



PROGRAMA DEL CURSO

Nombre del Curso	: Fundamentos de Refrigeración
Sigla	: EI-0026
Créditos	: 3
Requisitos	: EI-0021 Máquinas Térmicas
Correquisitos	: Ninguno
Clasificación	: Propio
Ciclo y año	: I-2024
Horario	: G001 M 08:00 a 11:50, Consulta M 13:00 a 15:00
Modalidad	: Regular
Grado Virtualidad	: Bajo Virtual
Profesor	: Ing. Manuel Corella Vargas, MBA
Contacto:	MANUEL.CORELLA@ucr.ac.cr Tel: 8363-8647

DESCRIPCIÓN DEL CURSO

La disponibilidad de alimentos es un enorme reto que encara el mundo actual. Es de vital importancia conocer y desarrollar todas aquellas áreas técnicas que permitan asegurar no solo la apropiada producción de los alimentos sino también la conservación de su calidad por el mayor tiempo posible, alargando así su vida útil y mercadeo. Por consiguiente, los sistemas de refrigeración son pilares fundamentales en la producción y conservación de los alimentos; el ingeniero electromecánico industrial ha de conocer, por tanto, los principios de su funcionamiento, para estar mejor preparado para su diseño y aplicación correcta.

Brindar las herramientas mínimas básicas a los estudiantes para la gestión del diseño de sistemas nuevos en Refrigeración Industrial, así como la identificación de mejoras en los sistemas existentes. A la vez identificar los refrigerantes que no afecten al cambio climático o que su contribución en cuanto al calentamiento global sea mínima y que su impacto en la destrucción de la capa de ozono sea cero "0".

El cambio climático es uno de los mayores retos ambientales, es complejo y requiere la comprensión de los riesgos involucrados. Desde 1985, en el Convenio de Viena, a nivel internacional se han tomado decisiones para eliminar los gases refrigerantes que dañan el medio ambiente, se acuerda el Protocolo de Montreal en el año 1987 el cual es firmado por todos los países, entrando en vigor el 1 de enero de 1989, aprobado en Costa Rica por la Ley 7223 del año 1991, producto del cual se eliminó el uso de CFC en el año 2010. Fuente: Manual Refrigerantes con bajo potencial de calentamiento global 2020. DIGECA, MINAE.



¿Cómo comprender el grado de virtualidad de mi curso?

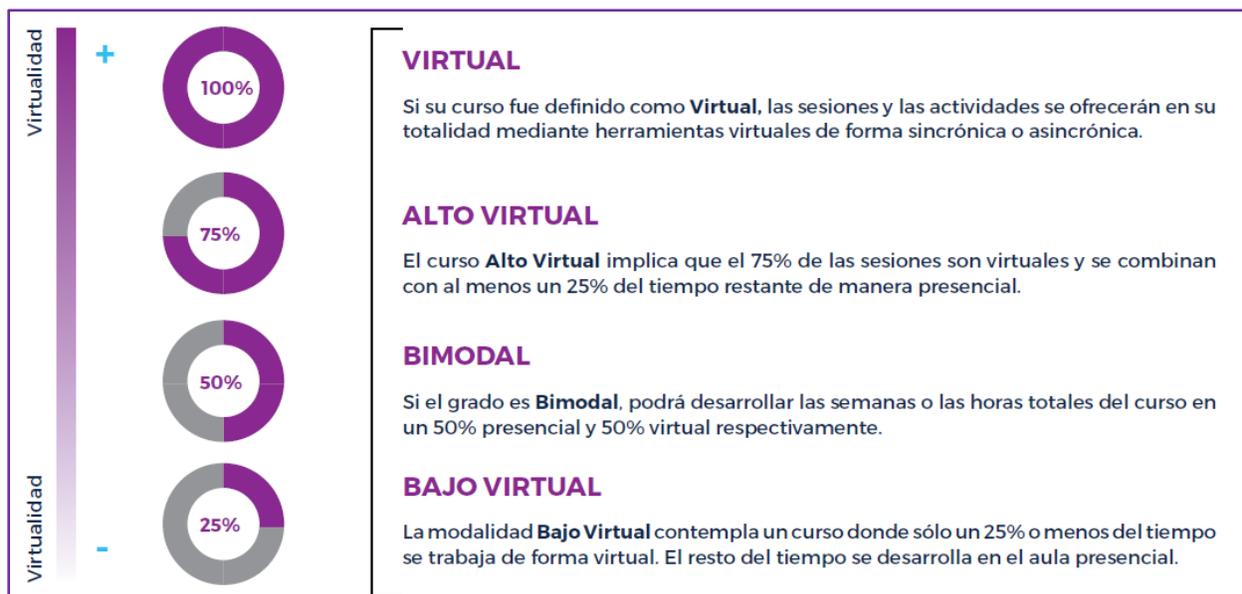
Cada curso que tenemos asignado fue definido con un grado de virtualidad por nuestra Unidad Académica, el cual se refiere al porcentaje de las sesiones u horas que se trabajan de manera virtual o presencial. Entonces, ¿cómo organizo el curso según los grados de virtualidad?

VIRTUAL. Si su curso fue definido como Virtual, las sesiones y las actividades se ofrecerán en su totalidad mediante herramientas virtuales de forma sincrónica o asincrónica.

ALTO VIRTUAL. El curso Alto Virtual implica que el 75% de las sesiones son virtuales y se combinan con al menos un 25% del tiempo restante de manera presencial.

BIMODAL. Si el grado es Bimodal, podrá desarrollar las semanas o las horas totales del curso en un *50% presencial y 50% virtual* respectivamente.

BAJO VIRTUAL. La modalidad Bajo Virtual contempla un curso donde sólo un *25% o menos del tiempo se trabaja de forma virtual*. El resto del tiempo se desarrolla en el aula presencial.





OBJETIVO GENERAL

Conseguir el entendimiento, interpretación y ejecución de sistemas frigoríficos de tipo semi-industrial e industrial.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Al finalizar este curso, el estudiante estará en capacidad de:

- ✓ Reconocer los factores a considerar en la ejecución de proyectos de sistemas frigoríficos.
- ✓ Identificar los sistemas de refrigeración para uso semi-industrial e industrial.
- ✓ Entender los refrigerantes que no afecten al calentamiento global “GWP” por sus siglas en inglés y la no afectación a la capa de ozono, la importancia de la recuperación de refrigerantes
- ✓ Conocer los materiales de las tuberías que se utilizan para los sistemas de refrigeración industrial para el refrigerante primario y el secundario.
- ✓ Entender e interpretar un sistema de refrigeración industrial en un diagrama presión-entalpía.
- ✓ Seleccionar los equipos principales de un sistema de refrigeración semi-industrial e industrial.
- ✓ Seleccionar componentes secundarios y de control de sistemas semiindustriales e industriales.
- ✓ Entender las diferentes aplicaciones del frío en la industria.

CONTENIDO DEL CURSO

Contenido	Temario
1	<i>Introducción a los Sistemas de Refrigeración</i> a. Principios básicos de sistemas de refrigeración. b. Funcionamiento de la refrigeración comercial y comparación con los aires acondicionados. c. Equipos del lado de Alta Presión. d. Productos del lado de Baja Presión. e. Refrigeración en supermercados.
2	<i>Refrigerantes con bajo potencial de calentamiento global y no afectación a la capa de ozono</i> a. Clasificación de los refrigerantes b. Refrigerantes Naturales c. Selección adecuada de refrigerantes. d. Protocolo de Montreal – Enmienda de Kigali. e. Recuperación de refrigerantes. f. Diagrama de Mollier.
3	<i>Ejecución de proyectos de sistemas frigoríficos</i> a. Importancia y aplicaciones de la refrigeración



Contenido	Temario
	<p>b. Cadena del frío</p> <p>c. Refrigeración en la industria de alimentos</p> <p>d. Diseño de proyectos de refrigeración</p> <p>e. Sistemas de tuberías</p> <p>f. Introducción a la refrigeración industrial.</p> <ul style="list-style-type: none">✓ <i>Consideraciones energéticas.</i>✓ <i>Ciclo simple y variaciones prácticas del ciclo simple.</i>✓ <i>Ciclo de dos etapas / Relación de Compresión y Presión Intermedia.</i>✓ <i>Sistemas de Expansión Directa, Inundado y recirculado.</i>
4	<p>Cálculo de la carga térmica</p> <p>a. Consideraciones iniciales sobre el edificio.</p> <p>b. Consideraciones sobre los materiales y accesorios.</p> <p>c. Métodos Constructivos: técnicas de aislamientos, puertas, ventilaciones.</p> <p>d. Carga térmica del producto</p> <p>e. Estudio de la psicrometría del aire aplicada a cuarto limpios.</p> <p>f. Cálculo de carga térmica.</p> <p>g. Otras consideraciones.</p>
5	<p>Tecnologías de Refrigeración (Equipos Principales)</p> <p>a. Compresores Reciprocantes o de Pistones</p> <ul style="list-style-type: none">✓ <i>Componentes Internos y Externos</i>✓ <i>Desplazamiento volumétrico.</i>✓ <i>Eficiencia volumétrica y relación de compresión.</i>✓ <i>Capacidad y potencia vs presión de succión.</i>✓ <i>Capacidad y potencia vs presión de descarga.</i>✓ <i>Capacidad y potencia vs RPM (abiertos).</i>✓ <i>Control de capacidad.</i>✓ <i>Sistema de Lubricación</i>✓ <i>Selección de compresores de pistones.</i> <p>b. Compresores rotativos o de Tornillo</p> <ul style="list-style-type: none">✓ <i>Componentes Internos y externos.</i>✓ <i>Desplazamiento volumétrico.</i>✓ <i>Eficiencia volumétrica y relación de compresión.</i>✓ <i>Capacidad y Potencia vs Presión de succión.</i>✓ <i>Capacidad y Potencia vs Presión de descarga.</i>✓ <i>Capacidad y Potencia vs RPM.</i>✓ <i>Control de capacidad.</i>✓ <i>Sistema de Lubricación.</i>✓ <i>Selección de compresores de tornillo.</i> <p>c. Condensadores enfriados por aire forzado, agua y evaporativos.</p>



Contenido	Temario
	<p>✓ <i>Tipos y materiales de construcción. Selección e instalación.</i></p> <p>d. Torres de Enfriamiento</p> <p>✓ <i>Tipos y materiales de construcción. Selección e instalación.</i></p> <p>e. Evaporadores de convección natural. Características y aplicaciones.</p> <p>f. Evaporadores de aire forzado</p> <p>✓ <i>Tipo de tiro y flujo de aire.</i></p> <p>✓ <i>Tipo de soporte y materiales de construcción.</i></p> <p>✓ <i>Separación y forma de las aletas.</i></p> <p>✓ <i>Alimentación de refrigerante (DX, inundado, recirculado).</i></p> <p>✓ <i>Diferencial de temperatura.</i></p> <p>✓ <i>Tipo de descongelación.</i></p> <p>✓ <i>Selección: cantidad y ubicación física.</i></p> <p>g. Enfriadores de agua</p> <p>✓ <i>Tipo carcasa y tubos. Características generales y selección.</i></p> <p>✓ <i>Tipo Placas. Características generales y selección.</i></p>
6	<p>Tecnologías de Refrigeración (Componentes secundarios)</p> <p>a. Válvulas de Expansión Termostáticas.</p> <p>✓ <i>Tipos, Operación, Nomenclatura, Selección e Instalación.</i></p> <p>b. Válvulas de Expansión Manual</p> <p>✓ <i>Operación, Selección e instalación.</i></p> <p>c. Recibidores de líquido de alta presión</p> <p>✓ <i>Dimensionado, válvulas, accesorios e instalación.</i></p> <p>d. Recirculadoras de refrigerante líquido</p> <p>✓ <i>Tipos, dimensionado, selección e instalación.</i></p> <p>e. Otros componentes</p> <p>✓ <i>Trampas de succión</i></p> <p>✓ <i>Eliminadores de vibración</i></p> <p>✓ <i>Filtros deshidratadores</i></p> <p>✓ <i>Visores indicadores de líquido</i></p> <p>✓ <i>Válvulas solenoides.</i></p>
7	<p>Tecnologías de refrigeración (elementos de control)</p> <p>a. Control de nivel.</p> <p>b. Flotadores: eléctrico (switch flotador), mecánico (boya) y “Level master”.</p> <p>c. Indicadores de nivel. Tipo: mirilla y tubo de vidrio.</p> <p>d. Válvulas en general. Válvulas de paso, check, reguladoras de presión y otras.</p> <p>e. Instrumentación. Presostatos, termostatos, manómetros y termómetros.</p> <p>f. Tuberías en sistemas de refrigeración.</p>



Contenido	Temario
8	Aplicaciones industriales de la refrigeración a. Salas de proceso. b. Cámaras de producto fresco. c. Cámaras de producto congelado. d. Túneles de congelación/IQF. e. Plantas avícolas. f. Vegetales/Frutas. g. Pescado/Camarón. h. Producción de hielo.

ACTIVIDADES DEL CURSO

El curso se desarrollará de forma **bajo virtual**, haciendo uso de la plataforma oficial de la universidad (Mediación Virtual). En dicha plataforma se encuentra disponible buena parte del material del curso, así como material de apoyo y espacio para la entrega de evaluaciones. Es por este motivo que es obligatorio que los estudiantes estén ingresando de forma regular al entorno virtual del curso.

Se realizarán sesiones virtuales sincrónicas semanales en las que se realizarán diversas actividades. En la mayoría de las sesiones el profesor expondrá la teoría de los contenidos seleccionados, y luego se abrirán espacios para la discusión y análisis de los temas expuestos, con los que se busca que el estudiantado participe activamente.

Para otros contenidos, se asignarán recursos que el estudiante deberá estudiar previo a las sesiones, debido a que las sesiones se centrarán en la resolución de problemas de forma colaborativa. Y para el resto de los contenidos, los estudiantes se deberán organizar en grupos para investigar sobre el tema y exponerlo a sus compañeros. En las primeras dos semanas de clases se definirá como se abordará cada tema.

Para hacer más dinámico el curso se impartirán durante los días de clase conferencias con expertos en sistemas de refrigeración a nivel local e internacional.

Adicionalmente se asignarán tareas relacionadas a problemas reales a los que los estudiantes se tendrán que enfrentar en sus carreras profesionales. También se les asignará un proyecto a realizar en grupos, donde tengan que realizar el diseño completo de un sistema de refrigeración de un producto de su selección donde deben de indicar la ubicación Provincia, cantón, distrito, metros sobre el nivel del mar, coordenadas geográficas, temperatura de bulbo húmedo, temperatura de bulbo seco, calcular la carga térmica acorde a ASHRAE, estimar la producción a enfriar, así como, el flujo del producto, dimensionar el área, etc., siguiendo lo indicado por las normas de la American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers ASHRAE por sus siglas en el idioma inglés.

El proyecto consiste en diseñar de manera muy básica un cuarto de preparación y refrigeración de un producto de su selección.



El profesor brindará consulta durante los días y horario indicados en la primera lección.

La consulta se ofrecerá presencial, por medio de herramientas virtuales como Chat en vivo de Mediación o video conferencias con la herramienta Zoom. Para ambos se requiere acordar con anterioridad con el profesor. Adicionalmente se implementará un foro permanente de preguntas y respuestas en la plataforma, que será revisado por el profesor al menos dos veces por semana, así como un chat de Whats App. No se atenderán consultas en tiempo real fuera de los días y horarios establecidos.

La plataforma de Mediación Virtual será el medio oficial de comunicación para el curso. El profesor le dará más detalles durante la primera semana de clases para poder ingresar. En la plataforma se entregarán los enunciados de las evaluaciones, tareas, mini proyecto, así como el proyecto final; mientras que las soluciones, serán de igual manera entregadas en plazo estipulado, en la plataforma virtual de Mediación Virtual y por medio del correo institucional.

A cada tema se le asignará al menos una tarea (resuelta de manera asincrónica). Estas podrán consistir en la creación o análisis de un modelo de un mecanismo (tanto inventado por los estudiantes como propuesto por el profesor), la realización de una hoja de cálculo, o la resolución de problemas.

Lecciones presenciales

Se impartirán sesiones presenciales una vez por semana, en las que el profesor realizará una presentación de la teoría de cada contenido. En estas sesiones trabajaremos la resolución de problemas prácticos, con los que se busca ampliar aspectos específicos de la teoría, así como señalar una metodología de trabajo para la resolución de problemas. La asistencia a las clases no es de carácter obligatorio.

Horas de consulta

El profesor brindará consulta durante los días y horario indicados en la primera lección. La consulta se ofrecerá de manera presencial y/o por medio de herramientas virtuales como Chat en vivo de Mediación o video conferencias con la herramienta Zoom. Para ambos se requiere acordar con anterioridad con el profesor. Adicionalmente se implementará un foro permanente de preguntas y respuestas en la plataforma, que será revisado por el profesor al menos dos veces por semana, así como un chat de WhatsApp.

Tareas de Investigación

Con el objetivo de fortalecer el aprendizaje de los contenidos, se asignarán tareas a lo largo del curso. Las tareas consisten en analizar el material suministrado, sea literatura, charla o audiovisual. Entonces, esta actividad también permitirá reforzar las habilidades del idioma inglés e interactuar con el texto literario - investigativo. La entrega tardía de las tareas implicará una penalización en la nota del 10% por atraso durante los primeros 7 días, posterior a esto se calificará con una nota de CERO.

Proyecto de investigación

Realizar una investigación sobre temas relacionados con el curso, se recomienda que los integrantes del grupo seleccionen el tema. El tema debe ser acorde a la temática del curso y no



necesariamente de debe limitar a los contenidos del curso, por ejemplo, el análisis de un mecanismo de una máquina para elaborar la sala de tomate y el empaque de esta.

En los mismos grupos en los que trabajaron el Mini Proyecto, deben seleccionar un tema y plantear una oportunidad de investigación o de negocio respecto a ese tema.

El tema puede ser del material del curso o no, siempre que sea relevante a los elementos de máquinas. La selección del tema debe contar con la aprobación del docente. Durante el curso se dará a conocer los detalles y alcances de este trabajo.

EVALUACIÓN

Tareas de investigación	10%
Proyecto final	20%
Exámenes cortos	10%
Dos exámenes parciales	50%
TOTAL	100%

La nota mínima para aprobar el curso es 7,0. Los estudiantes que obtienen nota final de 6,0 o 6,5 podrán hacer el examen de ampliación. En tal caso la nota final obtenida podrá ser como máximo 7,0.

Respecto a reclamos en las evaluaciones por favor referirse al **Artículo 22 del Reglamento del Régimen Académico Estudiantil**.¹

1 https://www.cu.ucr.ac.cr/normativ/regimen_academico_estudiantil.pdf

Recuerde que COPIAR ES UNA FALTA GRAVE QUE ACARREA UNA PÉRDIDA AUTOMÁTICA DEL CURSO Y OTRAS SANCIONES. Para más información referirse al **Reglamento de Orden y Disciplina de los Estudiantes de la Universidad de Costa Rica**.²

2 https://www.cu.ucr.ac.cr/normativ/orden_y_disciplina.pdf

Si por alguna razón justificada, un estudiante no puede realizar el examen parcial puede realizar la reposición correspondiente en una fecha convenir. Estas deben tramitarse según lo establecido en el Reglamento de Régimen Académico Estudiantil.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Semana	Actividades
1 (13 de marzo de 2024)	Presentación de las y los estudiantes. Programa del curso EI-0026 Contenido # 1. Sistemas de Refrigeración. a. Principios básicos de sistemas de refrigeración. b. Funcionamiento de la refrigeración comercial y comparación con los aires acondicionados. c. Equipos del lado de Alta Presión. d. Productos del lado de Baja Presión. e. Refrigeración en supermercados.



Semana	Actividades
2 (20 de marzo de 2024)	Contenido # 2. Refrigerantes con bajo potencial de calentamiento global y no afectación a la capa de ozono a. Clasificación de los refrigerantes b. Refrigerantes Naturales c. Selección adecuada de refrigerantes. d. Protocolo de Montreal – Enmienda de Kigali. e. Recuperación de refrigerantes. f. <i>Diagrama de Mollier</i>
3 (27 de marzo de 2024)	SEMANA SANTA NO HAY LECCIONES
4 (03 de abril de 2024)	Contenido # 3 Ejecución de proyectos de sistemas frigoríficos a. Importancia y aplicaciones de la refrigeración b. Cadena del frío c. Refrigeración en la industria de alimentos d. Diseño de proyectos de refrigeración e. Sistemas de tuberías f. Introducción a la refrigeración industrial.
5 (10 de abril de 2024)	Contenido # 4. Cálculo de la carga térmica a. Consideraciones iniciales sobre el edificio. b. Consideraciones sobre los materiales y accesorios. c. Métodos Constructivos: técnicas de aislamientos, puertas, ventilaciones. d. Carga térmica del producto e. Estudio de la psicrometría del aire aplicada a cuarto limpios. f. Cálculo de carga térmica. g. Otras consideraciones.
6 (17 de abril de 2024)	Contenido # 5. Tecnologías de Refrigeración (Equipos Principales). a. Compresores Reciprocantes o de Pistones. ✓ <i>Componentes Internos y Externos</i> ✓ <i>Desplazamiento volumétrico.</i> ✓ <i>Eficiencia volumétrica y relación de compresión.</i> ✓ <i>Capacidad y potencia vs presión de succión.</i> ✓ <i>Capacidad y potencia vs presión de descarga.</i> ✓ <i>Capacidad y potencia vs RPM (abiertos).</i> ✓ <i>Control de capacidad.</i> ✓ <i>Sistema de Lubricación</i> ✓ <i>Selección de compresores de pistones.</i> b. Compresores rotativos o de Tornillo ✓ <i>Componentes Internos y externos.</i>



Semana	Actividades
	<ul style="list-style-type: none">✓ Desplazamiento volumétrico.✓ Eficiencia volumétrica y relación de compresión.✓ Capacidad y Potencia vs Presión de succión.✓ Capacidad y Potencia vs Presión de descarga.✓ Capacidad y Potencia vs RPM.✓ Control de capacidad.✓ Sistema de Lubricación.✓ Selección de compresores de tornillo. <p>c. Condensadores enfriados por aire forzado, agua y evaporativos.</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Tipos y materiales de construcción. Selección e instalación.
7 (24 de abril de 2024)	SEMANA UNIVERSITARIA
8 (01 de mayo de 2024)	NO HAY LECCIONES POR SER FERIADO EL 01 DE MAYO DE 2024 DÍA DEL TRABAJADOR
9 (08 de mayo de 2024)	PRIMER EXAMEN PARCIAL
10 (15 de mayo de 2024)	Contenido # 5. Tecnologías de Refrigeración (Equipos Principales). <ul style="list-style-type: none">a. Torres de Enfriamiento<ul style="list-style-type: none">✓ Tipos y materiales de construcción. Selección e instalación.b. Evaporadores de convección natural. Características y aplicaciones.c. Evaporadores de aire forzado<ul style="list-style-type: none">✓ Tipo de tiro y flujo de aire.✓ Tipo de soporte y materiales de construcción.✓ Separación y forma de las aletas.✓ Alimentación de refrigerante (DX, inundado, recirculado).✓ Diferencial de temperatura.✓ Tipo de descongelación.✓ Selección: cantidad y ubicación física.d. Enfriadores de agua<ul style="list-style-type: none">✓ Tipo carcasa y tubos. Características generales y selección.✓ Tipo Placas. Características generales y selección.
11 (22 de mayo de 2024)	Contenido # 6. Tecnologías de Refrigeración (Componentes secundarios) <ul style="list-style-type: none">a. Válvulas de Expansión Termostáticas.<ul style="list-style-type: none">✓ Tipos, Operación, Nomenclatura, Selección e Instalación.b. Válvulas de Expansión Manual<ul style="list-style-type: none">✓ Operación, Selección e instalación.c. Recibidores de líquido de alta presión Dimensionado, válvulas, accesorios e instalación.



Semana	Actividades
12 (29 de mayo de 2024)	Contenido # 6. Tecnologías de Refrigeración (Componentes secundarios) d. Recirculadoras de refrigerante líquido ✓ Tipos, dimensionado, selección e instalación. e. Otros componentes ✓ Trampas de succión ✓ Eliminadores de vibración ✓ Filtros deshidratadores ✓ Visores indicadores de líquido Válvulas solenoides.
13 (05 de junio de 2022)	Contenido # 7 Tecnologías de refrigeración (elementos de control) a. Control de nivel. b. Flotadores: eléctrico (switch flotador), mecánico (boya) y "Level master". c. Indicadores de nivel. Tipo: mirilla y tubo de vidrio. d. Válvulas en general. Válvulas de paso, check, reguladoras de presión y otras. e. Instrumentación. Presostatos, termostatos, manómetros y termómetros. f. Tuberías en sistemas de refrigeración.
14 (12 de junio de 2024)	Contenido # 8 Aplicaciones industriales de la refrigeración a. Salas de proceso. b. Cámaras de producto fresco. c. Cámaras de producto congelado. d. Túneles de congelación/IQF. e. Plantas avícolas. f. Vegetales/Frutas. g. Pescado/Camarón. h. Producción de hielo
15 (19 de junio de 2024)	Presentación de los proyectos finales.
16 (26 de junio de 2024)	Segundo examen parcial
17 (03 de julio de 2024)	Examen de ampliación

BIBLIOGRAFÍA

- Dossat, R. J.; Horan, T. J. Principles of Refrigeration. Quinta edición. Prentice Hall, 2001.
- Pita, E. G. Refrigeration Principles and Systems: An Energy Approach. John Wiley and Sons, Inc., 1984.
- Stoecker, W. Industrial Refrigeration Handbook. McGraw-Hill Professional, 1998.
- Bryant, A. C. Refrigeration Equipment. Segunda edición. Routledge, 1997.
- Rapin, P. J.; Jacquard, P. Instalaciones Frigoríficas. Tomo 1. Marcombo, 2008.



- Rapin, P. J.; Jacquard, P. Instalaciones Frigoríficas. Tomo 2. Marcombo, 2009.
 - Revistas y manuales de diferentes fabricantes de equipos y accesorios de refrigeración.
 - Dincer, I.; Kanoglu, M. Refrigeration Systems and Applications. Segunda edición. John Wiley and Sons, Inc., 2010.
 - Corinchock, J. Technician's Guide to Refrigeration Systems. McGraw-Hill Professional, 1996.
 - ASHRAE Handbook, 2021 Fundamentals.
 - ASHRAE Handbook, 2020 HVAC Systems and Equipment.
 - ASHRAE Handbook, 2019 HVAC Applications.
 - ASHRAE Handbook, 2022 Refrigeration.
- Nota:** Estos 4 manuales son las principales fuentes de referencia para la industria de refrigeración y Aire Acondicionado.
- Manual Refrigerantes con bajo potencial de calentamiento global 2020. DIGECA, MINAE.
 - Manual de Cañerías del Sistema de Refrigeración con Amoniac, IAR 2019.
 - El Manual del CO₂, Manual de Refrigeración con Dióxido de Carbono, IAR 2018.