

1.- DATOS DE LA ASIGNATURA

Nombre de la asignatura:	Metalurgia de la Soldadura.
Carrera:	Ingeniería en Materiales (Especialidad).
Clave de la asignatura:	
(Créditos) SATCA ²	4-2-6

2.- PRESENTACIÓN

Caracterización de la asignatura.

La asignatura de Metalurgia de la Soldadura, introduce al perfil profesional de la carrera de ingeniería en materiales la posibilidad de correlacionar los aspectos metalúrgicos presentes en las técnicas y procedimientos de unión de materiales, el estudio de los cambios microestructurales y su influencia directa sobre las propiedades y el comportamiento mecánico de los mismos.

Proporciona al estudiante la capacidad de relacionar los conocimientos adquiridos en asignaturas previas para comprender los fundamentos teóricos y prácticos de la Soldadura, relacionados principalmente con las transformaciones de fase que ocurren durante el calentamiento y enfriamiento de un proceso de soldadura.

Las competencias desarrolladas le darán la capacidad de asesorar y participar en proyectos multidisciplinarios, especialmente en el área metal-mecánica en relación al cambio de propiedades mecánicas, además de permitirle el apoyo en áreas educativas y de investigación.

La asignatura le permite al estudiante adquirir la habilidad para seleccionar el proceso y diseñar la metodología adecuada de soldadura que permita obtener las propiedades mecánicas de acuerdo al aporte térmico introducido por el proceso.

La asignatura contempla el análisis de los aspectos metalúrgicos en base a las variables del proceso, las transformaciones de fases durante la soldadura, el cálculo y la influencia del carbono equivalente sobre el precalentamiento y la soldabilidad, el diseño del tratamiento térmico post-soldadura; así como el empleo de la simbología, nomenclatura, códigos, normas y especificaciones más importantes en la soldadura.

² Sistema de asignación y transferencia de créditos académicos



La asignatura se relaciona con conocimientos previos adquiridos en las asignaturas previas de:

- Física del estado sólido.
- Solidificación.
- Transiciones de fase.
- Manufactura.
- Diagramas de equilibrio.
- Comportamiento mecánico de los materiales.

Los cuales le permiten al estudiante relacionar los diversos cambios producidos tanto por segregación o precipitación de elementos químicos, tamaño de grano y ordenamiento atómico que sufre un material durante el proceso de soldadura durante las etapas de calentamiento, la aplicación del cordón y el enfriamiento, ya que estos cambios pueden propiciar un cambio en las propiedades mecánicas de un material, si así ocurre, saber cómo puede recuperar la microestructura mediante el uso de los tratamientos térmicos.

Intención didáctica.

Se organiza el temario de la asignatura de Metalurgia de la Soldadura en cuatro unidades.

En la primera unidad se presentan los aspectos básicos metalúrgicos y su correlación con las variables involucradas en el proceso, así como la influencia del aporte térmico del proceso de soldadura empleado sobre las zonas afectadas térmicamente y por ende sobre las propiedades mecánicas de la junta soldada.

En la segunda unidad se contempla el análisis de la composición química y el carbono equivalente del material base, su relación con la predicción de la dureza y su aporte para estimar las temperaturas pre y post soldadura. Por otro lado, se hace el análisis de la soldabilidad de los diversos materiales ferrosos y no ferrosos.

En la tercera unidad se contempla la identificación y análisis de los aspectos que producen esfuerzos residuales, la distorsión, el agrietamiento durante los procedimientos de soldadura y las diferentes técnicas empleadas para el alivio de esfuerzos.

En la cuarta unidad se abordan los procedimientos de control de calidad, así como la aplicación de ensayos destructivos y no destructivos comúnmente empleados para el control y seguimiento de la calidad de la soldadura.

El enfoque sugerido para la asignatura de metalurgia de la soldadura requiere que las actividades prácticas promuevan el desarrollo de conocimiento sobre:



7. Fomentar talleres de solución de casos prácticos tanto en clase como en el taller sobre los cambios de estructura en los materiales.
8. Organizar sesiones grupales de discusión de conceptos básicos sobre la metalurgia de la soldadura en los diversos materiales.
9. Promover la investigación entre los estudiantes sobre procesos de soldadura aplicados en la unión, reparación y recuperación de piezas de acero y fundición.
10. Elaboración de informes técnicos para definir conceptos estructurales, de microconstituyentes formados durante el ciclo térmico de la soldadura, el tamaño de grano y sus propiedades mecánicas asociadas.
11. Solucionar casos prácticos relacionados con los tratamientos térmicos.
12. Fomentar la asistencia del alumno a conferencias y seminarios relacionados con la metalurgia de la soldadura.

Por las razones anteriores las actividades prácticas se deben aplicar posteriormente al diseño de una soldadura de los temas, de manera que pueda observarse lo visto previamente en clase, como una oportunidad para conceptualizar a partir de lo observado. En las actividades prácticas sugeridas, es conveniente que el profesor busque guiar a sus alumnos para que ellos hagan la elección de los casos prácticos a desarrollar dentro de las actividades de aprendizaje dentro de su plan de trabajo.

La lista de actividades de aprendizaje no es exhaustiva, se sugieren sobre todo las necesarias para hacer más significativo y efectivo el aprendizaje. Algunas de las actividades sugeridas pueden hacerse como actividad extra clase y comenzar el diseño de una soldadura en clase a partir de la discusión de los resultados de las observaciones. Se busca partir de experiencias concretas, cotidianas, para que el estudiante se familiarice con el entorno de la metalurgia de la soldadura dentro de los procesos de soldadura de materiales y no sólo se expongan en el aula. Es importante ofrecer escenarios distintos, ya sean simulados y virtuales cercanos a la realidad.

En las actividades de aprendizaje sugeridas, generalmente se propone la aplicación de los conceptos a partir de realidades industriales concretas; se busca que el alumno tenga un primer contacto con el concepto en forma razonada y sea a través de la aplicación, observando, reflexionando y explicando el planteamiento de casos prácticos que hará después de este proceso relacionado a la metalurgia de la soldadura.

En el desarrollo de las actividades programadas es muy importante que el estudiante aprenda a valorar las actividades que lleva a cabo y entienda que está construyendo su futuro profesional; de igual manera que aprecie la importancia del conocimiento y los hábitos de trabajo; desarrolle la precisión y el interés, la formalidad, la colaboración e integración, la tenacidad, la flexibilidad y la autonomía. Por lo anterior es necesario que el profesor ponga atención y cuidado en todos estos aspectos para el desarrollo de las actividades de aprendizaje de esta asignatura de



metalurgia de la soldadura. Se recomienda que el docente tenga un perfil en el área de la metalurgia y materiales, así como el conocimiento teórico-práctico de los procesos y procedimientos de soldadura.

3.- COMPETENCIAS A DESARROLLAR.

Competencias específicas:	Competencias genéricas:
<p>Diseñar el procedimiento de soldadura involucrando los parámetros del proceso empleado y los conceptos de la metalurgia para materiales convencionales y avanzados.</p> <p>Establecer de manera precisa la influencia que tienen las condiciones del ciclo térmico de la soldadura (calentamiento y enfriamiento) sobre los cambios estructurales y propiedades de un material soldado.</p>	<p>Competencias instrumentales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de análisis, síntesis y abstracción. • Capacidad de comunicación oral y escrita. • Habilidad en el uso de tecnologías de información y comunicación. • Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. <p>Competencias interpersonales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para trabajar en equipo. • Capacidad crítica y autocrítica. • Apreciación de la diversidad y la multiculturalidad. <p>Competencias sistémicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Habilidades de investigación. • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. • Capacidad de aprender. • Capacidad de adaptarse a nuevas situaciones. • Capacidad de generar nuevas ideas. • Búsqueda de logro. • Sensibilidad hacia temas medio-ambientales.

4.- HISTORIA DEL PROGRAMA

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones (cambios y justificación)
Instituto Tecnológico de Morelia Diciembre 2006.	Profesores de la Academia de Ingeniería	Reunión de Academia de Ingeniería en Materiales.



	en Materiales del Instituto Tecnológico de Morelia.	
Instituto Tecnológico de Morelia Junio 2015.	Profesores de la Academia de Ingeniería en Materiales del Instituto Tecnológico de Morelia.	Reunión de Academia de Ingeniería en Materiales.

5.- OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DEL CURSO

Que el alumno analice y diseñe los procedimientos de soldadura requeridos para diversos materiales empleando los fundamentos teóricos de la metalurgia que le permitan relacionar la estructura del material producida en las zonas afectadas térmicamente y establecer de manera precisa las modificaciones en las propiedades de los materiales.

6.- COMPETENCIAS PREVIAS

- Interpretar y explicar la influencia del ciclo térmico de la soldadura sobre la cinética de las transformaciones de fases.
- Reconocer y controlar los mecanismos ligados a los modos de solidificación.
- Identificar los mecanismos metalúrgicos ligados al comportamiento mecánico de los materiales.
- Aplicar los tratamientos térmicos necesarios para obtener modificaciones microestructurales en un material afectado por el ciclo térmico de la soldadura.

7.- TEMARIO

Unidad	Temas	Subtemas
1	Aspectos metalúrgicos de la unión soldada.	1.1 Partes de la unión soldada (Zona de fusión, zona afectada por el calor y material base). 1.2 Transferencia de calor y masa en soldadura. 1.3 Modos de solidificación presentes en la unión soldada. 1.4 Efecto de los parámetros de soldadura sobre los aspectos metalúrgicos de la unión soldada. 1.5 Reacciones químicas en soldadura. 1.5.1 Reacciones Gas-Metal. 1.5.2 Reacciones Escoria-Metal. 1.6 Flujo de fluidos y evaporación del metal en soldadura.



2

Carbono equivalente y soldabilidad de materiales.

- 1.7 Transformaciones de fases post-soldadura.
- 1.8 Heterogeneidades químicas en la soldadura.
- 1.9 Agrietamiento durante la solidificación del metal soldado.

- 2.1 Carbono equivalente (CE).
- 2.2 Métodos para la determinación del CE.
- 2.3 Predicción de la dureza de la junta soldada considerando el CE.
- 2.4 Cálculo de la temperatura de Pre calentamiento.
- 2.5 Tratamientos térmicos post-soldadura.
- 2.6 Tipos de ensayos para determinar la soldabilidad.
- 2.7 Soldabilidad de aceros al carbono.
- 2.8 Soldabilidad de aceros inoxidables.
- 2.9 Soldabilidad de aceros hierros y fundiciones.
- 2.10 Soldabilidad de aleaciones base Ni.
- 2.11 Soldabilidad de aleaciones base Cu.
- 2.12 Soldabilidad de aleaciones base Al.
- 2.13 Soldabilidad de aleaciones base Mg.
- 2.14 Soldabilidad de aceros y aleaciones especiales.
- 2.15 Soldabilidad de materiales disímiles.

3

Esfuerzos residuales, distorsión y agrietamiento.

- 3.1 Causas y efectos de los esfuerzos residuales.
- 3.2 Cálculo de los esfuerzos residuales.
- 3.3 Técnicas para el alivio de esfuerzos residuales en soldadura.
- 3.4 Causas y efectos de la distorsión en soldadura.
- 3.5 Efecto del proceso empleado sobre la distorsión en soldadura.
- 3.6 Factores que favorecen el agrietamiento.
 - 3.6.1 Agrietamiento en caliente.
 - 3.6.2 Agrietamiento en frío.



4	Procedimientos para el control de calidad de las juntas soldadas.	<p>3.7 Agrietamiento por corrosión bajo esfuerzo.</p> <p>4.1 Ensayos no destructivos (END) en soldadura.</p> <p>4.2 Ensayos destructivos (ED) en soldadura.</p> <p>4.3 Inspección de juntas soldadas.</p> <p>4.4 Análisis de fallas en soldadura.</p>
---	---	---

8.- SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

- Informes de investigación bibliográfica.
- Reportes y resultados de las prácticas realizadas.
- Reportes y resultados de las visitas realizadas.
- Solución de problemas en clase y tareas.
- Participación durante el desarrollo del curso.
- Evaluaciones durante el desarrollo del curso.

9.- SUGERENCIAS DE EVALUACIÓN.

- Fomentar talleres de solución de casos prácticos tanto en clase como en el taller sobre los cambios microestructurales en los materiales.
- Elaboración de informes técnicos para definir conceptos estructurales, de microconstituyentes, tamaños de grano y ordenamientos atómicos.
- Solucionar casos prácticos relacionados con la metalurgia de la soldadura.
- Fomentar la asistencia del alumno a conferencias y seminarios relacionados con la metalurgia de la soldadura.
- Impulsar la transferencia de las competencias adquiridas en la asignatura a diferentes contextos.
- Estimular el trabajo interdisciplinario para lograr la integración de las diferentes asignaturas del plan de estudios.
- Crear situaciones que permitan al estudiante la integración de contenidos de la asignatura y entre distintas asignaturas, para su análisis y para la solución de problemas.
- Incrementar la realización de actividades o tareas que den cuenta por medio de evidencias, de que la competencia se ha desarrollado.
- Propiciar en el estudiante, el sentimiento de logro y de ser competente.
- Estimular la búsqueda amplia, profunda y fundamentada de información.
- Promover la precisión en el uso de nomenclatura y terminología científica, tecnológica y humanística.
- Fomentar el trabajo autónomo.
- Promueve la autoevaluación, la coevaluación y la evaluación grupal.
- Proponer ejemplos guía.



- Propiciar el uso de las nuevas tecnologías de la información y comunicación para el desarrollo de los contenidos de la metalurgia de la soldadura.

Criterios de evaluación. Dentro de estas pueden considerarse:

- Asistencia a clase.
- Prácticas de Laboratorio.
- Investigaciones en fuentes de información.
- Visitas a industrias, laboratorios y centros de información.
- Uso de Software
- Materiales audiovisuales
- Mapas conceptuales.
- Practicas experimentales.
- Asistencia a foros y conferencias.

10.- UNIDADES DE APRENDIZAJE

Unidad 1: Aspectos metalúrgicos de la unión soldada.

Objetivo Educativo	Actividades de Aprendizaje
Identificar y comparar los aspectos metalúrgicos involucrados en las operaciones de soldadura.	<ul style="list-style-type: none"> • Describir gráficamente las zonas que componen una soldadura y el efecto que ejercen sobre ésta las variables de operación. • Identificar los cambios metalúrgicos que suceden en la soldadura, así como las propiedades mecánicas que se obtienen en estructuras de una unión soldada. • Elaborar un glosario técnico acerca de la metalurgia de la soldadura. • Elaborar materiales visuales y/o audiovisuales que describan los defectos más comunes en la soldadura, sus posibles causas y los métodos de solución.

Unidad 2: Carbono equivalente y soldabilidad de materiales.

Objetivo Educativo	Actividades de Aprendizaje
Calcular y conceptualizar la influencia del carbono equivalente sobre la soldabilidad y las propiedades	<ul style="list-style-type: none"> • Resolver problemas de cálculo de Carbono equivalente para estimar la influencia sobre las propiedades mecánicas. • Realizar un cuadro comparativo entre los resultados obtenidos por diferentes métodos de cálculo de carbono equivalente para una misma junta soldada. • Estimar la dureza obtenida en una junta soldada a partir del cálculo del carbono equivalente.



mecánicas de la unión soldada.	<ul style="list-style-type: none"> • Calcular la temperatura de precalentamiento en base a la composición química y CE. • Diseñar TT post-soldadura para juntas soldadas. • Elaborar gráficamente los ciclos térmicos de las juntas soldadas, para diversos materiales ferrosos y no ferrosos.
--------------------------------	---

Unidad 3: Esfuerzos residuales, distorsión y agrietamiento.

Objetivo Educativo	Actividades de Aprendizaje
Identificar y estimar los aspectos que favorecen la acumulación de esfuerzos residuales, la distorsión y el agrietamiento durante y posterior al procedimiento de soldadura.	<ul style="list-style-type: none"> • Elaborar un cuadro sinóptico sobre los aspectos generales y causas de los esfuerzos residuales. • Calcular los esfuerzos residuales producidos en una junta soldada. • Realizar un mapa conceptual sobre las diferentes técnicas empleadas para el alivio de esfuerzos residuales. • Proponer técnicas de reparación ante el agrietamiento de las juntas soldadas.

Unidad 4: Procedimientos para el control de calidad de las juntas soldadas.

Objetivo Educativo	Actividades de Aprendizaje
Inspeccionar y controlar la calidad de las juntas soldadas.	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar los END más comúnmente usados en la soldadura y seleccionar las técnicas más adecuadas en cada caso. • Identificar los ED más comúnmente empleados en cada caso de análisis. • Aplicar los ensayos mecánicos más comunes para determinar el cambio en la resistencia mecánica de las juntas soldadas. • Establecerá una ruta de análisis de fallas para determinar las posibles causas de la mala calidad de una soldadura.

11.- FUENTES DE INFORMACIÓN

- Manual de soldadura. Tomo I.
R.L. O'brien. American Welding Society. 8ª Edición.



Prentice Hall Hispanoamericana S.A. (1996) pp. 327.

- Manual de soldadura. Tomo II.
R.L. O'brien. American Welding Society. 8ª Edición.
Prentice Hall Hispanoamericana S.A. (1996) pp. 320.
- Manual de soldadura. Tomo III.
R.L. O'brien. American Welding Society. 8ª Edición.
Prentice Hall Hispanoamericana S.A. (1996) pp. 273.
- Joining of materials and structures.
Robert W. Messler Jr.
Elsevier Butterworth–Heinemann. (2004) pp. 815.
- Welding Metallurgy.
Sindo Kou. 2nd edition.
John Wiley & Sons, Inc., Publication. (2003) pp. 467.
- Welding and Joining of Advanced High Strength Steels (AHSS).
Mahadev Shome and Muralidhar Tumuluru.
Elsevier Woodhead-Publishing. (2015) pp. 190.
- The Welding Engineer's Guide to Fracture and Fatigue.
Philippa Moore and Geoff Booth.
Elsevier Woodhead-Publishing. (2015) pp. 206.
- Welded Joint Design.
J. Hicks. 3rd edition.
Elsevier Woodhead-Publishing. (1999) pp. 141.
- A guide to designing welds.
J. Hicks.
Elsevier Woodhead-Publishing. (2000) pp. 61.
- Power Ultrasonics.
Applications of High-Intensity Ultrasound.
Edited by: Juan A Gallego-Juárez and Karl F. Graff.
Elsevier Woodhead-Publishing. (2015) pp. 1142.
- Friction Stir Welding of Dissimilar Alloys and Materials
A volume in Friction Stir Welding and Processing
Nilesh Kumar, Rajiv S. Mishra and Wei Yuan
Elsevier Butterworth-Heinemann. (2015) pp. 126.
- Comprehensive Materials Processing



Volume 6: Welding and Bonding Technologies.
Saleem Hashmi, Emin Bayraktar.
Elsevier. (2014) pp. 246.

- Control of Welding Distortion in Thin-Plate Fabrication.
Design Support Exploiting Computational Simulation.
T. Gray, D. Camilleri and N. Mcpherson.
Elsevier Woodhead-Publishing. (2014) pp. 332.
- Advances in Friction-Stir Welding and Processing
A volume in Woodhead Publishing Series in Welding and Other Joining
Technologies
M-K Besharati-Givi and P. Asadi
Elsevier Woodhead-Publishing. (2014) pp. 756.
- Handbook of Laser Welding Technologies
A volume in Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials
S. Katayama
Elsevier Woodhead-Publishing. (2013) pp. 632.
- Applied Welding Engineering
Processes, Codes, and Standards
Ramesh Singh
Elsevier Butterworth-Heinemann. (2012) pp. 349.
- Welding and Joining of Aerospace Materials
A volume in Woodhead Publishing Series in Welding and Other Joining
Technologies
M.C. Chaturvedi
Elsevier Woodhead-Publishing. (2012) pp. 430.
- Minimization of Welding Distortion and Buckling
Modelling and Implementation
A volume in Woodhead Publishing Series in Welding and Other Joining
Technologies
P. Michaleris
Elsevier Woodhead-Publishing. (2011) pp. 298.
- Soldadura: principios y aplicaciones.
Larry Jeffus. 5ª edición.
Editorial Paraninfo (2009) pp. 940.
- Manual de Soldadura GMAW MIG MAG.
Larry Jeffus, Richard Rowe.
Editorial Paraninfo (2008) pp. 212.



- Welding processes Handbook.
Klas Weman.
CRC Press, Cambridge. (2003) pp. 197.
- ASM Metals Handbook. Vol. 6
Welding brazing and soldering.
ASM international. (1993) pp. 2873.
- Jeffersons Welding Encyclopedia
Robert L. O'Brien. 18th edition.
AWS. (1997) pp. 768.
- Manual de Soldadura, Soldadura Eléctrica, MIG y TIG
Pedro Claudio Rodríguez. 1ª Edición.
Editorial Alsina. (2001) pp. 64.
- Welding metallurgy and weldability of stainless steel.
John C. Lippold, Damian J. Kotecki.
Wiley Interscience (2005) pp. 357.
- Códigos AWS, ASTM y ASME.

12.- PRÁCTICAS PROPUESTAS (aquí sólo describen brevemente, queda pendiente la descripción con detalle).

1. Calcular y realizar un precalentamiento a una unión soldada.
2. Caracterizar y comparar una unión soldada con y sin precalentamiento.
3. Diseñar y realizar un TT post-soldadura a una unión soldada.
4. Caracterizar y comparar una unión soldada con y sin TT post-soldadura.
5. Realizar END a juntas soldadas.
6. Realizar ED a juntas soldadas.
7. Visitas a talleres e industrias de soldadura especializados.

