



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE
INGENIEROS DE MINAS

Ríos Rosas, 21
28003 MADRID.

DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA QUÍMICA Y COMBUSTIBLES

PROGRAMA DE LA ASIGNATURA
REFINO, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE
HIDROCARBUROS

Curso : 5º
Cuatrimestre : 1º
Carácter : Optativa

Créditos totales
Teóricos : 2,9
Prácticos : 3,1

PLAN DE ESTUDIOS 1996

Edición 1: 2001-09-03

REFINO, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE HIDROCARBUROS: PROGRAMA

a) OBJETIVOS Y CONTENIDOS

BLOQUE 1: Estructura general de los procesos de refino. Clasificación

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.1 Conocer la estructura y panorámica de producción y consumo mundial y nacional del sector petrolero.

CONTENIDOS

1.1: INTRODUCCION A LA ASIGNATURA

- Estructura de las refinerías.
- Tipos de refinerías.
- Integración general de los procesos de refino.
- Clasificación técnica de los procesos: Físico-químicos, físicos, químicos. Limitaciones de cada tipo y su evolución.
- Importancia de la seguridad en el refino, transporte y almacenamiento de hidrocarburos.

BLOQUE 2: Destilación del petróleo

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.1 Comprender las bases teóricas para la utilización de fórmulas, ábacos, gráficos y ecuaciones operativas para el conocimiento del equilibrio líquido-vapor.*
- 2.2 Construir las curvas de destilación en los casos de vaporización progresiva simple (V.P.S.), ensayo A.S.T.M., curva de punto de ebullición verdadero (T.B.P.) y curvas de flash. Describir la selectividad de cada curva.*
- 2.3 Conocer las condiciones generales de fraccionamiento de mezclas complejas.*
- 2.4 Calcular los datos de equilibrio, temperaturas de rocío, de burbuja y composiciones a temperaturas intermedias.*
- 2.5 Calcular la curva de flash y estudiar la selectividad del proceso.*
- 2.6 Conocer las condiciones generales de fraccionamiento de mezclas complejas multicomponentes.*
- 2.7 Calcular las fracciones elementales en la descomposición de un crudo de petróleo determinado.*

CONTENIDOS

2.1: CURVAS Y CRITERIOS DE CÁLCULO

- Curvas de destilación del petróleo: Curva T.B.P. Destilación A.S.T.M.
- Curva de flash (O.F.V).

- Correlación entre las curvas T.B.P., A.S.T.M. y O.F.V.
- Cálculo de la curva flash a partir de la T.B.P., por el método de Maxwell.
- Trazado de la curva flash a distintas presiones por el método de Piromov.
- Cálculo de la curva A.S.T.M. a partir de la T.B.P., por el método de Edmister.

2.2: ESTUDIO DE UNA COLUMNA DE DESTILACIÓN A PRESIÓN ATMOSFÉRICA

- Conceptos previos:
 - Selectividad del fraccionamiento: Nociones de “gap” y “overlap”.
 - Funcionamiento de una columna de destilación.
 - Características de los productos de los cortes laterales.
 - Unidades especiales: columna pre-flash y destilación a vacío.
 - Horno de destilación: Conducción de entrada, horno.
 - Cálculo del diámetro de la columna.
 - Aplicación de las curvas al cálculo de la columna.
- Cálculo completo de una columna de destilación
- Balances de materia y energía en las columnas de destilación.

BLOQUE 3: Procesos de extracción con disolventes

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 3.1 Comprender la extracción líquida y relacionar sus aplicaciones en el refinado del petróleo.
- 3.2 Comprender los elementos, propiedades y aplicaciones de los diagramas ternarios de coordenadas triangulares equiláteras en la extracción líquida.
- 3.3 Determinar gráficamente el número de etapas de una extracción a contracorriente de múltiples etapas, mediante la transferencia de coordenadas del diagrama rectangular al de distribución.
- 3.4 Comprender el objeto del desasfaltado con propano del residuo de la destilación a vacío de los crudos.
- 3.5 Comprender el esquema del proceso y el circuito desasfaltado de la unidad industrial.
- 3.6 Conocer el esquema del proceso y los circuitos complementarios de recuperación del disolvente de las fases asfalto y aceite.
- 3.7 Comprender el objeto de la extracción con furfural de los hidrocarburos aromáticos de los aceites lubricantes.
- 3.8 Conocer el esquema del proceso, el circuito del extracto y el circuito de secado del disolvente.

CONTENIDOS

3.1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

- Operaciones de extracción y sus leyes.
- Tipos de diagramas.

3.2: MÉTODOS DE EXTRACCIÓN

- Método de extracción en contracorriente : Relación máxima y mínima de disolvente.
- Método de extracción en contracorriente con reflujo. Reflujo inducido.

3.3: EQUIPOS DE EXTRACCIÓN Y APLICACIONES EN EL REFINO DEL PETRÓLEO

- Columnas de relleno, de platos perforados y mezcladores-decantadores.
- Desasfaltado con propano.
- Extracción de los hidrocarburos aromáticos de las fracciones lubricantes.
- Desparafinado por extracción con disolventes de las fracciones de vacío.

BLOQUE 4: Procesos de refino

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 4.1 Conocer los procesos de lavado con aminas y los fundamentos del endulzamiento y la extracción.*
- 4.2 Comprender los fundamentos del reformado catalítico, de la hidrogenación y el craqueo térmico y catalítico e hidrocrqueo.*
- 4.3 Describir los procesos de disminución de la viscosidad y coquización.*
- 4.4 Conocer los procesos de isomerización y alquilación.*

CONTENIDOS

4.1: TRATAMIENTOS QUÍMICOS DE FRACCIONES PETROLÍFERAS

- Proceso de lavado con aminas.
- Tratamiento con sosa.
- Procesos merox de endulzamiento.
- Procesos merox de extracción.

4.2: PROCESOS DE REFORMADO CATALÍTICO

- Estructura y fines del reformado catalítico en el refino del petróleo.
- Reacciones fundamentales: Su mecanismo, termodinámica, cinética y resultados.
- Reacciones sobre catalizador metálico y ácido.
- Carga reformable: Caracterización, preparación y composición de la carga y del reformado.
- Tecnología del proceso: Número y misión de los reactores, severidad del proceso.
- Variables y flexibilidad.
- Catalizadores: Reparación y regeneración.
- Tendencias modernas del proceso.

4.3: PROCESOS DE HIDRORREFINO E HIDROCRQUEO

- Reacciones de hidrogenación.
- Catalizadores.
- Presión y temperatura.
- Aplicaciones en la desulfuración de fracciones.
- Disponibilidad de hidrógeno en la refinería.

- El hidro craqueo: su finalidad en el refino del petróleo.
- Condiciones del proceso de hidro craqueo: Diversidad de la carga, flexibilidad, productos.

4.4: PROCESOS DE CRAQUEO CATALÍTICO

- Finalidad y evolución.
- Reacciones.
- Sistema de lecho circulante.
- Carga.
- Craqueo catalítico en lecho fluido.
- Catalizador.
- Tecnología.
- Recuperación de calor.
- Regeneración del catalizador.
- Subproductos.

4.5: PROCESOS DE CRAQUEO TÉRMICO

- Finalidad.
- Reacciones.
- Concepto de severidad.
- Productos.

4.6: RUPTURA DE VISCOSIDAD Y COQUIZACIÓN

- Proceso de ruptura de viscosidad.
- Aplicaciones.
- Productos del proceso de coquización: coque verde y calcinado, aplicaciones.
- Desulfuración del coque calcinado.
- Tecnología, diferencias fundamentales de los procesos de craqueo.

4.7: PROCESOS DE ISOMERIZACIÓN Y ALQUILACIÓN

- Isomerización y polimerización.
- Isomerización de la fracción C_5/C_6 .
- Optimización del producto: Utilización de la destilación y de las cribas moleculares.
- Proceso de alquilación: Catalizadores y tecnología.

BLOQUE 5: Cinética de reacciones catalíticas de refino

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 5.1 Aplicar los conocimientos sobre la teoría de la catálisis homogénea y heterogénea a las finalidades del refino del petróleo.*
- 5.2 Relacionar las variables del proceso y su influencia en los resultados del mismo.*
- 5.3 Conocer las instalaciones y los catalizadores utilizados, así como la evolución tecnológica de los procesos.*

CONTENIDOS

5.1: CATÁLISIS, CATALIZADORES Y CINÉTICA DE LAS REACCIONES CATALÍTICAS

- Revisión de conceptos aplicables en refinado de petróleo.

5.2: REACTORES CATALÍTICOS EN PROCESOS DE REFINO DEL PETRÓLEO

- Reactores integrales y diferenciales.
- Reactores de lecho fijo reformado catalítico convencional e isomerización, multitubulares (reformado catalítico) y de bandejas (hidrorrefino).
- Reactores de lecho móvil: Reformado catalítico continuo, hidrocrackeo de residuos.
- Reactores de lecho fluidizado.

BLOQUE 6: Transporte de productos petrolíferos

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 6.1 *Aplicar los conocimientos de mecánica de fluidos a las peculiaridades físicas de los hidrocarburos y establecer las fórmulas generales.*
- 6.2 *Conocer los distintos casos de transporte de hidrocarburos en botellas a presión, cisternas, por vía marítima y las condiciones de carga y descarga.*
- 6.3 *Aplicar las fórmulas de cálculo al transporte por tubería de hidrocarburos gaseosos (gasoductos) y líquidos de baja viscosidad a la temperatura ambiente (oleoductos).*
- 6.4 *Analizar los casos limitativos del transporte de hidrocarburos por tubería.*
- 6.5 *Conocer la reglamentación aplicable al transporte de mercancías peligrosas ("ADR").*

CONTENIDOS:

6.1: TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS EN FASE LÍQUIDA. OLEODUCTOS

- Ventajas e inconvenientes.
- Dimensionado hidráulico: Datos necesarios.
- Determinación del diámetro en primera aproximación.
- Viscosidad cinemática y número de Reynolds.
- Pérdidas de carga.
- Presión de descarga.
- Presión residual.
- Número de estaciones intermedias.
- Golpe de ariete.
- Espesor de la tubería.
- Bombas por estación: Potencia mecánica y eléctrica.
- Estaciones de bombeo: Booster y principales, intermedias y terminal.
- Supuesto práctico de un oleoducto.

6.2: TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS EN FASE GASEOSA. GASODUCTOS

- Datos necesarios para el dimensionado.
- Procedimiento de cálculo.
- Determinación del diámetro en primera aproximación.
- Numero de Reynolds.
- Pérdidas de carga.

- Determinación del número de estaciones.
- Altura adiabática.
- Espesor de la tubería.
- Potencia de la estación: Mecánica y eléctrica.
- Compresores: Caudal mínimo.
- Estaciones de compresión: tipos de montaje de compresores.
- Regulación del compresor y circuito antibombeo.
- Cálculo completo de un gasoducto.

6.3: TRANSPORTE MARÍTIMO

- Historia y evolución.
- Descripción de petroleros: Tanques de carga, acomodación, cámaras de máquinas y de bombas, pique de proa.
- Tipos de buques: conceptos y dimensiones.
- Clasificación de los buques según su tamaño y propulsión.
- Proa de bulbo.
- Flota mundial y española de petroleros.
- Transporte de gases licuados de petróleo (G.L.P.).
- Transporte de gas natural licuado (L.N.G.).

6.4: TRANSPORTE POR CAMIÓN CISTERNA Y FERROCARRIL

- Generalidades del transporte por camión cisterna.
- Características técnicas básicas del camión cisterna.
- Transporte del G.L.P. por camión cisterna.
- Características técnicas básicas del vagón cisterna.
- Transporte ferroviario del G.L.P.
- Escalones de distribución: Primera, secundaria y capilar.

BLOQUE 7: Almacenamiento de hidrocarburos

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 7.1 Conocer los tipos de tanques de almacenamiento para productos pesados, fracciones ligeras, medias y volátiles y depósitos de almacenamiento a presión para gases, así como los materiales empleados y accesorios para su funcionamiento.*
- 7.2 Conocer los tanques criogénicos para almacenamiento de fracciones licuadas y depósitos semienterrados.*
- 7.3 Conocer las normas de llenado, vaciado y limpieza de los tanques de almacenamiento.*
- 7.4 Conocer la tecnología de establecimiento y funcionamiento de un depósito en acuífero y en estructuras geológicas y mineras (no acuíferas), formaciones salinas y minas abandonadas.*
- 7.5 Conocer las normas generales de seguridad y prevención de la contaminación en los almacenamientos subterráneos de hidrocarburos.*
- 7.6 Realizar el cálculo de depósitos en los diferentes tipos de almacenamiento.*

CONTENIDOS

7.1: ALMACENAMIENTOS DE PRODUCTOS PETROLÍFEROS LÍQUIDOS

- Generalidades.
- Almacenamiento de hidrocarburos según productos y ubicación.
- Almacenamientos superficiales según su función.
- Clasificación de los tanques según la presión.
- Tipos de almacenamiento.
- Tanques atmosféricos: dimensiones y construcción, accesorios, capacidad.
- Tanques atmosféricos verticales, con pantalla flotante.
- Tanques atmosféricos verticales con techo flotante.

7.2: ALMACENAMIENTO A PRESIÓN DE PRODUCTOS LICUADOS (G.L.P.)

- Depósitos convencionales a presión cilíndricos y esféricos.
- Sistemas contra incendios.
- Sistema de semirrefrigeración.

7.3: ALMACENAMIENTO CRIOGÉNICO. GAS NATURAL LICUADO (L.N.G.)

- Generalidades.
- Características de los depósitos.
- “Boil-off”.
- Recipiente interno. Aislamiento térmico. Recipiente externo.
- Recipiente interno en hormigón.
- Almacenamiento de etileno.

7.4: ALMACENAMIENTOS SUBTERRÁNEOS

- Almacenamiento en cavernas excavadas: Con lecho de agua fijo y lecho de agua móvil.
- Almacenamiento en acuíferos.
- Almacenamiento en yacimientos agotados.
- almacenamiento en cavidades salinas.
- Almacenamiento en minas abandonadas.

BLOQUE 8: Problemas de ecología

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 8.1 Conocer las fuentes de contaminación del aire procedentes del uso de los hidrocarburos.
- 8.2 Conocer los niveles de contaminación de los productos producidos por la utilización de hidrocarburos.
- 8.3 Conocer los sistemas de lucha contra la contaminación atmosférica y su relación con la normativa legal.
- 8.4 Conocer las fuentes de contaminación de aguas superficiales, freáticas o subterráneas por instalaciones de refino, transporte o almacenamiento de hidrocarburos.
- 8.5 Conocer los sistemas de depuración de aguas de refinería y su aplicación en cada caso.

CONTENIDOS

8.1: EFECTOS AMBIENTALES

- Principales focos antropogénicos de emisiones primarias.
- Contaminantes.
- Contaminación producida por los combustibles.

- Efecto de las emisiones. Interrelaciones de los contaminantes.

8.2 LEGISLACIÓN, NORMAS Y MEDIDAS CORRECTIVAS

- Exigencias normativas.
- Directivas marco: Adaptación de la industria.
- Técnicas en el tratamiento de los gases de escape de automoción. Catalizadores.
- Programas europeos para la limitación de emisiones.
- Adaptación de los esquemas de refino: Reformulación de carburantes. Inversiones estimadas.
- Aguas residuales: Tratamientos físicos, químicos y biológicos.
- Restitución del agua.
- Contaminación térmica de las aguas.
- Derrames de petróleo: Causas y medios para combatirlos.

b) BIBLIOGRAFÍA

BÁSICA:

- HUGHES, J.R. *Storage and Handling of Petroleum Liquids*. Griffin, Londres, 1986.
- MAXWELL, J.B. *Data Book on Hydrocarbons*. Van Nostrand, Nueva York, 1985.
- RAMOS CARPIO, M.A. *Refino de petróleo, gas natural y petroquímica*. Fundación Fomento Innovación Industrial, Madrid, 1997.
- RODRIGUEZ PINCHO, A. *Apuntes de Cátedra*. Servicio de Publicaciones de la E.T.S.I.M., Madrid, 1999.
- WATKINS, R.N. *Petroleum Refinery Distillation*. Gulf Publishing Company, Houston, 1981.

COMPLEMENTARIA:

- JONES, D.S.J. *Elements of Petroleum Processing*. Wiley, Nueva York, 1985.
- MEYERS, R.A. *Handbook of Petroleum Refining Processes*. McGraw-Hill, Nueva York, 1986.
- NELSON, W.L. *Refinación de petróleos*. Reverté, Barcelona, 1958.
- WITHIER, P. *El Petróleo. Refino y tratamiento químico*. Ediciones CEPESA, Madrid, 1971.

c) PRÁCTICAS EN GRUPOS REDUCIDOS

Consiste en el cálculo de una columna de destilación atmosférica. Para ello se hacen grupos de aproximadamente 10 alumnos cada uno, a los que se les entrega el enunciado del trabajo que debe ser realizado y, posteriormente, expuesto por los alumnos del grupo.

A cada grupo se le entrega la documentación siguiente:

- Análisis general del crudo de petróleo.
- Situación geográfica mediante un plano en el que se procura que estén representados los yacimientos, refinerías, oleoductos y gasoductos del país originario.
- Cuestiones que deben ser resueltas por los alumnos.

En un plazo de, al menos, dos meses los alumnos resolverán las cuestiones planteadas con ayuda del tutor y serán examinados del trabajo realizado de forma oral.

d) PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

1. Para facilitar la evaluación de la asignatura, el contenido de la misma se divide en 6 partes diferenciadas (Procesos de Refino, Extracción, Reactores, Transporte, Almacenamiento de Hidrocarburos, Columna de Destilación), que pueden ser aprobadas separadamente en la convocatoria ordinaria, quedando liberadas las partes aprobadas hasta la extraordinaria del mismo curso.
Cada una de las seis partes anteriores se divide, a su vez, en teoría y problemas, las dos de idéntico peso, pero con la condición de alcanzar como mínimo tres puntos en cada una.
2. La evaluación de la teoría se lleva a cabo mediante cuestiones breves, valorando la capacidad de aplicación de los conceptos estudiados, evitando la reproducción de lo expuesto en las clases o contenido literal de los textos recomendados.
3. Los problemas son de aplicación de conceptos y tienen características similares a los resueltos durante el curso. Con el enunciado se adjunta la documentación necesaria para su resolución.