleaciones de aluminio y materiales no ferrosos: tipos y clasificación,
- ✓ Metalurgia de la soldadura.
Introducción. Metalurgia de la soldadura, solidificación. Soldabilidad de aceros concepto de carbono equivalente. Velocidades de enfriamiento $t_8/5$. Diagramas CCT. Calculo del precalentamiento. Soldabilidad de aleaciones de aluminio y otras no ferrosas.
- ✓ Consumibles para soldadura.
Clasificación de consumibles, criterios de selección. Agrupamiento según normas.
- ✓ Diseño de uniones soldadas.
Diseño de uniones soldadas por junta y de filete, propiedades requeridas, resistencia mecánica a baja o alta temperatura, a esfuerzos estáticos o dinámicos, a esfuerzos de fatiga. Resistencia por ataque químico y desgaste. Calculo de la soldadura por filete. Códigos y especificaciones aplicables. Tipos de juntas.
- ✓ Procedimientos de soldadura.
Definición y finalidad de un procedimiento de soldadura. Variables esenciales y no esenciales. Concepto e influencia en las propiedades de la unión. Especificación de procedimiento, códigos ASME, API, AWS D1.1.
- ✓ Procesos de soldadura por arco y corte.
Soldadura manual con electrodos revestidos, tipos de fuentes, características eléctricas. Soldadura semiautomática con protección



*Ministerio de Educación,
Cultura, Ciencia y Tecnología
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Haedo*

gaseosa (MAG-MIG) con alambre macizo y/o alambre tubular (GMAW;FCAW) tipos de fuentes, características eléctricas, variables optativas. Soldadura con electrodo de tungsteno bajo atmósfera inerte (TIG), fuentes, características eléctricas, variables operativas. Procesos de corte, plasma, oxicorte, características de los procesos, variables, automatización en corte. Automatización en procesos de soldadura.

- ✓ Tensiones residuales y distorsión.
Distorsión y deformaciones, defectos de la soldadura. Tipos y causas de las deformaciones y distorsiones. Prevención, predeformación, compensación por secuencias. Controles durante la ejecución, corrección de las deformaciones. Tensiones residuales, causas y soluciones.
- ✓ Calidad de la soldadura e inspección.
Defectos de la soldadura. Los conceptos de discontinuidad y defecto. Discontinuidades: características, causas y riesgos. Clasificación de discontinuidades inherentes a distintos procesos.
- ✓ Ensayos para la evaluación de soldaduras.
Ensayos mecánicos, metalográficos, químicos y END de las uniones soldadas: ensayos de tracción, plegado, resiliencia y tenacidad a la fractura, micro dureza. Exámenes END: radiografía, ultrasonido, tintas penetrantes, partículas magnéticas. Calificación de procedimiento de soldadura.
- ✓ Evaluación de defectos.
Evaluación de defectos de soldadura, criterios de aceptación y rechazo según los códigos. Análisis de significación de defectos por método de mecánica de la fractura.

Curso 4: Metodologías de Diseño avanzado e Integridad Estructural

- ✓ Generalidades.
Clasificación de las solicitaciones. Concepto de fractura. Tipos. Aspectos de la superficie. Deformaciones. Fractura ínter granular y transgranular. Fractura dúctil y frágil, clivaje, cuasiclivaje. Conceptos de diseño. Coeficientes de seguridad. Hipótesis de falla. Evolución de la disciplina.
- ✓ Mecánica de fractura lineal elástica.
Conceptos. Teorías de Griffith. Cálculos energéticos. Modos de falla. Factor de intensidad de tensiones K. Parámetro G. Solución de Irwin. Estado plano de tensiones y estado plano de deformaciones. Tenacidad a la fractura K_{ic}. Realización de ensayos de laboratorio, según la norma ASTM E-399. Introducción al funcionamiento de la maquinaria e instrumental de ensayo. Aplicaciones. Factores de corrección. Curva R. Influencia de la temperatura. Concepto de Leak Before Break. Aplicación de los conceptos en la resolución de problemas reales presentándose distintas geometrías para la aplicación de los parámetros.



*Ministerio de Educación,
Cultura, Ciencia y Tecnología
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Haedo*

- ✓ Fatiga.
Conceptos de fatiga. Fatiga a bajo y alto número de ciclos. Efectos. Superficies de fractura. Ecuación de París. Curvas. Aplicaciones. Integración de la curva. Ciclos remanentes. Aplicaciones dinámicas de los equipos de ensayo, su funcionamiento y operación. Ensayos de laboratorio, según la norma ASTM E-647. Trazado de curva mediante método computacional con programa desarrollado por alumnos y obtención de parámetros.
- ✓ Mecánica de Fractura Elasto- Plástica.
Concepto de radio plástico. Desplazamiento de la boca de fisura. COD. Normas BSI. Campos de aplicación de la MFLE y la MFEP. Concepto de compílansé. Concepto de integral J. Modulo de desgarro T. Curva J-R. Ensayos para la determinación de J_y curvas J-R, ASTM E 812, ASTM E-1152. Métodos de única probeta y multiprobetas. Distintos conceptos de la Critico. Zona Stretch. Aplicaciones del concepto elasto-plástico.
- ✓ El concepto de carga limite.
Concepto de carga límite. Aplicaciones. Códigos que consideran el concepto de carga límite. Ejemplos. Diferencias entre los distintos códigos.
- ✓ Cargas dinámicas y efectos de la temperatura.
Conceptos de ensayos dinámicos. Métodos. Parámetros. Relación entre la energía CVN y los parámetros de fractura. Zonas de energía superior e inferior. Curva de transición. Criterios para la evaluación de la zona de transición. Parámetros. Definición de TNDT. Características de los distintos materiales. Otros métodos para definir la transición, Drop Weight Test. Conceptos de Creep. Métodos de ensayo Creep. Ensayos Charpy V con posterior trazado y ajuste de curva mediante PC a partir de los datos obtenidos. Obtención de la TNDT.
- ✓ Corrosión bajo Tensión.
Efectos de la corrosión en fisuras. Concepto de KISCC. Curvas. FCBT en diseño.
- ✓ Aplicaciones, Diseño, Análisis de Falla, Vida Residual.
Diseño de vida infinita. De vida segura. De falla segura. Análisis de falla. Técnicas de observación. Fractografía. Evaluación. Microscopio electrónico de barrido. Curvas de vida. Mecanismo de daño. Técnicas para evaluación de vida residual.

Curso 5: Evaluación y Aptitud de Equipos para el Servicio.

- ✓ El diseño eficiente y fallas típicas de equipos durante el servicio.
- ✓ Evaluación de equipos en servicio. Aptitud para el servicio. Alcances y procedimientos, metodología y evaluación. Criterios de aceptación. Análisis de vida remanente. Aplicación de los códigos en el tratamiento de equipos frente a:
 - Fractura frágil.



*Ministerio de Educación,
Cultura, Ciencia y Tecnología
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Haedo*

- Pérdida localizada y generalizada de espesor.
- Componentes fisurados.
- Daño por fuego y creep.
- ✓ Normativas de aplicación, API 510, API 653 y 579
- ✓ Inspección Basada en Riesgo "RBI", metodología, inspección, métodos cualitativo y cuantitativo. Consecuencia de la falla y del daño. Frecuencia de la falla. Códigos de aplicación, API 581.
- ✓ Análisis de tensiones y vida residual en componentes.
Detección de fisuras en recipientes contenedores de presión y tanques cisternas. El método de elementos finitos en conjunto con la Mecánica de fractura para evaluar una fisura. Análisis de fatiga y vida residual en recipientes contenedores de presión.
- ✓ El programa de evaluación de integridad estructural de cilindros contenedores de presión para su incorporación en la norma IRAM
- ✓ Estudios de casos
- ✓ Estudio de Vida Remanente de una Columna de Destilación de una planta petroquímica. Memoria Descriptiva.

Curso 6: Ondas Elásticas y Vibraciones

- ✓ Introducción.
Ondas elásticas en sólidos, ondas armónicas, ondas esféricas, solución estacionaria, ondas de superficie, ondas de Love, ondas Lamb, velocidad de propagación, dispersión, atenuación, tipos de atenuación en metales, características de las señales y parámetros, transductores sensores piezoeléctricos, campo lejano y cercano, resolución, desdoblamiento, espectro elástico de las ondas, infrasonidos, emisión acústica, ultrasonidos. Problemas y práctica en el laboratorio: medición de la velocidad de las ondas elásticas en un metal.
- ✓ Caracterización de Materiales con Ondas Elásticas.
Ecuaciones, constantes del material, equipos, atenuaciones y características del metal, tamaño de grano, velocidad y constantes elásticas del metal, aplicaciones a recipientes metálicos, caso de materiales compuestos. Problemas y práctica en el laboratorio: caracterización de un material con ondas elásticas.
- ✓ Emisión Acústica.
Aspectos fundamentales, equipos de EA, ruido, guía de onda, burst, amplitud, duración, rise-time, fuente de EA en metales, caso del hierro, ubicación lineal de fuentes, ubicación superficial, caso de esferas, tiempo máximo y mínimo, canales guarda, simuladores, estadísticas, distribución de amplitudes de los eventos, distribución temporal, análisis frecuencial, transformada wavelet, ruido 1/f, simulación de eventos EA. Problemas y prácticas en el laboratorio: emisión acústica durante un ensayo de tracción.
- ✓ Aplicaciones de la Emisión Acústica.



*Ministerio de Educación,
Cultura, Ciencia y Tecnología
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Haedo*

Fuentes de EA en los materiales, aplicaciones en: esferas, uniones soldadas, materiales en compuestos, maquinas herramientas, rodamientos, tubos de GNC. Detección de pérdidas, descargas parciales en transformadores de alta tensión, análisis de falla en cojinetes a rodamientos usando EA.

✓ Introducción a las Vibraciones.

Pequeñas oscilaciones, oscilación lineal, vibraciones con y sin amortiguamiento, forzadas, sistema con varios grados de libertad, modos normales, determinación de las frecuencias normales. Método de energía (Rayleigh). Método de Ritz, respuesta impulsiva, vibraciones aleatorias, análisis espectral. Problemas y práctica en el laboratorio: medición de la velocidad de las ondas elásticas en un Metal.

Caracterización de un material con ondas elásticas. Emisión acústica durante un ensayo de tracción. Modos de vibración.

✓ Medición de las Vibraciones.

Causas. Parámetros típicos que caracterizan a una vibración. Unidades. Conversión entre mediciones pico, pico a pico y RMS. Forma de detección de una onda. Amplitud de una vibración. Relación entre desplazamiento, velocidad y aceleración. Conceptos de medición de fase. Ejemplos de uso. Determinación de la fase utilizando una fotocélula o un pulso tacométrico. Concepto de espectro de una vibración. La FFT. Frecuencias naturales. Filtrado digital. Usos.

✓ Instrumentación.

Composición de una cadena de medición. Tipo de sensores: desplazamiento, velocidad, y aceleración. Diferentes tipos de acelerómetros: de uso general, de baja frecuencia, de altas frecuencias, de montaje permanente. Formas de montaje del sensor. Selección del sensor más adecuado a la aplicación. Sensores de proximidad.

✓ Colector-analizador digital de datos.

Rango dinámico. Concepto de aliasing. Filtros. Modo analizador: rango de frecuencias, resolución en frecuencia, número de promedios, de líneas de FFT, , selección de unidades, modos de disparo, tipo de escala (lineal, logarítmica, decibeles), ancho de banda, efecto rendija, selección del tipo de ventana (Uniforme, Hanning o Flat Top), formas de promediar espectros (Lineal, exponencial, "peak hold"), selección del tipo y número de promedios, formas de disparo, usos y problemas de solapamiento en la señal.. Cómo analizar un espectro. Concepto de orden, subarmónicos y armónicos. Vibraciones sincrónicas. Análisis de la forma de onda temporal. Batido y modulación. Bandas laterales en un espectro. Pulsaciones, impactos, señales aleatorias.

✓ Standard de vibraciones.

Tendencias. Alarmas. Niveles de vibración. Alarma estadísticas. Alarma de tendencias. Alarma por envolvente espectral. Bandas.



*Ministerio de Educación,
Cultura, Ciencia y Tecnología
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Haedo*

- Normas de vibraciones. ISO 10816. Norma AGMA 6000-A88. Norma ISO 8579-2 y Norma ISO 7919.
- ✓ Análisis y diagnóstico de fallas.
Bajas frecuencias. Uso del análisis espectral de una vibración. Fuentes y causas de una vibración. Desbalanceo, desalineación de ejes, soltura mecánica, excentricidad, rozamiento, cojinetes de fricción, transmisiones a correas, fuerza aerodinámica e hidráulica, problemas eléctricos en motores de inducción. Frecuencia de paso de las ranuras, excentricidad estática y excentricidad dinámica, laminaciones y espiras en corto, barras y anillos extremos rotas o agrietadas, corrientes desbalanceadas.
 - ✓ Balanceo.
Balanceo de rotores. Tipos de desbalanceo. Desbalanceo en rotores rígidos y flexibles. Normas de tolerancia de desequilibrio. Balanceo in situ. Balanceo en dos planos
 - ✓ Sensores de proximidad.
Descripción. Montaje. Calibración. Aplicación en la medición de fase. Características de la fase en diferentes situaciones: desbalanceo, desalineación, partes sueltas, etc. Concepto de medición de fase. Fase relativa. El trigger. Disposición X-Y de los sensores de proximidad. Medición de la fase, diferentes métodos. Filtrado y vector de vibración. Análisis de los gráficos desplazamiento – tiempo de señales sin filtrar y filtradas. Marca de referencia (Keyphasor).
 - ✓ Órbitas y Gráficos.
Concepto y construcción de órbitas. Compensación de órbitas. Información contenida en las órbitas. Diagramas combinados órbita y desplazamiento - tiempo. Formas de órbitas características de diferentes eventos. Graficación de la posición promedio del eje. Construcción gráfica. Análisis de la información que brinda. Gráficos polares, Bode y APHT. Descripción y construcción de los mismos. Análisis de la información contenida en los mismos. Espectros Standard y espectros completos. Construcción. Presentación de espectros en cascada. Uso en estados transientes y estacionarios.
 - ✓ Modelación de un rotor.
Suposiciones simplificadoras. Sistemas de coordenadas y vector de posición. Un modelo simple para la circulación del fluido. Fuerza y elasticidad en la película de fluido en los cojinetes de fricción. Otras fuentes. Fuerza de amortiguamiento. Fuerzas perturbativas. Diagrama de cuerpo libre. Ecuación de movimiento. Solución. Elasticidad dinámica no sincrónica. Amplitud y fase de la vibración. Respuesta de un rotor a una carga estática radial. Respuesta sincrónica. Diagramas de Bode y polar de la respuesta. Beneficios y limitaciones de un modelo simple. Otros modelos. Como afectan a las vibraciones los cambios en la elasticidad dinámica. Modos de vibración. Parámetros modales. Medición de la forma modal.



*Ministerio de Educación,
Cultura, Ciencia y Tecnología
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Haedo*

- ✓ Cojinetes de fricción.
Problemas en cojinetes de fricción. Características básicas de diseño. Mecanismos de fallas. Tipos de cojinetes. Problemas en cojinetes cilíndricos radiales. Vibraciones autoexcitadas. Inestabilidad hidrodinámica. Batido de aceite. Caracterización espectral. Inestabilidad por latigazo de aceite. Umbral de inestabilidad de este fenómeno. Características espectrales.

Curso 7: Técnicas de Medición mediante Ensayos No Destructivos y Metalurgia

- ✓ Conocimientos generales.
Introducción. Ensayos no destructivos como disciplina tecnológica. Definición y metodología de aplicación. Clasificación de los métodos según campo de energía aplicada. Campo de aplicación y limitaciones. Problemas que son objeto de la aplicación de los END.
- ✓ Líquidos Penetrantes.
Introducción, fundamentos del método, clasificación de los líquidos penetrantes, procesos. Preparación de los especímenes a examinar, aplicación del penetrante, remoción del exceso penetrante, revelado. Observación y evaluación de las indicaciones. Presentación de los resultados, equipamiento, examen de piezas aisladas, instalaciones fijas, fuentes de iluminación, evaluación de los líquidos penetrantes.
- ✓ Partículas Magnéticas.
Introducción, fundamentos teóricos, campos magnéticos, inducidos eléctricamente, clasificación de las técnicas de ensayo, residual o remanente, continua. Modos de magnetización, circular, longitudinal, por corrientes inducidas, combinada, tipos de corriente para magnetizar, alterna, monofásica, rectificada. Partículas magnéticas, características y técnicas de aplicación, variedades, técnica seca, técnica húmeda, ventajas y desventajas. Desmagnetización, técnicas y equipos, indicaciones relevantes o aparentes, método y registro de las indicaciones, magnetización, elementos y accesorios.
- ✓ Corrientes Inducidas.
Introducción. Área de aplicación, principios básicos, equipo básico, accesorios, limitaciones. Características. Técnicas de ensayo. Calibración.
- ✓ Radiografía Industrial.
Rayos X: Introducción, naturaleza de la radiación utilizada, producción de rayos x, generación de rayos x, equipos de rayos x, influencia de la tensión y la corriente anódica, equipos comerciales, la práctica radiográfica, densidad contraste, definición, selección de la radiación, factores geométricos. Película radiográfica, procesado, pantallas, factores que gobiernan la exposición, radiación dispersa, sensibilidad radiográfica, indicadores de calidad de imagen, reglas generales. Interpretación, seguridad radiológica, unidades usadas, efectos biológicos, principios básicos, normas y regulaciones limitaciones de



*Ministerio de Educación,
Cultura, Ciencia y Tecnología
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Haedo*

- las exposiciones, detección y medición, requerimientos generales de inseguridad en instrumentos y equipos.
- ✓ Ultrasonido.
Ultrasonido, Introducción, características del ensayo ultrasónico, fundamentos físicos, ondas ultrasónicas, longitudinales, transversales, superficiales, de λ . Velocidad de propagación, reflexión de haz, refracción, conversión de modos de propagación, formación del haz, atenuación, absorción, dispersión. Sondas ultrasónicas, características, diseño, acoplamiento. Técnicas de ensayo, reflexión, transmisión, resonancia, equipos, detección y ubicación de defectos, calibración y ajuste, comprobación del equipo.
 - ✓ Metalurgia Física.
Nociones generales. Metales. Estructuras cristalinas. Defectos. Propiedades. Cristalización. Mecanismos. Estructura granular. Defectos.
 - ✓ Aleaciones.
Constitución. Mezclas. Soluciones sólidas. Compuestos. Diagramas de equilibrio. Tipos. Clasificación. Constituyentes. Estructuras. Propiedades. Usos. Normas.
 - ✓ Aleaciones Ferrosas y Aleaciones no Ferrosas.
Aceros al carbono. Funciones. Aceros aleados. Estructura metalográfica. Propiedades. Clasificación. Normas. Aluminio y sus aleaciones. Cobre y sus aleaciones. Otras aleaciones. Estructuras metalográfica. Propiedades. Clasificación. Usos.
 - ✓ Tratamientos térmicos.
Concepto de transformación térmica. Factores que los regulan. Estructuras metalográficas. Propiedades. Clasificación. Usos. defectos.
 - ✓ Técnicas Metalográficas.
Extracción de muestras. Preparación de muestras. Instrumentos utilizados. Microscopia. Microscopía. Caracterización de defectos. Morfología de fallas.
 - ✓ Metodologías aplicadas para determinar el Estado de los Materiales de un Componente en Servicio.
Estudio de casos.
 - ✓ Detalle del Desarrollo de Prácticas.
Ensayo con elementos de ayuda óptica, endoscopios. Ensayo con líquidos penetrantes, interpretación, informe, archivo. Ensayo por partículas magnetizables, equipos, fijos y portátiles, desmagnetización, interpretación, informe, archivo. Ensayo por corrientes parásitas, equipos, accesorios, calibración, interpretación, evaluación de defectos. Radiografía industrial, ensayo radiográfico, equipo, accesorios, penetrómetros, densitómetros, revelado, cálculo de exposiciones, variables, densidad, tiempo, etc. ensayo por ultrasonidos, equipo, accesorios, calibración, interpretación, bloques de calibración, cálculos de ángulos, distancia, procedimientos. Prácticas metalográficas. Obtención de probetas. Observación. Determinación de los



*Ministerio de Educación,
Cultura, Ciencia y Tecnología
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Haedo*

componentes micro estructurales. Fisuras. Defectos en el proceso de fabricación y en servicio. Utilización del instrumental pertinente en cada caso. Técnicas de obtención de micrografías y registro de las observaciones.

- ✓ Materiales utilizados en el diseño de Recipientes y Cañerías. Clasificación de acuerdo a los códigos ASME II y ASME VIII DIV 1, normas europeas. Características de los materiales según su procedencia. Requerimientos mínimos para aceros al carbono e inoxidables. Comportamiento a bajas temperaturas. Requerimientos de Charpy. Tratamientos térmicos.
- ✓ Microscopía Electrónica Introducción al uso del Equipo de Medición. Determinación de parámetros físico-químicos, Espectro de Barrido. Estudio de Casos.

Curso 8: Evaluación Experimental de Tensiones.

- ✓ Aplicación del método experimental. Aplicación del método experimental. Métodos de laboratorio empleados en ingeniería mecánica. Técnicas estadísticas. Métodos experimentales para la determinación de deformaciones y tensiones en componentes estructurales. Medición por strain-gages. Compensación. Formas de conexión (tipos de puentes). Determinación de deformaciones y tensiones principales. Aplicación de strain-gages como transductores. Técnica y práctica de pegado y conexión. Métodos de adquisición y procesamiento de la información experimental. Instrumentación y ejecución de ensayos estructurales.
- ✓ Determinación y planificación de ensayos estructurales. Definición del problema. Determinación del método de ensayo más conveniente. Determinación de la instrumentación. Selección de los métodos de calibración adecuada. Definición de los sistemas de fijación y aplicación de cargas. Elaboración de los métodos de cálculo y procesamiento de la información de ensayo. Determinación experimental de deformaciones y tensiones en tuberías y recipientes presurizados. Estimación de vida de fatiga y daño tolerado en tuberías y recipientes presurizados. Confección de informes técnicos y memoria técnica de ensayo.
- ✓ Trabajos Prácticos en Laboratorio.
 - T.P.1 Análisis estadístico de mediciones, determinación del valor medio, medida de la dispersión de errores, tamaño de la muestra.
 - T.P.2 Práctica de pegado, conexión y calibración de Strain-Gages (SG).
 - T.P.3 Determinación de deformaciones y tensiones principales en componentes estructurales por extensometría con distintos tipos de rosetas de Strain-Gages .



*Ministerio de Educación,
Cultura, Ciencia y Tecnología
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Haedo*

T.P.4 Cálculo de deformaciones y tensiones por Strain-Gages (SG), determinación experimental del Módulo de Elasticidad y de Poisson.

T.P.5 Determinación de deformaciones y tensiones principales en tuberías y recipientes presurizados

T.P.6 Partiendo de la información experimental estima de la vida de fatiga y daño tolerado de recipientes presurizados bajo distintos espectros de carga

T.P.7 Confección de informes técnicos de acuerdo a las experiencias realizadas en el laboratorio.

Curso 9: Gestión de Calidad y Certificación

- ✓ Requisitos de las autoridades regulatorias.
Descripción de requerimientos impuestos por diferentes autoridades que regulan el control de equipos contenedores de presión, Su aplicación en nuestro país. Alcances generales
- ✓ Propósito de un sistema de gestión de calidad.
Características particulares en cuanto a la necesidad de contar con un sistema de calidad, tanto en el Departamento de ingeniería y el Taller. Su importancia en la compra de suministro, control de fabricación y homologación. Normas ISO y Calificación y Estampa ASME. Alcances de la Certificación.
- ✓ Modelos de sistemas de calidad más usuales en la industria: recomendaciones de los códigos aplicables, prácticas recomendadas. Su uso en la industria convencional y nuclear.
- ✓ Documentos y registros requeridos.
Preparación y elaboración de documentos en el departamento de ingeniería y el taller. Estudio de Casos.
- ✓ Revisiones del diseño.
Procedimiento para la ejecución y control de documentación técnica, revisiones, sistema de gestión. Estudio de Casos.
- ✓ Auditoría del sistema de calidad.
Control de la ejecución del Sistema de Gestión de Calidad en Ingeniería, el Taller y la planta. Estudio de Casos.
- ✓ Requisitos de calidad de la Unión Europea y las Directivas Europeas para Equipos Contenedores de Presión y su sistema de evaluación de la conformidad

Curso 10: Procesos de Fabricación y Control

- ✓ Introducción. Códigos y normas aplicables: código ASME para calderas y recipientes a presión. Directivas Europeas.
- ✓ Código ASME. Códigos de referencia. Composición de las secciones. Interpretaciones. Ediciones del código. Sección VIII. Alcance de la Sección VIII, División 1. Organización.



*Ministerio de Educación,
Cultura, Ciencia y Tecnología
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Haedo*

- ✓ Sistema de calidad para la fabricación. Control de procesos de fabricación. Inspecciones y ensayos
- ✓ Materiales. Certificados de los materiales y control.
- ✓ Métodos de fabricación, requisitos para la secuencia de fabricación.
- ✓ Tipos de junta de soldaduras. Clasificación, tipos y calidades de soldaduras. Tipos de ensayo radiográfico. Radiografiado Spot. Requerimientos de la soldadura, aberturas sobre soldaduras o cercanas a ellas, requerimientos para tratamiento térmico post-soldadura.
- ✓ Restricciones por el servicio de baja temperatura. Requerimientos de diseño. Tipos de servicio. Definiciones de diseño.
- ✓ Desviaciones constructivas al diseño
- ✓ Prueba hidráulica. Prueba neumática. Manómetros.
- ✓ El inspector autorizado, responsabilidades. Identificación y estampado. Requerimientos de las autoridades de aplicación.
- ✓ Proceso de acreditación. El Joint Review. Entrega de estampas ASME
- ✓ Trabajo práctico, elaboración de documentación para homologación de un componente.

Curso 11: Tratamiento de Equipos en Servicio.

1. Procedimiento para equipos estáticos:

- ✓ Inspecciones de Tanques de almacenamiento
Ensayo de Emisión Acústica, Flujo Magnético, Partículas magnéticas y Ultrasonido. Campana de vacío. Verificación de Asentamiento diferencial y del estado de talón y sello bituminoso. Estado de bases. Medición de espesores por ultrasonido manual y automatizado. Verificación de Verticalidad. Inspección Visual y de cordones de soldadura.
Inspección Válvulas y accesorios. Prueba Hidrostática
- ✓ Inspección de Recipientes a Presión:
Ensayo de Emisión Acústica. Ensayos de partículas magnéticas en soportes y tintas penetrantes en soldaduras.. Medición de espesores por ultrasonido manual y automatizado. Inspección Visual externa. Verificación de Asentamiento diferencial. Réplicas metalográficas, análisis químicos. Control y verificación de válvulas e instrumentos. Radiografía industrial. Inspección de Intercambiadores de calor y calderas, Inspección visual remota y Corrientes inducidas
- ✓ Inspección de Cañerías y ductos
Alcances generales e inspección
- ✓ Aplicación de los Códigos vigentes nacionales e Internacionales
Incorporación de los códigos, API 510. Determinación de la mínima presión admisible de trabajo, mínimo espesor admisible y corrosion-rate. Defectos durante la inspección, recomendaciones generales. Prácticas recomendables API e inspección basada en riesgo. Estudio



*Ministerio de Educación,
Cultura, Ciencia y Tecnología
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Haedo*

de casos, trabajo práctico de evaluación del estado general de un componente en servicio.

2. Procedimiento para equipos rotativos o dinámicos:

- ✓ Detección de problemas por vibraciones.
Detección de problemas en rotores mediante medición de las vibraciones. Desbalanceo. Problemas con características espectrales similares al desbalanceo. Ejes doblados. Causas. Efecto de la dinámica del rotor en un eje doblado. Efectos térmicos en el curvado de rotores. Diagnósticos. Desalineación. Causas. Cargas radiales altas. Desalineación por efecto de la temperatura. Posición anómala de la línea central del eje. Formas típicas de las órbitas. Rozamientos y partes sueltas. Rozamiento radial parcial. Rozamiento anular completo. Fuerzas inducidas por rozamiento y cambios en la elasticidad. Rozamiento en estado estacionario, la componente 1x. Rozamiento durante una resonancia. Vibraciones subsincrónicas. Aplicación del espectro completo. Síntomas de rozamiento. Fisuras en ejes. Como se inician y se propagan. Reducción de la elasticidad del eje. Reglas de detección. Monitoreo y recomendaciones.

Curso 12: Proceso de Inspección y Mantenimiento

- ✓ Tipos de Fallas en Recipientes, Hornos de Proceso y Calderas
Descripción de tipos de fallas en recipientes, hornos y calderas de plantas industriales. Metodologías de evaluación.
- ✓ Parámetros que condicionan la vida útil
Influencia de las temperaturas de operación, las presiones de servicio, las reacciones con el medio, el tiempo en funcionamiento y las metalurgias seleccionadas. Relación entre las temperaturas y las estructuras metalográficas. Relación entre las propiedades mecánicas y las estructuras metalográficas. Relación entre el medio y las estructuras metalográficas. Evaluación de las estructuras mediante la extracción de réplicas metalográficas. Beneficios y desventajas que presenta la evaluación estructural mediante la extracción de réplicas metalográficas. Preparación de las superficies, pulido, ataque, métodos de extracción.
- ✓ Mecanismos de deterioro – Efectos de la temperatura
El efecto de la temperatura sobre las propiedades de los aceros utilizados en la fabricación de los hornos y calderas de procesos. Mecanismos que producen cambios estructurales: esferoidización, grafitización, precipitación de carburos, formación de fases frágiles (casos prácticos). Mecanismos que producen cambios químicos: carburización, descarburización, ataque por hidrógeno a elevadas temperaturas (casos prácticos). Mecanismos que producen cambios en



*Ministerio de Educación,
Cultura, Ciencia y Tecnología
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Haedo*

- las propiedades mecánicas: fluencia lenta o Creep, fragilización por hidrógeno, fatiga térmica (casos prácticos).
- ✓ Códigos de aplicación
Proveer la información básica para la correcta interpretación y apropiada utilización de la documentación internacional referida a mecanismos de daños y modos de fallas de hornos de procesos utilizados en la industria petrolera (Up-strem y Down-strem). El énfasis está puesto en el empleo de los procedimientos recomendados en el API RP 571 "Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry", API RP 573 "Inspection of Fired Boilers and Heaters" y "Inspection of Refinery Equipment" y API Standard 560 "Fired Heaters for General Refinery Service".
 - ✓ Programas de Inspección y Mantenimiento
Inspecciones en servicio. Tipos de inspecciones. Inspección visual. Medición de espesores. Medición de los diámetros de los tubos. Examen radiográfico. Observación boroscópica. Medición de durezas. Líquidos penetrantes y partículas magnéticas. Metalografía "in-situ" – Réplicas metalográficas. Ensayos destructivos. Ensayos para determinar la carburización. Ensayos de martillo.
 - ✓ Estudio de Casos

Curso 13: Herramientas para el desarrollo de la Tesis

- ✓ Diseño y planificación de la investigación. Selección del tema. Importancia intrínseca y académica de un tema de trabajo.
- ✓ Elaboración del proyecto de investigación. Tipo, disciplina, identificación y palabras claves formulación del problema. Referencia y estado actual de los conocimientos en el tema investigación bibliográfica, centros de documentación, bases de datos, "Current Contents, Citation Index", etc.
- ✓ Objetivos. Fundamentación. Métodos a utilizar. Aplicación de los resultados. Redacción científica. Requisitos. Organización lógica. Resumen. Bibliografía y apéndices. Normas y convenciones sobre cuadros, gráficos, citas y notas de pie de página.