

T
660.27
R934P
1978
F. CC. y HH.

092847

E. J. A.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA EDUCACION

PROGRAMA REGIONAL DE MAESTRIA

EN ADMINISTRACION DE LA EDUCACION

(PROMADE)

PROYECTO DE DESARROLLO DE LA
METODOLOGIA MODULAR EN EL
CURRICULUM DE LA CARRERA DE
INGENIERIA QUIMICA DE LA UNI-
VERSIDAD DE EL SALVADOR (Aplicado a la materia de operaciones Unitarias I)

Tesis presentada previa a la obtención del grado de
MASTER EN ADMINISTRACION DE LA EDUCACION

POR

MARIO ANTONIO RUIZ RAMIREZ



Noviembre de 1978

San Salvador, El Salvador, Centro América



RECTOR

ING. SALVADOR ENRIQUE JOVEL

SECRETARIO GENERAL

DR. RAFAEL ANTONIO OVIDIO VILLATORO

DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

LIC. ROBERTO LUCIO PAREDES

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA EDUCACION

DRA. ADELA CABEZAS DE ROSALES

ASESOR DE TESIS

LIC. JUAN JOSE OLIVO PENATE M. Sc.

APROBADA POR EL COMITE DE POST GRADO:

DRA. ADELA CABEZAS DE ROSALES

LIC. GILDABERTO BONILLA

DR. FELIX CANETE ESCALONA

DEDICATORIA

A MIS PADRES: Alejandro Ruíz
 Emma Alicia de Ruíz

A MI ESPOSA: Lic. Zoila Margarita Aguilar de
 Ruíz

A MI HIJA: Karla Alicia

A MIS HERMANOS: Elba Elena
 Rafael Alejandro
 René Alejandro
 José Roberto

A MIS DEMAS FAMILIARES Y AMIGOS

MARIO ANTONIO RUIZ R.

PROLOGO

Defender los métodos de enseñanza tradicionales en la educación superior, representa hoy día un combate de retaguardia, una resistencia absurda destinada al fracaso; es confesar que somos incapaces de adaptarnos al ritmo de cambio de nuestra época, puesto que en el mundo actual, las viejas estructuras caducan y las costumbres tradicionales son eliminadas. Está pues en juego el porvenir del educador, como también el futuro de la Universidad.

El presente trabajo de investigación es el producto de comprender la importancia de la situación mencionada anteriormente y de la inquietud académica y profesional, obtenida a través de seis años de experiencia docente universitaria, para tratar de superar las deficiencias existentes, en los métodos utilizados en la actualidad, para desarrollar el proceso de enseñanza-aprendizaje, tanto en la facultad de Ingeniería y Arquitectura como en toda la Universidad.

El deseo de iniciar y luego profundizar en el conocimiento de la metodología modular como una variante del sistema de instrucción personalizada; fue el estímulo poderoso que inspiró este trabajo de tesis, realizado en forma de un proyecto para tratar de introducir y desarrollar una nueva metodología de enseñanza-aprendizaje (modular) en las actividades docentes y discentes de la facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador; lo cual se convierte en la búsqueda de una mayor cantidad y calidad en el producto del sistema curricular de dicha facultad.

La tarea de recolectar información para alcanzar los objetivos generales del trabajo, tuvo como resultado la obtención de una cierta cantidad de documentos y datos, tanto en el país como en el exterior; lo cual fue logrado unas veces por medio de contactos personales y en otras por medio de cartas enviadas a una serie de personas conocedoras del tema a desarrollar.

Al estructurar el presente trabajo de tesis, se decidió que la primera parte presentara un esquema general de la metodología modular, vista la relativa novedad del sistema y la dispersa literatura existente. Seguidamente se presenta un sintético panorama de la situación actual del curriculum de Ingeniería Química y el planteamiento de lo que debe ser. Además, se muestra el comportamiento que ha tenido la asignatura Operaciones Unitarias I (elegida como estrategia para tratar de introducir la metodología modular) con relación a índices de deserción, aprobación y reprobación en los últimos 4 períodos en que se ha impartido.

En tercer lugar se plantean los objetivos generales y específicos, así como las metas para el proyecto.

A continuación se presenta una descripción detallada de la metodología a seguir, tanto en las actividades previas a la ejecución del proyecto, como en las de cada una de las semanas que constituye un ciclo lectivo de la Universidad; cuando se ejecute dicho proyecto. Además en esta misma sección se mencionan dos alternativas para desarrollar por primera vez la metodología modular.

En el numeral V se define el plan de actividades del proyecto, así como la respectiva cronogramación de ellas.

A continuación de este numeral se detallan los costos de ejecución del proyecto.

Finalmente, en los anexos, además de otros documentos considerados importantes, se encuentran completamente desarrollados los dos primeros módulos de instrucción para el estudiante de la asignatura Operaciones Unitarias I.

La elaboración del presente trabajo fue posible gracias a la colaboración desinteresada de muchas personas entre las cuales se mencionan:

- Lic. Juan José Olivo Peñate (Ministerio de Educación) por su eficiente asesoría para lograr realizar este trabajo, así como por facilitar toda su bibliografía personal referente al tema en estudio.
 - Dr. Félix Cañete Escalona (Ministerio de Educación) por sus acertadas indicaciones y consejos para llevar a feliz término el trabajo.
 - Dra. Angela de Fábregas (Instituto Centroamericano de Administración y Supervisión Educativa) por el envío de información referente a la metodología modular.
 - Dres. Enrique Pascual Kelly e Iván Meza Castro (Pontificia Universidad Católica de Chile) por remitirnos copia de su excelente trabajo titulado "Validación de Materiales Modulares de enseñanza de un curso de planeamiento y desarrollo curricular para educadores".
- Dr. Pedro D. Lafourcade (centro multinacional de in-

investigación educativa - O.E.A.) por sus acertadas recomendaciones y el envío de información acerca del sistema de instrucción personalizada en la educación de ingeniería.

A La Dra. Adela Cabezas de Rosales, Lic. Gildaberto Bonilla y a todas las demás personas que en una u otra forma, hicieron posible la culminación del presente trabajo de tesis para optar al grado de Master en Administración de la Educación.

Mario Antonio Ruíz R.

Ingeniero Químico

INDICE GENERAL

	<u>Página</u>
PROLOGO	v
I - INTRODUCCION.....	1
1. Definición de módulo.....	3
2. Partes que componen un módulo instruccional de aprendizaje.....	4
3. Principales características de la metodología modular.....	6
II - PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
III - OBJETIVOS Y METAS.....	18
IV - METODOLOGIA.....	20
1 - Sujetos.....	20
2 - Descripción de la asignatura Operaciones Unitarias I.....	20
3 - Procedimiento.....	21
3.1. Actividades previas al inicio de las clases.....	21
3.2. Distribución por módulos, laboratorios y discusiones de problemas para la asignatura.....	25
3.3. Actividades durante el desarrollo de la asignatura por medio de la metodología modular.....	28
3.4. Alternativas para desarrollar por primera vez la metodología modular.....	45
3.5. La mecánica de trabajo dentro del salón de clases.....	46
3.6. Sistema de evaluación de la asignatura...	47

3.7. El diagrama del procedimiento general para desarrollar un módulo.....	55
V - PLAN DE ACTIVIDADES Y ACONTECIMIENTOS Y LA PROGRAMA- CION DURANTE EL DESARROLLO DE LA METODOLOGIA MO- DULAR.....	56
VI - COSTOS.....	62
BIBLIOGRAFIA.....	64
ANEXOS.....	68

La masificación es un fenómeno ineludible que caracteriza nuestro siglo. La producción industrial, los servicios públicos y aún los bienes culturales están diseñados para servir en función de una masa de consumidores, y no precisamente en función del individuo.

La educación no escapa a este fenómeno. El profesor con un reducido grupo de discípulos, son figuras inconcebibles en nuestra época. Por el contrario, los libros de texto editados por millares, los grupos escolares sobrepoblados, la conferencia-cátedra como sustituto del diálogo son características del actual sistema de instrucción; el cual pese a los esfuerzos para masificar la educación aún conserva, en muchos casos - (principalmente en la educación superior) sus metodologías tradicionales de enseñanza, las cuales, al ser conservadoras preparan hombres para una sociedad ya pasada y antigua.

Estas metodologías tradicionales del proceso de enseñanza en la educación superior provocan una serie de problemas, tales como:

- bajo rendimiento del proceso de enseñanza-aprendizaje.
- No se logran los objetivos socio-económicos de la educación;
- no toma en cuenta la psicología del adolescente;
- se alienta la deserción escolar y sus resultados son desastrosos;
- la realización de las prácticas profesionales y

la prestación del servicio social, en muchos casos, no son selectivos;

- etc.

Por eso, la educación que tiene como finalidad formar al hombre, como persona capaz de actuar libre y responsablemente en sociedad y además que pretende sembrar el germen de la inconformidad en los jóvenes, única vía para el progreso personal y social, tiene que hallar métodos para individualizar y mejorar su acción. El patrimonio educativo quizás seguirá siendo masivo; pero hay que individualizar el acceso a esos bienes: que cada uno tome lo que personalmente necesita de ellos, según su habilidad y su oportunidad, no bajo la presión de condiciones y plazos fijados arbitrariamente.

Un medio que se ha probado es eficiente para individualizar y mejorar la instrucción, es el sistema de instrucción personalizada (SIP), diseñado en la década de los sesenta por cuatro psicólogos: los norteamericanos Fred S. Keller y J. Gilmour Sherman y los brasileños Rodolfo Azzi y Carolina Martuscelli; y que actualmente es aplicado por miles de profesores en muchos países del mundo.

Una manera para lograr este sistema de instrucción personalizada, es con el enfoque modular de la enseñanza-aprendizaje que como refiere Lydia Miguel (1) "es una nueva moda-

(1) Miguel, Lydia, en *Selecciones Educación del Mundo de Hoy. El Enfoque Modular de la Enseñanza-aprendizaje*. Facultad de Ciencias y Humanidades. Universidad de El Salvador, pag. 1.

lidad para desglosar los contenidos de un curso y organizarlos en una secuencia de pequeñas unidades o módulos, cada uno de los cuales es susceptible de ser tratado independientemente, ya que representa una experiencia con sentido de totalidad, a un nivel determinado, pero a la vez es capaz de ser relacionado con otros, a otro nivel"

La aplicación de módulos ha sido mayor hasta ahora en la enseñanza de las ciencias, y esto se debe al hecho de que la especialización reflejada en los cursos de ciencias tradicionalmente estructurados no sólo se dedican al conocimiento de la ciencia moderna, sino, también a la solución de los problemas que preocupan a la sociedad actual y además porque las áreas donde la investigación científica ha logrado los avances más significativos en los últimos tiempos son aquellas interdisciplinas, tales como la Biología molecular, la Bioquímica, la Biofísica, la Geofísica, etc. lo que en cierto modo, está expresando una tendencia a borrar las fronteras entre las ciencias tradicionales.

1. Definición de Módulo

Se encontró una definición, que puede ser de utilidad para que sea discutida, analizada y ajustada (a través de una redefinición si fuera necesario) a las condiciones y objetivos de este proyecto.

La definición dada por Elam, Stanley (2) es la siguiente: "un módulo es un conjunto de actividades discentes (con unos objetivos, unos requisitos, una pre-evaluación, unas actividades docentes, una post-evaluación, y unas actividades encaminadas a poner remedio a los posibles fallos) cuya finalidad consiste en facilitar al alumno la adquisición de unos conocimientos concretos".

El autor de este proyecto ha elaborado otra definición de módulo, obtenida a través de la lectura de varios autores. Dicha definición es la siguiente: "un módulo es una técnica educativa integrada alrededor de un tópico adecuado, y la cual consiste en una lección o serie de lecciones escritas, por medio de las cuales un estudiante puede ir aprendiendo una materia a un ritmo que se ajuste a sus aptitudes, interés, motivación y tiempo disponible; sin que necesariamente un maestro imparta la enseñanza; pero sin descartar la presencia del maestro el cual tiene la función de dirigir, coordinar y asesorar al estudiante cuando éste lo solicita o el tema en estudio lo amerite, mas con la importante característica de que estudiante y maestro comparten las responsabilidades implicadas".

2. Partes que componen un módulo instruccional de aprendizaje

Un módulo instruccional consta de las siguientes partes:

(2) Elam, S. Documento ED-73/conf.635/5 Unesco. 1973, pag. 12.

lidad para desglosar los contenidos de un curso y organizarlos en una secuencia de pequeñas unidades o módulos, cada uno de los cuales es susceptible de ser tratado independientemente, ya que representa una experiencia con sentido de totalidad, a un nivel determinado, pero a la vez es capaz de ser relacionado con otros, a otro nivel"

La aplicación de módulos ha sido mayor hasta ahora en la enseñanza de las ciencias, y esto se debe al hecho de que la especialización reflejada en los cursos de ciencias tradicionalmente estructurados no sólo se dedican al conocimiento de la ciencia moderna, sino, también a la solución de los problemas que preocupan a la sociedad actual y además porque las áreas donde la investigación científica ha logrado los avances más significativos en los últimos tiempos son aquellas interdisciplinas, tales como la Biología molecular, la Bioquímica, la Biofísica, la Geofísica, etc. lo que en cierto modo, está expresando una tendencia a borrar las fronteras entre las ciencias tradicionales.

1. Definición de Módulo

Se encontró una definición, que puede ser de utilidad para que sea discutida, analizada y ajustada (a través de una redefinición si fuera necesario) a las condiciones y objetivos de este proyecto.

La definición dada por Elam, Stanley (2) es la siguiente: "un módulo es un conjunto de actividades discentes (con unos objetivos, unos requisitos, una pre-evaluación, unas actividades docentes, una post-evaluación, y unas actividades encaminadas a poner remedio a los posibles fallos) cuya finalidad consiste en facilitar al alumno la adquisición de unos conocimientos concretos".

El autor de este proyecto ha elaborado otra definición de módulo, obtenida a través de la lectura de varios autores. Dicha definición es la siguiente: "un módulo es una técnica educativa integrada alrededor de un tópico adecuado, y la cual consiste en una lección o serie de lecciones escritas, por medio de las cuales un estudiante puede ir aprendiendo una materia a un ritmo que se ajuste a sus aptitudes, interés, motivación y tiempo disponible; sin que necesariamente un maestro imparta la enseñanza; pero sin descartar la presencia del maestro el cual tiene la función de dirigir, coordinar y asesorar al estudiante cuando éste lo solicita o el tema en estudio lo amerite, mas con la importante característica de que estudiante y maestro comparten las responsabilidades implicadas".

2. Partes que componen un módulo instruccional de aprendizaje

Un módulo instruccional consta de las siguientes partes:

(2) Elam, S. Documento ED-73/conh.635/5 Unesco. 1973, pag. 12.

2.1 La Identificación del módulo

En la primera página aparece el nombre del curso, la unidad, la tarea, el número del módulo y el tópic que en él se discute.

2.2 La Introducción

Esta presenta en forma sencilla y en términos generales, el tema a desarrollar y la conveniencia de estudiarlo.

2.3 Los Objetivos de Aprendizaje

Estos expresan lo que el estudiante va a lograr al estudiar el contenido del módulo y al llevar a cabo las tareas u operaciones que se sugieren en el módulo.

2.4 Test de Diagnostico o PRE-PRUEBA

Consiste de un ejercicio escrito o práctico cuyo propósito es guiar al estudiante a determinar sus conocimientos en relación al tema del módulo.

2.5 Los Materiales

Incluye todas las ayudas educativas, equipo y herramientas que el módulo requiere para su estudio y la realización de las tareas y actividades que éste sugiere.

2.6 Las Actividades de Aprendizaje

Presentan en forma fácil los pasos que se recomienda seguir al llevar a cabo las tareas que se requieren para la adquisición de nuevos conocimientos, destrezas y actitudes por el estudiante a fin de lograr los objetivos del módulo.

2.7 La Post-prueba

Es un ejercicio cuyo propósito es determinar el progreso del estudiante al comparar sus resultados con los del test de diagnóstico que se realiza al iniciar el estudio del módulo. Al contestar la post-prueba el estudiante tiene la oportunidad de comprobar si logró alcanzar los objetivos del módulo y si no los alcanzó se sugiere que el estudiante estudie de nuevo el módulo cuantas veces lo crea conveniente para que aclare sus dudas.

2.8 Las Referencias o Bibliografía

Son los libros y otras fuentes de referencias que el estudiante puede consultar para ampliar sus conocimientos. La bibliografía incluye la descripción de cada obra sugerida como referencia.

3. Las Principales Características de la Metodología Modular

3.1 Excelencia en el Aprendizaje: una de las características fundamentales de la metodología modular y la que da como consecuencia el desarrollo de las otras, es la excelencia en el aprendizaje.

Con esto se quiere decir que en esta metodología, todos los alumnos y no sólo algunos, deben adquirir los conocimientos a un nivel de aceptación fijado previamente por el maestro.

Contrasta este hecho con lo que ocurre en el sistema tradicional de enseñanza, en donde sólo unos pocos -- alumnos terminan el curso con máximo rendimiento académico.

3.2 Ritmo de Trabajo Individual: si se desea que todos los estudiantes alcancen excelencia en el aprendizaje, el resultado obvio es que cada quien debe ir avanzando en el material de estudio a un ritmo que se ajuste a sus aptitudes, intereses, motivaciones y ocupaciones. Es decir, cada quien va avanzando a su propio paso.

En el sistema tradicional de enseñanza se fija el tiempo y lo que varía es la eficiencia en el aprendizaje. En el sistema modular lo que se fija es la eficiencia en el aprendizaje y lo que varía es el tiempo.

3.3 Énfasis en la Comunicación Escrita: si los alumnos avanzan a diferentes ritmos, es necesario enseñar a cada uno lo que necesita, cuando lo necesita. Por tanto, es necesario cambiar el énfasis en la comunicación, pasando de la oral -las clases- a la escrita.

3.4 División del Material en elementos: el material de estudio se divide en elementos, que son fundamentalmente guías de estudio, es decir los módulos.

3.5 Conferencias y Discusiones en grupo como vehículos de Motivación: es evidente que la comunicación escrita no puede sustituir siempre a la comunicación oral. Las experiencias personales del maestro, el análisis de distintos puntos de vista, etc., se logran mejor a base de la interacción personal.

Se requiere, por lo tanto, de conferencias y reuniones de discusión, pero entendidas como vehículos para enriquecer y para entusiasmar a los estudiantes.

3.6 Uso de Ayudantes para asegurar el Contacto Personal y el refuerzo positivo: para lograr las características anteriores y hacer operativo el sistema, el profesor necesita ayudantes que además aseguren el contacto personal y el refuerzo positivo a los alumnos.

Este hecho, permite la evaluación inmediata de los exámenes; es decir el examen de cada módulo se califica en presencia del alumno y éste puede defender sus respuestas. En esta evaluación inmediata y lo que de ella resulta es donde se manifiestan algunas de las ventajas de la metodología.

3.7 Tiene un Objeto Terminal bien definido: que orienta toda su organización y desarrollo, para ofrecer al alumno oportunidades de participación activa para lograr el aprendizaje.

3.8 Se aprende de los propios errores: Esto quiere decir que el error se contempla dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje y por tanto éste no es castigado, sino que por el contrario, sus causas son analizadas y aclaradas de inmediato, constituyendo un refuerzo más al aprendizaje del alumno.

3.9 Es un instrumento pedagógico flexible, que se puede insertar en cualquier programa, en cualquier momento, adaptado ya sea a nivel local y/o regional.

3.10 Incluye en su desarrollo, aspectos básicos del tema central que el alumno debe dominar, proyectados hacia los problemas de la vida real.

3.11 Organiza los objetivos en una red que puede tener varios caminos opcionales para lograrlos.

Lo anteriormente expuesto en esta introducción esta basado en concepciones modernas del proceso de enseñanza aprendizaje como expresa Susana Avolio de Cols (3): "la actual concepción del proceso de enseñanza-aprendizaje asigna al docente la función de orientador, y al alumno, el papel protagónico de realizar las experiencias de aprendizaje, que lo llevarán a lograr los objetivos".

En esta concepción, la planificación de las actividades que desarrollarán los alumnos es sumamente importante, al prever el desarrollo de cada módulo, ya que estas actividades serán el motor que estimule las experiencias que los alumnos vivirán.

Así mismo, lo que se trata en la metodología modular es que el alumno por su propio esfuerzo, llegue a conclusiones personales empleando su razonamiento, a partir de principios y generalizaciones dadas.

Pero, frente a estas innovaciones siempre existirán grupos con las consabidas resistencias, como menciona Pedro D. Lafourcade (4): "He aquí algunos de los diversos

(3) Avolio de Cols, S. Planeamiento del Proceso de Enseñanza-Aprendizaje. Ediciones Marymar, S. A., Buenos Aires, 1976. Pag. 189.

(4) Lafourcade P. D. Planeamiento, conducción y evaluación en la Enseñanza-Superior. Editorial Kapelusz, S.A. Buenos Aires, Argentina, 1974. Pags. 17-19

grupos que presentan actitudes contrarias a los cambios y las posibles causales que suelen ser su fundamento:

- a) Los grupos que poseen rasgos de personalidad contrarios a cualquier innovación de importancia. Quienes poseen algunos de estos rasgos u otros que definen una personalidad conservadora emplearán multiplicidad de argumentos para evitar o trabar cualquier acción transformadora: "la universidad no puede estar al servicio de los vaivenes de la moda"; "su misión ya ha sido suficientemente esclarecida"; "todo lo que hay que mejorar es el contenido de algunos programas"; "tengo suficientes años de experiencia docente universitaria como para saber si los métodos que empleo dan resultado o no"; "el saber a fondo la materia es lo único que cuenta en la enseñanza superior", etc.
- b) Los grupos que no tienen mayor interés en el ejercicio de la docencia.

El ingreso de los profesores en los organismos de estudios superiores está condicionado principalmente, por los antecedentes que poseen en el ámbito de la investigación y en menor medida por sus reales condiciones docentes. Cuando ya están dentro de la institución, lo que más contará para su prestigio, como personal de la misma será el número y calidad de los trabajos de investigación que periódicamente presenten y no

precisamente su descollante actuación ante los alumnos, aspecto que sólo incidirá en su estabilidad cuando ofrezca deficiencias demasiado - apreciables.

En suma cualquier innovación de relieve que requiera un activo concurso de este grupo será resistida a través de una variedad de mecanismos de oposición motivados por intereses ajenos a la actuación ante los alumnos.

- c) Los grupos que no se deciden a aceptar la introducción de nuevos modelos hasta que no se conozca bien qué resultados se obtuvieron en los lugares donde fueron aplicados.

Algunas personas aceptarían de buen grado participar en algunas innovación curricular si se les demostrara fehacientemente que ella ha probado ser superior a lo que se pretende cambiar.

Aparte de las connotaciones éticas que entraña esta posición de arriesgar lo menos posible y depender para avanzar de los éxitos que logren otros más decididos, en el campo de las investigaciones pedagógicas, no existe consenso respecto de la superioridad de las múltiples innovaciones cuya aplicación experimental se suele recomendar. Esta incertidumbre suele actuar en muchos casos como un componente que detiene cualquier cambio que se plantee y otorga argumentos de peso a quienes, en nombre de una excesiva prudencia,

retardan innecesariamente los procesos de transformación que reclaman las nuevas circunstancias".

Estas oposiciones, muchas veces, son alimentadas por la falta de una aceptable teoría general de educación que oriente la investigación empírica o no de nuevas metodologías del proceso de enseñanza-aprendizaje y ayude a interpretar el por qué de los resultados que ellas vayan logrando en diversos sectores de aplicación. Así mismo facilite la adopción de nuevos cursos de acción para mejorar la cobertura, la calidad y la relevancia de la educación. Estos conceptos básicos son definidos por el Ministerio de Educación de El Salvador (5) en los siguientes términos:

- "Cobertura es la política que se propone dotar a todos los salvadoreños que lleguen a la edad escolar, de un aula, un equipo y un maestro.
- Calidad es la garantización de la correlación entre los objetivos propuestos y los logros alcanzados.
- Relevancia es aquel proceso mediante el cual el contenido de la educación, con sus virtudes y excelencias, se revierte en un medio utilizable para el progreso personal y el progreso de la comunidad".

(5) Ministerio de Educación. Memoria de Labores 1976-1977.
San Salvador, República de El Salvador, 1977.

Algunos autores como McKenzie, Eraut y Jones (6) prefieren hablar de una tecnología educativa entendida "como el modo sistemático de discernir, conducir y evaluar el proceso de enseñanza-aprendizaje de acuerdo con objetivos específicos; basados en investigaciones de comunicación y aprendizaje humanos y que emplea una combinación de recursos humanos y no humanos para hacer más efectivo el proceso".

Además, para introducir nuevos métodos de enseñanza y evitar, en cierto grado, la oposición a las innovaciones, es necesario la formación y capacitación adecuada del personal docente, de tal manera que puedan realizar eficientemente su labor y al mismo tiempo detectar ciertas actitudes para la enseñanza y así apoyarse en la solidez individual de cada uno de los maestros en vez de barajar sus debilidades.

Este enfoque producirá un apoyo en el intento de innovar la educación superior en la Universidad de El Salvador, como lo pretende el presente proyecto.

II - PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, el curriculum de todas las carreras universitarias es desarrollado en forma de un plan "horizontal" en el cual las materias, que van a representar para

(6) McKenzie N, Eraut M., Jones H. C. La Enseñanza y el Aprendizaje. Tomo II. Metodología y la Administración de Recursos. Ediciones SEPT/SETENTAS. México, D. F. 1974. pag. 80.

el estudiante la preparación en áreas específicas de su especialidad, se ofrecen siguiendo un criterio de tipo horizontal; es decir, se ofrecen en ciclos sucesivos o alternados de la carrera, de tal forma que, sólo al finalizar sus estudios podría afirmarse que el estudiante tiene la preparación necesaria en todas y cada una de dichas áreas.

Debido a esto, un alumno que abandona sus estudios sin haberlos concluido, se convierte en un bachiller que no tiene la formación y capacitación adecuada en ninguna - área específica de la profesión que estaba estudiando, lo cual lo hace optar a cualquier tipo de trabajo que se le presente, en el cual quizá ni utilice lo poco que ha aprendido en el transcurso de sus estudios.

Esta situación se puede evitar desarrollando el currículum de cada una de las carreras universitarias por medio de un plan de estudios del tipo vertical-modular. Con este plan se pretende formar paquetes de materias, de tal manera que cada uno cubra todo un área de conocimientos y ofrecerlos ya sean en un sólo período lectivo o en el menor número posible de períodos consecutivos y que el alumno, en el transcurso de su carrera, vaya obteniendo su preparación por áreas, en lugar de ver materias de todas las áreas al mismo tiempo, como sucede actualmente.

De tal manera que si un estudiante abandona su carrera, ya tiene una capacitación en un área específica, y podrá más fácilmente ingresar al mercado de trabajo y

posteriormente continuar sus estudios, si lo desea.

La característica modular del plan está representada por el hecho de que al agrupar temas o materias que en su conjunto cubran áreas determinadas del conocimiento, se forman paquetes o módulos que pueden incluir uno o varios períodos lectivos, con la característica que estos módulos tienen un significado en sí mismos pero que pueden acoplarse entre sí para formar un todo.

Para tener todo el curriculum de una carrera universitaria, como es el caso de Ingeniería Química, en forma de un plan de estudios del tipo vertical-modular, es necesario que todas y cada una de las asignaturas del curriculum de esta carrera, estén planificadas, programadas e impartidas en forma modular.

Consecuentemente, para lograr lo anterior, hay que iniciar con una sola asignatura perteneciente a la carrera de Ingeniería Química, posteriormente extenderlo progresivamente a todas y cada una de las asignaturas de dicha carrera y finalmente estructurar un plan de estudios del tipo vertical-modular.

En síntesis, el problema que nos ocupa actualmente, es planificar, programar y estructurar una de las asignaturas del curriculum de Ingeniería Química en forma modular, y ésta será Operaciones Unitarias I, la cual presenta el siguiente comportamiento en los últimos cuatro períodos en que se ha impartido:

Año / Índice	73.74 a)	74-75	75-76	77-78
Deserción	5.71%	4.44%	5.08%	8.47%
Reprobación	7.15%	26.68%	42.38%	30.52%
Aprobación	87.14%	68.88%	52.54%	61.01%

a) Ese año fue el último en que las Operaciones Unitarias I era la misma asignatura: de Mecánica de fluidos, la cual la impartía el Departamento de Ingeniería Mecánica.

Se definirán los índices mencionados de la siguiente manera:

$$\text{- índice de deserción} = \frac{\text{número de alumnos que se retiraron de la asignatura}}{\text{N° de alumnos inscritos inicialmente en la asignatura}} \times 100$$

$$\text{- índice de reprobación} = \frac{\text{N° de alumnos que reprobaron la asignatura}}{\text{N° de alumnos inscritos inicialmente en la asig.}} \times 100$$

$$\text{- índice de aprobación} = \frac{\text{N° alumnos que aprobaron la asignatura}}{\text{N° alumnos inscritos inicialmente en la asignatura}} \times 100$$

Aclarándose que el reglamento de evaluación de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura en su artículo N°5 dice: la calificación final de cualquier alumno, en cada asignatura, será el promedio ponderado de las cuantificaciones que él haya obtenido durante el ciclo lectivo.

Los alumnos cuya calificación final sea menor que 6.0 reprobarán la asignatura.

Los índices alcanzados muestran un grave problema, especialmente a lo que a reprobación se refiere, esta situación debe ser mejorada ya que la asignatura es una de las que conforman el eje central alrededor del cual se encuentra el curriculum de la Ingeniería Química.

De aquí en adelante toda nuestra atención estará dirigida a las Operaciones Unitarias I, ya que depende del resultado que se obtenga con ella, para extender el desarrollo de la metodología modular a las demás asignaturas del curriculum de la carrera mencionada. Y seguidamente estructurar un plan de estudios de la forma vertical-modular.

III - OBJETIVOS Y METAS

1. Objetivos Generales

- 1.1 Introducir la metodología modular en el curriculum de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.
- 1.2 Mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje en la carrera de ingeniería Química de la Universidad de El Salvador.
- 1.3 Aumentar la motivación del estudiante por el aprendizaje.
- 1.4 Dar a conocer a docentes y estudiantes las nuevas y modernas metodologías del proceso enseñanza-aprendizaje.

2. Objetivos Específicos

- 2.1 Aumentar el rendimiento académico, y en consecuencia disminuir la reprobación de los estudiantes en la asignatura Operaciones Unitarias I.
- 2.2 Disminuir la deserción y minimizar sus consecuencias negativas en los estudiantes de dicha asignatura.

- 2.3 Lograr una adecuada y eficiente sistematización del contenido programático de la asignatura en mención.
- 2.4 Facilitar la adecuada realización de las distintas prácticas de laboratorio y discusiones de problemas en la misma asignatura.

3. METAS

- 3.1 Lograr como mínimo un índice de aprobación del 75% en la asignatura Operaciones Unitarias I.
- 3.2 Mantener el índice de deserción en un máximo de 5%.

IV.- METODOLOGIA

1. Sujetos:

Los sujetos de este proyecto serán todos aquellos estudiantes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, inscritos en la materia Operaciones Unitarias I, durante el ciclo académico en que se determine desarrollar la metodología en la asignatura en mención.

2. Descripción de la asignatura Operaciones Unitarias I.

Tiene las siguientes características:

Código: O P U 115 (codificación interna de la Facultad)

Pre-requisitos:

a) Balance de Materia y Energía

b) Físicoquímica II

Las Operaciones Unitarias I, así como las dos asignaturas pre-requisitos, ocupan un lugar importante dentro del plan de estudios de la carrera de Ingeniería Química, como se muestra en el Anexo N° 1.

Unidades Valorativas (U.V): 5 (se entenderá

por U.V. la intensidad con que se imparte y estudia una asignatura)

Asignatura Obligatoria: Para los planes de estudio 1973 y 1978 de la carrera de Ingeniería Química.

Contenido Programático: Introducción a las operaciones unitarias, Mecánica de Fluidos; Estática, Manometría, Fenómeno de flujo de fluidos. Ecuaciones básicas del flujo de fluidos. Flujo de fluidos no compresibles en ductos y capas delgadas. Flujo a través de cuerpos sumergidos. Transporte y medición de fluidos. Agitación y mezcla de fluidos. Aplicación de mecánica de fluidos. Flujo de fluidos compresibles.

Objetivo General de la Asignatura:

Introducción al estudiante en el estudio de las operaciones unitarias, cubriéndose en este curso específico, la parte correspondiente a transporte de momento, mecánica de fluidos, así como equipo de manejo de fluidos y cálculo de sistemas de transporte de fluidos.

De aquí en adelante, llamaremos a la asignatura Operaciones Unitarias I, solamente por la asignatura.

3. Procedimiento.-

3.1. Actividades previas al inicio de las clases.

3.1.1. Aproximadamente cinco meses antes del inicio del desarrollo de la metodología modular, el profesor debe seleccionar el equipo de monitores

o auxiliares (aproximadamente uno por cada quince estudiantes) que colaborarán en el desarrollo del curso. Estas personas pueden ser estudiantes de cuarto o quinto año de Ingeniería Química, o bien pueden ser algunos de los instructores que en esa época están en dicho departamento. Estos auxiliares deben ser personas que muestren un enorme interés en el proceso de enseñanza-aprendizaje, así como en las innovaciones educativas, en este caso en el cambio de las metodologías tradicionales de enseñanza.

- 3.1.2. Después de seleccionado el equipo de auxiliares, a quienes llamaremos monitores, el catedrático y los monitores que trabajarán en la asignatura, recibirán un curso de capacitación en el sistema de instrucción personalizada y en metodología modular, así como en la elaboración y programación de módulos de instrucción. Este curso deberá ser impartido por una persona con los conocimientos y experiencia necesaria en estas áreas. Dicho curso deberá tener una duración aproximada de 20 horas.
- 3.1.3. Después de recibir la capacitación necesaria, el catedrático y los monitores deben

elaborar los nueve módulos de instrucción restantes para la asignatura; ya que en los anexos No. 2 y 3 se encuentran los dos primeros de ellos, completamente elaborados, y así completar los once módulos de que consta la asignatura.

3.1.4. Preparar el instructivo general del curso que será distribuido a cada uno de los estudiantes inscritos, el cual debe contener los siguientes puntos:

- a) una explicación de por qué se está cambiando de un sistema de enseñanza tradicional, a la enseñanza personalizada por módulos de instrucción. Además cuáles son las ventajas desde el punto de vista del estudiante.
- b) pequeño folleto explicativo de lo que es un módulo de instrucción (Anexo No.4).
- c) una descripción detallada del funcionamiento del curso bajo el nuevo sistema,
- d) una descripción detallada del sistema de evaluación del aprovechamiento de los estudiantes,
- e) la mecánica del funcionamiento diario del nuevo sistema,

- f) el calendario y programación de todas las actividades del curso, detallando cuáles son de asistencia obligatoria y cuáles no,
- g) los derechos, los deberes y las obligaciones que el estudiante tendrá durante el desarrollo del curso,
- h) las limitaciones que se tendrán, por lo cual no se cumplirá estrictamente los requisitos que debe tener el desarrollo del sistema,
- i) los puntos generales que se crean conveniente mencionar.

3.1.5. Seleccionar y reservar el salón de clases apropiado para el desarrollo de las actividades de la asignatura. Este salón debe tener el tamaño, la ventilación, la iluminación y el número de pupitres necesarios, de tal manera que, se puedan realizar en él, conferencias, mesas redondas, trabajos de grupo, estudio dirigido, control de lecturas, etc.

3.1.6. Preparar y elaborar las hojas para los expedientes individuales de los estudiantes, los cuales deben contener lo siguiente:

- a) la identificación del estudiante,
- b) las fechas en que el estudiante se examinó, las notas obtenidas, las veces que repitió cada uno de los exámenes,
- c) el espacio para la firma del monitor y del profesor cuando el estudiante efectuó un examen,
- d) espacio para las observaciones que se crean necesarias, y
- e) los problemas que enfrentó el estudiante para desarrollar cada uno de los módulos de instrucción.

3.1.7. Preparar el archivo que tendrá los expedientes individuales de los estudiantes, así como todo el material del curso, por ejemplo: exámenes extras, los manuales, los instructivos, los módulos, los calendarios del curso, etc.

3.2. Distribución por módulos, laboratorios y discusiones de problemas para la asignatura.-

La asignatura quedará distribuida de la siguiente manera:

No. DEL MODULO	NOMBRE DEL MODULO	PRE-REQUISITO APROBADO	No. Y NOMBRE DEL LABORATORIO RESPECTIVO	No. DE HORAS DE DISCUSION DE PROBLEMAS
1	Introducción e las operaciones unitarias. Análisis dimensional	Instructivo general del curso	_____	2
2	Estática de fluidos y sus aplicaciones	Módulo No.1	_____	2
3	Fenómenos del flujo de fluidos	Módulo No.2	No. 1 (Viscosidad de líquidos)	2
4	Ecuaciones básicas del flujo de fluidos: continuidad, Bernoulli y conservación de la cantidad de movimiento.	Módulo No.3 Módulo No.3	No.1 (Viscosidad de líquidos)	4
5	Flujo de fluidos no compresibles en ductos y en forma de capas delgadas	Módulo No.4	No.2 (Número de Reynolds)	4
6	Flujo de fluidos a través de cuerpos sólidos, sus aplicaciones prácticas.	Módulo No.5	No.3 (tiempo de escurrimiento de un tanque con orificio de salida).	3
7	Cálculos en el transporte de fluidos	Módulo No.6	No.4 (Flujo de fluidos en tubos circulares no rugosos).	2
8	Cálculos en la medida del flujo de fluidos	Módulo No.7	No.4 (Flujo de fluidos en tubos circulares no rugosos),	2

No. DEL MODULO	NOMBRE DEL MODULO	PRE-REQUISITO APROBADO	No. Y NOMBRE DEL LABORATORIO RESPECTIVO	No. DE HORAS DE DISCUSION DE PROBLEMAS
9	Aplicación de la mecánica de Fluidos	Módulo No.8	No.5 (Perfiles de velocidad en flujo turbulento)	2
10	Principios básicos de la agitación y mezcla de fluidos	Módulo No.9	No.5 (Perfiles de velocidad en flujo turbulento)	2
11	Generalidades acerca del flujo de fluidos compresibles.	Módulo No.10	_____	2

NOTA: Se comenzará con el desarrollo del primer laboratorio cuando el estudiante inicie el estudio del módulo No.3. Estos laboratorios se irán realizando cada uno de ellos, cuando el estudiante se encuentre en el nivel del módulo correspondiente como se indica en el cuadro anterior. Es decir que, un estudiante que avance rápidamente en el estudio de los módulos, así avanzará de rápido en el desarrollo de los laboratorios.

Es de hacer notar que la asistencia a los laboratorios y a las actividades que se desarrollen en cada uno de los módulos es obligatoria para facilitar el aprendizaje, como se detallará más adelante. En el caso de las discusiones de problemas, la asistencia es voluntaria.

3.3. Actividades durante el desarrollo de la asignatura por medio de la metodología modular.

Como se ha indicado en la introducción del presente proyecto, una de las características del sistema de instrucción por módulos consiste en que el estudiante progresa a su propio ritmo. Sin embargo, en el caso de la Universidad de El Salvador, este "propio ritmo" sufre una limitación importantísima, ya que no se permite que un estudiante continúe una determinada materia después de la fecha oficial de finalización del Ciclo lectivo (casi siempre tiene una duración de 17 semanas de clases propiamente dichas, y 3 semanas para evaluaciones)

Por lo tanto el estudiante sí puede progresar a su "propio ritmo", pero deberá terminar los once módulos de instrucción

dentro de las fechas permitidas oficialmente por las reglamentaciones de la Universidad de El Salvador.

No obstante esta limitación, el estudiante que finalice y apruebe los once módulos de la asignatura, antes de las 17 semanas oficiales, tendrá aprobada la asignatura y gozará de la ventaja de poder dedicar un mayor tiempo al estudio de las otras asignaturas que haya inscrito en ese ciclo lectivo.

Tomando en cuenta la limitación de tiempo, se presenta a continuación, la programación de la asignatura para cada una de las semanas de que consta el ciclo lectivo.

3.3.1. Primera Semana

El primer día hábil de la semana, se le asignará al monitor correspondiente a cada uno de los estudiantes. Así mismo se hará entrega del instructivo general del curso para que lo estudien en sus casas.

El segundo día se procederá a la discusión del instructivo y a la aclara-

ción de las dudas que existan. Este mismo día, después de la discusión, se realizará un pequeño examen sobre el contenido del instructivo general, en el cual el estudiante debe tener un aprovechamiento del 100% y de no alcanzar este criterio al primer intento, se repetirá el examen cuantas veces sea necesario, ya con la ayuda de su monitor, hasta lograr el criterio señalado. Después que los estudiantes han logrado el rendimiento del 100% en el examen sobre el instructivo, se les entregará el Módulo No.1 para su correspondiente estudio.

3.3.2.- Segunda Semana

El primer día hábil se efectuará una discusión de problemas, de dos horas de duración, acerca del contenido del módulo No.1, cuya asistencia será voluntaria, como se mencionó anteriormente.

El segundo día se efectuará el examen correspondiente al Módulo No.1. Los estudiantes que aprueban el examen reciben el Módulo No.2 para su correspondiente estudio individual con la

ayuda del maestro y del monitor. Quienes reprueban el examen deben repetir el estudio del Módulo No.1 y pueden examinarse cuando lo crean conveniente y se encuentren aptos para ello.

No hay que olvidar que el estudiante que desee examinarse acerca del contenido de un módulo cualquiera antes de la fecha fijada para dicho examen, puede hacerlo, a fin de adelantar en el desarrollo de la asignatura. Esto es válido a lo largo de la duración de todo el curso.

3.3.3. Tercera Semana

El primer día hábil de esta semana se efectuará una discusión de problemas de dos horas de duración, acerca del contenido del Módulo No.2.

El último día hábil se realizará el examen correspondiente al Módulo No.2, Los estudiantes que lo aprueben recibirán el Módulo No.3. para su correspondiente estudio. Quienes reprobaron el examen deben repetir el estudio del módulo y examinarse en repetición cuando

lo crean conveniente y se consideren aptos para ello.

3.3.4- Cuarta Semana

El primer día hábil se iniciará el desarrollo del Laboratorio No.1, el cual será efectuado en grupos de cinco estudiantes.

Cada día de la semana, a lo sumo, trabajarán dos grupos de laboratorio.

El último día de la semana se efectuará un seminario con participación de los estudiantes para discutir el contenido del Módulo No.3.

Desarrollo del Seminario.-

a) En la primera sesión estarán presentes todos los participantes, los cuales se dividirán, luego, en subgrupos de seminario.

El organizador (el profesor), después de las palabras iniciales, formulará, a manera de sugerencia, la agenda previa que ha preparado, la que será discutida por todo el grupo. Modificada o no, dicha agenda por acuerdo del grupo, queda convertida en agenda defini-

- tiva sobre la cual han de trabajar los distintos subgrupos.*
- b) *El grupo grande se subdivide en grupos pequeños de cinco a doce miembros, a voluntad de los mismos. Estos pequeños grupos se instalan en los locales previstos, preferentemente tranquilos y con los elementos de trabajo necesarios.*
 - c) *Cada grupo designa su director para coordinar las tareas, y un secretario que tomará nota de las conclusiones parciales y las finales.*
 - d) *La tarea específica del seminario consistirá en indagar, buscar información; consultar fuentes bibliográficas y documentales; recurrir a expertos y asesores; discutir en colaboración; analizar a fondo datos e informaciones; relacionar aportes; confrontar puntos de vista, hasta llegar a formular las conclusiones del grupo sobre el tema. Todo ello, siguiendo el plan de trabajo formulado en la agenda aprobada por el grupo general.*
 - e) *Al concluir las reuniones de seminario*

debe haberse logrado, en mayor o menor medida, el objetivo buscado. El grupo redactará las conclusiones de los estudios efectuados, las cuales serán registradas por el secretario para ser presentadas ante la totalidad del grupo.

- f) Terminada la labor de los subgrupos, todos ellos se reúnen nuevamente con la coordinación del organizador (el profesor), para dar a conocer sus conclusiones. Estas, se debaten hasta lograr un acuerdo y resumen general de las conclusiones del seminario.
- g) Finalmente, se llevará a cabo la evaluación de la tarea realizada, mediante las técnicas que el grupo estime más apropiadas, a fin de mejorar futuras actividades de seminario.

Esta actividad se recomienda que se desarrolle durante todo el día.

3.3.5 Quinta Semana

En esta semana se continuará con el desarrollo del laboratorio No.1 por parte de los grupos de estudiantes que aún no lo han efectuado.

El primer día de la presente semana se llevará a cabo una discusión de problemas, de dos horas de duración, acerca del contenido del Módulo No.3.

El tercer día de la semana se debe efectuar el examen correspondiente al contenido del Módulo No.3 y los estudiantes que lo aprueben recibirán el Módulo No.4 para su estudio. Los estudiantes que reprobren este examen deben repetir el estudio del módulo y examinarse nuevamente cuando lo crean conveniente.

3.3.6 Sexta Semana

El primer día hábil de la presente se efectuará una discusión de problemas, de dos horas de duración, sobre la ecuación de Bernoulli sin corregir por efectos de fricción. y la ecuación de continuidad.

El último día se realizará otra discusión de problemas, de dos horas de duración acerca de la ecuación de Bernoulli corregida por fricción y la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento.

3.3.7 Septima Semana

El primer día hábil de la presente se iniciará el desarrollo del laboratorio No. 2 por parte de cada uno de los grupos de estudiantes, extendiéndose durante toda la semana, ya que a lo sumo son dos grupos por día.

El tercer día de esta semana, se hará el examen correspondiente al Módulo No. 4. Los estudiantes que lo aprueben recibirán el módulo No. 5 para el subsiguiente estudio. Quienes no lo aprueben deberán repetir el estudio del módulo y examinarse cuando lo crean conveniente.

3.3.8. Octava Semana

Se continuará durante toda la semana, con el desarrollo del Laboratorio No. 2, para los grupos de estudiantes que todavía no lo han realizado.

El último día de la semana se efectuará una discusión de problemas, de dos horas de duración, relacionada con el contenido del Módulo No. 5.

3.3.9. Novena Semana

El primer día hábil de la presente se efectuará una discusión de problemas, de dos horas de duración, acerca de la continuación del contenido del Módulo No.5.

El último día hábil de esta semana se verificará el examen correspondiente al Módulo No.5. Los estudiantes que lo aprueben recibirán el Módulo No.6 para su estudio. Quienes no lo aprueben, repetirán el estudio del contenido del módulo y se examinarán, cuando lo estimen conveniente.

3.3.10. Décima Semana

El primer día hábil de la presente semana se iniciará el desarrollo del Laboratorio No.3, por parte de cada uno de los grupos de estudiantes, extendiéndose durante toda la semana.

El último día hábil de esta semana se efectuará una discusión de problemas, de dos horas de duración, acerca de los conceptos básicos incluidos en el Módulo No.6.

3.3.11. Undécima Semana

Se continuará durante toda la semana con el desarrollo del Laboratorio No.3 para los grupos de estudiantes que todavía no lo han realizado.

El segundo día hábil se realizará una discusión de problemas, de una hora de duración, acerca del contenido del Módulo No.6.

El tercer y cuarto día de la semana se desarrollará una técnica de dinámica de grupos, denominada taller, que se realizará alrededor de las aplicaciones prácticas del contenido del Módulo No.6, tales como la fluidización y el transporte neumático.

La metodología del taller será la siguiente:

- a) La fase de planeamiento estará en manos del profesor y los monitores que trabajan en la asignatura. Aquí se delimitará el problema o los problemas específicos a tratar, se seleccionarán las situaciones y se calcularán las personas participantes y se propondrá a éstas, las líneas generales en las que se basará el trabajo de taller.

- b) El taller se inicia con una sesión plenaria para conocer y/o modificar los lineamientos generales de programación propuestas por el equipo coordinador.
- c) Seleccionado el o los problemas, formulados los objetivos y aprobada la metodología general del trabajo, se realiza una subdivisión en grupos de trabajo, con un máximo de seis personas, las cuales se dedican a analizar las temáticas parciales y a entregar las soluciones pertinentes.

Los grupos de trabajo se determinarán por libre elección de los participantes.

- d) Los participantes se sentirán responsables de los resultados del taller, en la medida en que su opinión haya sido considerada durante todas las fases del evento.
- e) Dentro de los participantes del taller se elegirá un coordinador y un relator, para dirigir la discusión y presentar las conclusiones, respectivamente.

Igual procedimiento se realizará en los grupos de trabajo.

- f) Los coordinadores del taller serán los encargados de la parte administrativa del mismo.
- g) Los recursos de apoyo al taller serán el Módulo No.6; bibliografía complementaria; pizarrones, retroproyectores, papelería, etc.
- h) Al final se hará una evaluación por parte de los participantes, acerca de la actividad realizada, que sirva para mejorar futuros talleres.
- i) El taller deberá tener una duración mínima de tres horas cada día.

3.3.12. Duodécima Semana

El primer día hábil se efectuará el examen correspondiente al Módulo No.6. Los estudiantes que lo aprueben recibirán el módulo No.7 para su estudio. Quienes no lo aprueben deberán repetir el estudio del módulo y examinarse cuando lo crean conveniente.

El segundo día hábil se iniciará el desarrollo del laboratorio No.4 por parte de cada uno de los grupos de estudiantes.

El último día de esta semana se

realizará una discusión de problemas, de dos horas de duración, acerca del contenido del Módulo No.7.

3.3.13. Décima Tercera Semana.-

Durante esta semana continuará el desarrollo del Laboratorio No.4, por parte de los grupos de estudiantes que todavía no lo han efectuado.

El primer día hábil de esta semana se verificará el examen correspondiente al Módulo No.7. Los estudiantes que lo aprueben recibirán el Módulo No.8 para su estudio. Quienes no lo aprueben deberán repetir el estudio del mismo módulo y examinarse cuando lo crean conveniente.

El último día hábil se realizará una discusión de problemas, de dos horas de duración, acerca del contenido del Módulo No.8.

3.3.14. Décima Cuarta Semana

El primer día hábil se efectuará el exámen del Módulo No.8. Los estudiantes que lo aprueben recibirán el Módulo No.9 para su correspondiente estudio personal. Quienes no lo aprueben, deben repetir el estudio del contenido del módulo y examinarse cuando lo estimen conveniente.

El segundo día hábil de la semana se iniciará el desarrollo del Laboratorio No.5 por parte de cada uno de los grupos de estudiantes.

El último día de la presente semana se dedicará a una discusión, de dos horas de duración, sobre el contenido del Módulo No.9.

3.3.15. Décima Quinta Semana

Durante esta semana se continuará con el desarrollo del Laboratorio No.5 por parte de los grupos de estudiantes que todavía no lo han realizado.

El primer día hábil se efectuará el examen correspondiente al Módulo No.9. Los estudiantes que lo aprueben recibirán el Módulo No.10 para su correspondiente estudio personal. Quienes no lo aprueben, repetirán el estudio del contenido del mismo módulo y se examinarán cuando lo consideren conveniente.

3.3.16. Décima Sexta Semana

El primer día hábil se efectuará una discusión de problemas, de dos horas de duración, acerca del contenido del módulo No.10.

El último día hábil se realizará el examen correspondiente al Módulo No.10. Los estudiantes que lo aprueben recibirán el Módulo No.11 para su estudio. Quienes no lo aprueben repetirán el estudio del contenido del mismo módulo y se examinarán cuando lo crean conveniente.

3.3.17. Décima séptima Semana

El primer día hábil de la semana se desarrollará una discusión de problemas, de dos horas de duración, acerca del contenido del módulo No.11.

El último día de la semana se efectuará el examen correspondiente al Módulo No.11. Quienes lo aprueben habrán concluido y aprobado la asignatura. Los estudiantes que no aprueben el examen repetirán el estudio del contenido del módulo, pero se deberán examinar en repetición dentro de los tres días siguientes a la prueba realizada.

Después de efectuado el examen, los estudiantes recibirán un cuestionario de evaluación del curso.

3.3.18. Décima octava Semana

De Durant a esta semana el profesor y los monitores trabajarán en la obtención del promedio obtenido en la asignatura por cada uno de los estudiantes y deberán tenerlos listos el cuarto día de la semana.

- El último día hábil se publicarán las listas con las calificaciones de cada uno de los estudiantes.

3.3.19. Décimanovena Semana

- El segundo día hábil de la semana se tendrán listas las conclusiones y las

recomendaciones obtenidas a partir de la tabulación y análisis de los datos que resultaron en el cuestionario de evaluación del curso aplicado a los estudiantes.

- El tercer día hábil de la semana se da oficialmente por finalizado el curso de Operaciones Unitarias I.

3.4. Alternativas para desarrollar por primera vez la Metodología Modular

Se presentan dos alternativas para desarrollar por primera vez la metodología modular:

3.4.1. Desarrollar todas las actividades propuestas con todos los alumnos inscritos en la asignatura, en el ciclo lectivo en que se iniciará la nueva metodología.

3.4.2. Dividir los alumnos inscritos en la asignatura en este mismo ciclo lectivo, en dos grupos elegidos aleatoriamente.

Con el primer grupo, que llamaremos "A" (grupo de control) se desarrollará la asignatura con la metodología tra-

dicional de la conferencia magistral. Con el segundo grupo, que llamaremos "B" se desarrollará la asignatura con las actividades propuestas para la metodología modular.

El profesor puede o no ser el mismo para los dos grupos.

Al final del curso se obtendrá el porcentaje de promoción y deserción en cada uno de los grupos, para compararlos y se observará cuál método ofrece mejores resultados. Es decir, que en este caso se propone un diseño experimental.

3.5. La mecánica de trabajo dentro del salón de clases.

Se debe dividir el salón de clases en tres áreas distintas.

La primera es el área de exámenes, que corresponde a las primeras filas de pupitres del salón, en las cuales sólo pueden estar los estudiantes que están presentando un examen.

La segunda es el área de evaluación que puede consistir en unos cuantos pupitres colocados en la parte medio lateral

del salón, en las que se encuentran los monitores y los estudiantes cuyos exámenes se están calificando.

La tercera es el área de estudio, la cual corresponde a las últimas filas de pupitres del salón y que deben estar convenientemente separadas del área de exámenes.

Esta distribución es sólo una sugerencia, puesto que depende en gran parte de la disposición del salón.

En el salón, los monitores, además de calificar exámenes, estarán a la disposición de los estudiantes que deseen aclarar dudas, resolver problemas específicos, etc. Así mismo, el maestro estará presente durante todas las sesiones para supervisar el trabajo y solucionar problemas que no estén al alcance de los monitores. Además, deberá revisar algunos exámenes calificados por los monitores, seleccionados al azar, a fin de comprobar la adecuada evaluación de los mismos.

3.6. Sistema de Evaluación de la Asignatura

3.6.1. En general los porcentajes de evaluación de la asignatura, serán los siguientes:

- a.- La calificación final promedio de los cinco laboratorios efectuados valdrá el 20% de la nota final de la asignatura.
- b.- El promedio de calificaciones de los once módulos desarrollados valdrá el 80% de la nota final de la asignatura.

3.6.2. La evaluación de cada uno de los laboratorios, estará distribuida en los siguientes porcentajes:

- a.- El exámen de la guía correspondiente, previo al desarrollo del laboratorio tendrá un valor del 20% de la nota del laboratorio.
- b.- El desarrollo del laboratorio tendrá un valor del 20% de la nota del laboratorio.
- c.- El reporte de la ejecución del laboratorio ten-

drá un valor del 30% de la nota del mismo.

d.- El exámen de defensa del reporte, representará el 30% de la nota del laboratorio.

e.- La sumatoria de las calificaciones de cada uno de los laboratorios, dividido entre cinco dará la nota final del laboratorio.

3.6.3. La calificación mínima para aprobar un módulo, así como para aprobar la asignatura será de 6.0.

Es necesario aprobar el módulo anterior para recibir el módulo siguiente.

La calificación promedio de los exámenes de los módulos será igual a la sumatoria de las calificaciones obtenidas en los módulos desarrollados y aprobados, dividida entre once, que es el número total de módulos de la asignatura.

3.6.4. Para los exámenes de cada uno de los módulos, el profesor y los estudiantes deben elaborar una -

serie de preguntas teóricas y problemas para cada módulo. Escribir las preguntas teóricas en tarjetas (una pregunta en una tarjeta) y hacer lo mismo con los problemas. Cuando un estudiante solicita su exámen de un módulo, al azar toman del juego un número de tarjetas de preguntas teóricas y otro número de tarjetas de problemas, las cuales constituyen el exámen.

Si dos o más estudiantes toman el exámen el mismo día, éste debe ser igual para ellos. Cuando los estudiantes entregan su exámen, y éste es calificado, las tarjetas usadas deben regresar al juego de tarjetas originales, a fin de tener un Banco de preguntas.

Si se desea evitar el problema de que algunos estudiantes ya tengan algunas preguntas del exámen, pues se lo han comunicado sus compañeros que se han examinado previamente, hay que elaborar un número grande de preguntas y de

problemas en sus respectivas tarjetas, pero no devolver las tarjetas que van saliendo al juego original de ellas (sin reemplazo).

Se recomienda que la cantidad y calidad de las dificultades de las preguntas teóricas y los problemas sean más o menos iguales para todos los estudiantes de la asignatura.

3.6.5. Para la evaluación del material de la asignatura es necesario la revisión del mismo, pues se utilizará en otro ciclo lectivo. Para ello, es importante que los exámenes no les sean devueltos a los estudiantes, permaneciendo en sus respectivos expedientes. Una vez terminado el desarrollo de la asignatura, el maestro podrá evaluar diferentes aspectos del material, como son:

a.- Los módulos de instrucción o partes de ellos mal explicados. Se observará si la mayo-

ría de los estudiantes contestaron mal la pregunta o las preguntas acerca de un determinado tópico, pues esto puede indicar que el módulo o parte de él está mal explicado. Lo mismo cuando son muchos los estudiantes que reprueban un mismo módulo.

- b.- Las observaciones precedentes. pueden deberse a puntos o guías de estudio mal formuladas, por lo que es importante revisar también las preguntas y/o guías de estudio referentes a las preguntas o exámenes mal contestados.
- c.- Puede darse el caso de que únicamente algunos estudiantes contesten bien determinadas preguntas de los exámenes. Es probable que dicha situación se deba a preguntas de exámenes mal formuladas, las cuales deberán revisarse.

d.- Además de los indicadores señalados anteriormente, el maestro puede hacer uso de ciertos indicadores informales obtenidos por medio de pláticas con los estudiantes, o por medio de las reuniones con los monitores.

3.6.6. . . Para la evaluación del sistema como un todo, el maestro debe obtener información sobre la efectividad de los procedimientos seguidos en el sistema por medio de las reuniones con los monitores.

Otra fuente de información para evaluar el sistema lo constituye el grupo de estudiantes. Para esto debe elaborarse un cuestionario y aplicarlo a los estudiantes después que terminen la asignatura.

Los puntos de mayor importancia que deben incluirse en este cuestionario son los siguientes:

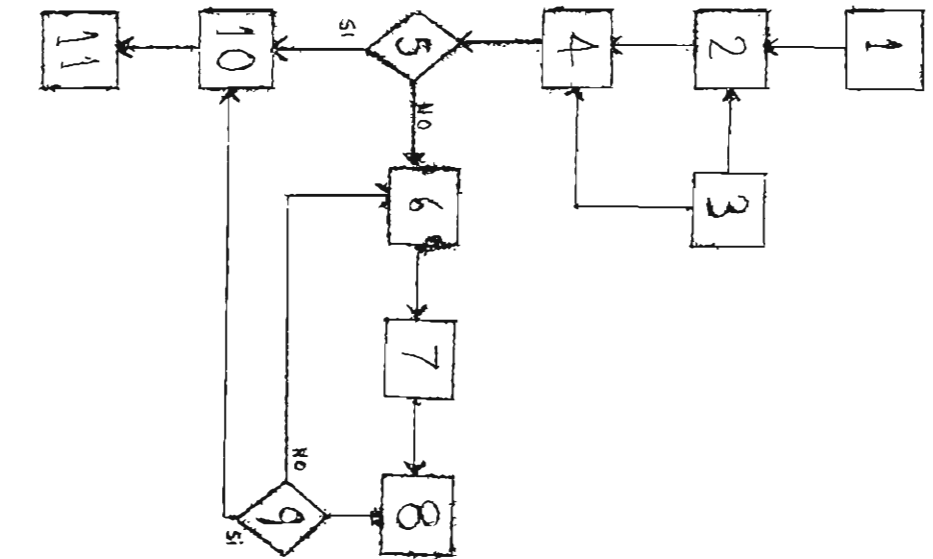
a) La cantidad de material de lectura en el desarrollo de la asignatura;

- b) La cantidad de exámenes;
- c) El número de horas necesarias para la lectura de los módulos;
- d) Una comparación con cursos desarrollados con metodologías "tradicionales".
- e) la efectividad del curso;
- f) la evaluación de los monitores y del maestro;
- g) la evaluación de las actividades desarrolladas en el aula (técnicas grupales, discusión de problemas, etc.);
- h) la evaluación de las prácticas de laboratorio;
- i) sugerencias de modificaciones
(Ver modelo de evaluación en Anexo No.5)

El resultado de esta encuesta debe ser utilizado para evitar errores existentes y mejorar el desarrollo de futuros cursos que se impartan con esta metodología.

3.7 El Diagrama del procedimiento general para desarrollar un módulo es el siguiente:

ACTIVIDADES



1. Recibe el contenido del módulo
2. Estudia el contenido del módulo
3. Si las hay, participa en actividades complementarias al estudio del módulo.
4. Fide y efectúa su exámen del contenido del módulo
5. ¿Aprobó el exámen del módulo ?
6. se le indicarán las áreas del contenido del módulo en que falló, así como recomendaciones para repetir el estudio del módulo.
7. Repite el estudio del contenido del módulo.
8. Fide y efectúa el exámen del módulo.
9. ¿Aprobó el exámen del módulo?
10. El módulo ha sido aprobado.
11. Recibe el contenido del módulo siguiente.

V - PLAN DE ACTIVIDADES Y ACONTECIMIENTOS Y LA PROGRAMACION DURANTE EL DESARROLLO DE LA METODOLOGIA MODULAR

No. - ACONTECIMIENTOS PRINCIPALES

- 1 ; Asignación de los estudiantes a cada uno de los monitores.
- 2 - Se entrega a los estudiantes el instructivo general del curso.
- 3 - Discusión en grupo acerca del contenido del instructivo general del curso.
- 4 - Examen sobre el contenido del instructivo y el estudiante lo aprueba.
- 5 - Se entrega a los estudiantes el módulo No.1.
- 6 - Discusión de problemas de dos horas de duración acerca del módulo No.1.
- 7 - Examen sobre el contenido del módulo No.1 y el estudiante lo aprueba.
- 8 - Se entrega a los estudiantes el módulo No.2.
- 9 - Discusión de problemas de dos horas de duración acerca del módulo No.2.
- 10 - Examen sobre el contenido del módulo No.2 y el estudiante lo aprueba.
- 11 - Se entrega a los estudiantes el módulo No.3.
- 12 - Se inicia el desarrollo del laboratorio No.1.
- 13 - Se inicia el seminario para discutir el contenido del módulo No.3.
- 14 - Discusión de problemas de dos horas de duración acerca del módulo No.3.
- 15 - Examen sobre el contenido del módulo No.3 y el

estudiante lo aprueba.

- 16 - Se entrega a los estudiantes el módulo No.4.
- 17 - 1a. discusión de problemas de dos horas de duración acerca del módulo No.4.
- 18 - Segunda discusión de problemas de dos horas de duración acerca del módulo No.4.
- 19 - Se inicia el desarrollo del laboratorio No.2.
- 20 - Examen sobre el contenido del módulo No.4 y el estudiante lo aprueba.
- 21 - Se entrega a los estudiantes el módulo No.5.
- 22 - Primera discusión de problemas de dos horas de duración acerca del módulo No.5.
- 23 - Segunda discusión de problemas de dos horas de duración acerca del módulo No.5.
- 24 - Examen sobre el contenido del módulo No.5 y el estudiante lo aprueba.
- 25 - Se entrega a los estudiantes el módulo No.6.
- 26 - Se inicia el desarrollo del laboratorio No.3.
- 27 - Discusión de problemas de dos horas de duración acerca del módulo No.6.
- 28 - Discusión de problemas de una hora de duración acerca del módulo No.6.
- 29 - Se inicia un taller para discutir el contenido del módulo No.6.
- 30 - Examen sobre el contenido del módulo No.6 y el estudiante lo aprueba.
- 31 - Se entrega a los estudiantes el módulo No.7.

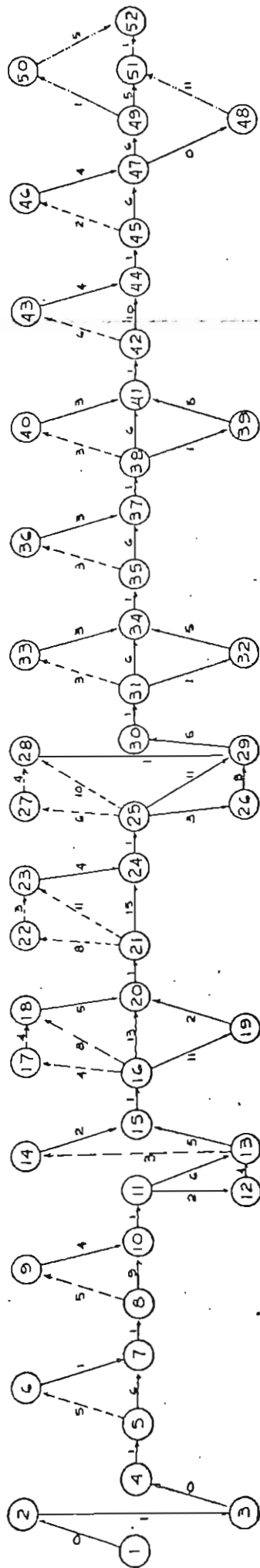
- 32 - Se inicia el desarrollo del laboratorio No.4.
- 33.- Discusión de problemas de dos horas de duración acerca del módulo No.7.
- 34 - Examen sobre el contenido del módulo No.7 y el estudiante lo aprueba.
- 35 - Se entrega a los estudiantes: el módulo No.8.
- 36 - Discusión de problemas de dos horas de duración acerca del módulo No.8.
- 37 - Examen sobre el contenido del módulo No. 8 y el estudiante lo aprueba.
- 38 - Se entrega a los estudiantes el módulo No.9.
- 39 - Se inicia el desarrollo del laboratorio No.5.
- 40 - Discusión de problemas de dos horas de duración acerca del módulo No.9.
- 41 - Examen sobre el contenido del módulo No.9 y el estudiante lo aprueba.
- 42 - Se entrega a los estudiantes el módulo No.10.
- 43 - Discusión de problemas de dos horas de duración acerca del módulo No.10.
- 44 - Examen sobre el contenido del módulo No.10 y el estudiante lo aprueba.
- 45 - Se entrega a los estudiantes el módulo No.11.
- 46 - Discusión de problemas de dos horas de duración acerca del módulo No.11.
- 47 - Examen sobre el contenido del módulo No.11 y el estudiante lo aprueba.

- 48 - Se aplica un cuestionario de evaluación del curso a todos los estudiantes del mismo.
- 49 - Se tienen listos los promedios de la asignatura para cada uno de los estudiantes.
- 50 - Se publican las listas con las calificaciones obtenidas por c/u de los estudiantes.
- 51 - Se tienen listas las conclusiones y recomendaciones obtenidas de la tabulación y análisis de los resultados del cuestionario de evaluación del curso.
- 52 - Se da oficialmente por finalizado el curso de Operaciones Unitarias I.

Es necesario aclarar que en el caso de los estudiantes que no aprueban el examen correspondiente a uno o varios módulos dados, repiten el estudio de los mismos y se examinan cuando lo crean conveniente; así como para los estudiantes que van adelantados en el estudio y aprobación de los módulos; en estos 2 casos se tiene que cumplir la secuencia de actividades que se presenta, pero no cumplirán los tiempos estipulados en la cronogramación que se presenta a continuación, ya que ésta se cumple para los estudiantes que avanzan en el desarrollo de los módulos y las demás actividades, de acuerdo a la programación presentada. La cronogramación del proyecto se presenta en el diagrama de la siguiente página; en el cual, el

tiempo para las actividades está dado en días y se incluyen en él, los fines de semana; ya que que como es instrucción personalizada. el estudiante puede aprovechar para el estudio los 7 días de la semana.

CRONOGRAMACION DE LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO



SIMBOLOGIA:

- - ACONTECIMIENTOS
- - ACTIVIDADES PARA LLEGAR A UN ACONTECIMIENTO DE ASISTENCIA
- - OBLIGATORIA PARA LOS ESTUDIANTES
- - - - ACTIVIDADES PARA LLEGAR A UN ACONTECIMIENTO DE ASISTENCIA VOLUNTARIA PARA LOS ESTUDIANTES
- - ACTIVIDADES PARA LLEGAR A ACONTECIMIENTOS OBLIGATORIOS PARA LOS DOCENTES DE LA ASIGNATURA

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

M O D U L O P A R A E L E S T U D I A N T E

O P P E R A C I O N E S U N I T A R I A S I.

No.1. NOMBRE: INTRODUCCION A LAS OPERACIONES
UNITARIAS. ANALISIS DIMENSIONAL.

San Salvador, octubre de 1978

VI - COSTOS

En general se hacen las siguientes consideraciones:

- a) Se utilizará la infraestructura y el mobiliario existente en la facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- b) El tiempo de duración del ciclo lectivo se tomará igual a 5 meses y en base a este tiempo se calculan los costos.
- c) Se calcula un promedio de 45 alumnos que cursarán la asignatura.
- d) Se estima un promedio de 50 páginas para cada uno de los módulos de instrucción.

Tomando en cuenta estas consideraciones generales se pueden calcular los siguientes costos:

Objeto específico de gasto	No.	Costo mensual ₡	Costo Total ₡
Profesor universitario	1	1500	7500
Monitores	3	1500	7500
Secretaria	1	350	1750
Impresión de módulos de instrucción para los estudiantes	500		750
Esténciles	550		250
Total			17,750

El financiamiento de estos costos será cubierto de la siguiente manera:

- a) En el caso del profesor, la secretaria y los tres monitores (instructores); serán personas que estén desempeñando esas funciones en la escuela de Ingeniería Química.

- b) En el caso del costo de estenciles y la impresión de los módulos de instrucción; será financiado por los estudiantes; ya que se venderá todo el material impreso que se les entregue.

En conclusión, la ejecución del presente proyecto no representa ningún costo adicional a los que actualmente tiene la facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- 1) AVOLIO DE COLS, S. PLANEAMIENTO DEL PROCESO, DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE. Ediciones Marymar, S. A. Buenos Aires, 1976.
- 2) ELAM, S. DOCUMENTO ED-73/CONF. 635/5 UNESCO, 1973.
- 3) LAFOURCADE, P. D. PLANEAMIENTO, CONDUCCIÓN Y EVALUACION EN LA ENSEÑANZA SUPERIOR. Editorial Kapelusz, S. A. Buenos Aires, 1974.
- 4) MCKENZIE, N, ERAUT, M Y JONES, H. C. LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE. Tomo II. Metodología y la Administración de Recursos. Ediciones Sep/Setentas. Mexico, D. F. 1974.
- 5) MIGUEL, L. EN SELECCIONES EDUCACION DEL MUNDO DE HOY. EL ENFOQUE MODULAR DE LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE. Facultad de Ciencias y Humanidades. Universidad de El Salvador. 1978.
- 6) MINISTERIO DE EDUCACION. MEMORIA DE LABORES 1976-1977 San Salvador, El Salvador, 1977.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- 1) ANTUNES, C. TECNICAS PEDAGOGICAS DE LA DINAMICA DE GRUPO. Editorial Kapelusz, S. A. Buenos Aires, 1977
- 2) DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA EDUCATIVA. SISTEMA DE INSTRUCCION PERSONALIZADA Dirección General de Educación Tecnológica Industrial, México, D. F. 1975.
- 3) DOLL, R. C. EL MEJORAMIENTO DEL CURRÍCULUM. TOMA DE DECISIONES Y PROCESO. Editorial "EL ATENEO", Buenos Aires, 1974.
- 4) GOMEZ JUNCO, H. SISTEMA DE INSTRUCCION PERSONALIZADA. UNA INNOVACION EN LA ENSEÑANZA SUPERIOR. Editorial Limusa, Mexico, 1974.
- 5) GRAYSON AND BIEDENBACH. INDIVIDUALIZED INSTRUCTION IN ENGINEERING EDUCATION. American Society for Engineering Education, Washington, 1974.
- 6) MEZA CASTRO, I, PASCUAL KELLY, E. Y PARRA MARIN, E. VALIDACION DE MATERIALES MODULARES DE ENSEÑANZA DE UN CURSO DE PLANEAMIENTO Y DESARROLLO CURRICULAR PARA EDUCADORES. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 1978

- 7) ORTEGA SANTOS, T. CUADERNOS DE EDUCACION SUPERIOR
No.1. Universidad Veracruzana, Mexico,
1975.
- 8) ROJAS, A. M. en REVISTA DE TECNOLOGIA EDUCATIVA. VOL.
2 No.4. Departamento Asuntos Educati-
vos O.E.A., 1976.
- 9) UNIDAD DE PEDAGOGIA DEL SISTEMA ABIERTO DE ENSEÑANZA EN
COMERCIO INTERNACIONAL. LA INVESTI-
GACION DOCUMENTAL. Instituto Poli-
tecnico Nacional, Mexico, D. F., 1977.

I N D I C E

	<u>SECCION</u>	<u>PAGINA</u>
I -	Introducción-----	1
II -	Objetivos-----	2
III -	Pre-prueba-----	3
IV -	Materiales de trabajo-----	4
V -	Actividades-----	4
1 -	Introducción a las operaciones unitarias -----	5
2 -	Análisis dimensional-----	8
A -	Conceptos básicos-----	8
B -	El método de Rayleigh-----	15
C -	El teorema Π de Buckingham-----	24
VI -	Ejercicios propuestos-----	33
VII -	Post-Prueba-----	35
	Solución a la Pre-prueba-----	37
	Solución a la Post-prueba-----	40
	Bibliografía-----	44
	Anexo-----	45

I - INTRODUCCION

Dentro de la nueva concepción de la ingeniería Química, se han integrado un conjunto de operaciones comunes a todas las industrias a las cuales se les conoce con el nombre de operaciones unitarias.

El estudiante debe tener una visión clara y completa del concepto y las características de estas operaciones físicas, así como de la subdivisión que tienen dentro del plan de estudios de Ingeniería Química de la Universidad de El Salvador.

Pero para completar esta visión de las operaciones unitarias es necesario que el estudiante sea capaz de resolver problemas por métodos teóricos o matemáticos, así como por medio de la técnica del análisis dimensional, la cual nos ayuda grandemente en aquellos problemas los cuales no pueden ser resueltos por los métodos matemáticos.

En este módulo se comprenderá el significado de las operaciones unitarias y la utilización del análisis dimensional en la Ingeniería Química.

II - OBJETIVOS

Que el alumno logre:

- 1 - Interpretar correctamente el concepto de las operaciones unitarias
- 2 - Distinguir correctamente las características de las operaciones unitarias
- 3 - Identificar correctamente los cuatro tipos de operaciones unitarias en que se divide el plan de estudios de Ingeniería Química de la Universidad de El Salvador.
- 4 - Identificar correctamente las características de las ecuaciones dimensionales y las adimensionales
- 5 - Diferenciar correctamente entre una ecuación dimensional y una adimensional.
- 6 - utilizar correctamente el factor de conversión de la ley de Newton.
- 7 - Aplicar correctamente el método de Rayleigh y el teorema **II** de Buckingham en la resolución de problemas de análisis dimensional.

III.- Pre-Prueba

Si no puedes contestar ninguna pregunta o problema, no te preocupes, desarrolla todo el módulo y al final sabrás las respuestas.

- 1.- Menciona dos procesos cualesquiera que se puedan considerar como operaciones unitarias.
- 2.- Cuál es la característica principal de las ecuaciones adimensionales y las dimensionales?
- 3.- Cuál es la ecuación dimensional del factor de conversión de la ley de Newton?
- 4.- Suponiendo que la potencia comunicada a una bomba es función del peso específico del fluido, del caudal y de la altura comunicada a la corriente. Encontrar una ecuación para la potencia en función de las magnitudes mencionadas utilizando el método de Rayleigh para el análisis dimensional.

Considerar las dimensiones de la potencia = Flt^{-1}

- 5.- Resolver el problema anterior por medio del teorema Π de Buckingham.

IV.- Materiales de Trabajo

1. Cuaderno de apuntes
2. Hojas de papel en blanco.
3. Lápiz
4. Tabla de símbolo, dimensiones y unidades de las Magnitudes más importantes (se encuentran al final del módulo).

V.- Actividades

Estudia todos los conceptos teóricos, así como los problemas resueltos que se presentan. Además trata de resolver correctamente todos los ejercicios que se proponen, para que así logres aplicar la teoría que se desarrolla en el módulo.

1.- Introducción a las Operaciones Unitarias.

En la actualidad, la Ingeniería Química se apoya en una estructura de conceptos admirablemente concebida, gracias a la cual ha alcanzado una sistematización muy avanzada y una claridad de ideas poco común. Esta relativa madurez es el resultado de la consolidación de conceptos nacidos hace aproximadamente setenta años.

Antes de ello, existía una Ingeniería Química, pero no como la concebimos actualmente. Hacia fines del siglo pasado, todavía se estudiaban las industrias de proceso, separadamente sin reconocer aún, los aspectos comunes que las unen. Si una persona quería trabajar en la industria de fabricación de papel y pulpa celulosa, estudiaba especialmente industria papelera, convirtiéndose en un "especialista en papel". La enseñanza era muy descriptiva, enfatizándose el "cómo del proceso". sin preocuparse mucho del "por qué". El enfoque era cualitativo, a diferencia de la tendencia moderna de abordar los problemas considerando los aspectos cuantitativos que los rigen.

De un modo similar se preparaban los especialistas en explosivos, etc. Resultaban así profesionales cuyo campo de acción quedaba reducido, casi exclusivamente, a una industria particular, siendo muy difícil que un químico especialista en jabones, por ejemplo, pudiera trabajar en una fábrica de cemento, o de productos farmacéuticos.

Afortunadamente, a principios de este siglo surgieron ideas que modificaron profundamente los conceptos entonces prevalecientes. Sin duda, el grupo más importante de los que cambiaron el rumbo de la Ingeniería Química, fue encabezado por William Walker y Arthur D. Little, del Instituto Tecnológico de Massachusetts. A ellos se deben, básicamente, las ideas modernas de nuestra profesión.

Fueron ellos, los que principalmente se percataron de que, por distintas que fueran las industrias de proceso, existían muchas operaciones comunes que las ligaban. Así en la industria del azúcar, observaron que se filtraban mieles y en la de beneficio de minerales se filtraban lodos, pero, y esto es fundamental, en ambos casos se trataba de una filtración. Independientemente de la aplicación específica que se les diera, en las filtraciones de todas las industrias, se trataba siempre de una suspensión de sólidos insolubles en un líquido, y el problema consistía en separar los sólidos del líquido. Para lograrlo en todas las industrias, se trataba siempre de una suspensión de sólidos y de dejar pasar el líquido limpio a través del filtro.

Todas las filtraciones que se realizan en las diferentes industrias se reducen, pues, al fenómeno del flujo de líquidos a través de los capilares de una torta porosa. Estudiando este fenómeno, fundamentalmente, se estaba estudiando la filtración, sin importar la industria específica en que se realizara y por ende, los resultados del estudio

eran válidos en todas las filtraciones que se realizaran en las diversas industrias de proceso.

Siguiendo esta línea de razonamiento, se encontraron muchas otras operaciones comunes a todas las industrias, o a la mayoría de ellas. Por ejemplo, una destilación que se efectúa en una refinería de petróleo para separar las diferentes fracciones de un crudo, es básicamente igual a la que se efectúa en una fábrica de alcohol para separar éste del agua.

La molienda de trigo para fabricar harina se identifica, en fundamento, con la molienda de los minerales en la industria metalúrgica. Además, no hay razón para no comparar el secado de las piezas de cerámica, antes de hornearlas con el secado de las telas, después o durante su acabado, ya que en ambos casos, se trataba de eliminar agua mediante suministro de calor y arrastre del vapor producido.

Concebidas de esta forma, las operaciones a que nos referimos pueden estudiarse haciendo caso omiso de la industria particular en que se aplique, atendiéndose solamente al mecanismo fundamental que las gobierna y por consiguiente, asumen una existencia propia, separada y concreta.

Se integró así, un conjunto de operaciones comunes a todas las industrias a las que se les dio el nombre de Operaciones Unitarias (nombre que conservan hasta la fecha); por ejemplo, molienda, tamizado, filtración, secado, absor-

ción, transporte de materiales, flujo de fluidos, flujo de calor, et c. Estas operaciones unitarias son todas de naturaleza física, es decir, las sustancias participantes no sufren, en virtud de ellas, ningún cambio en su naturaleza química.

En el curriculum de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad de El Salvador, las Operaciones Unitarias se han subdividido en cuatro tipos:

- a) Operaciones Unitarias I: que comprende el estudio de la mecánica de fluidos.
- b) Operaciones Unitarias II: que comprende el estudio de la transferencia de calor.
- c) Operaciones Unitarias III: que comprende el estudio de la transferencia de masa.
- d) Operaciones Unitarias IV: que comprende el estudio del manejo y transporte de sólidos.

Esta división se ha efectuado para facilitar al alumno, el estudio sistemático de los distintos tópicos que comprenden las Operaciones Unitarias.

2.- Análisis Dimensional.

A.- Conceptos Básicos para el Análisis Dimensional

En primera instancia, explicaremos ciertos conceptos básicos, como son:

1. Magnitudes físicas: Toda magnitud física consta de dos partes; una unidad, que expresa la magnitud de que se trata y da la norma para su medida, y un número que, indica cuantas unidades se requieren para completar la magnitud. Por ejemplo, la simple afirmación de que la distancia entre dos puntos es de 10 metros, expresa lo siguiente: que se ha medido una determinada longitud; para proceder a la medida se ha elegido como unidad una cierta longitud de referencia llamada metro; y que para cubrir la distancia de extremo a extremo se necesitan 10 unidades de 1 metro.

Ninguna magnitud física queda completamente definida mientras no se determine el número y la unidad, de la misma forma que una ecuación que contiene magnitudes físicas no es correcta mientras no lo sea numérica y dimensionalmente.

Las magnitudes físicas se dividen en dos grupos:

- a) Magnitudes primarias o fundamentales: la elección de ellas es arbitraria, tanto en lo que se refiere al número como al tipo, y se basa fundamentalmente en la conveniencia, pero siempre se elige un número pequeño de magnitudes. Ejemplo: masa, tiempo, longitud, temperatura, fuerza y calor.
- b) Magnitudes secundarias o derivadas: se incluyen todas las magnitudes restantes y pueden expresarse en función de las primarias. Ejemplo: presión, velocidad, aceleración, área, etc.

2. Dimensiones y Fórmulas dimensionales

Cada magnitud primaria puede representarse mediante una letra que simboliza la magnitud en una forma general, y recibe el nombre de dimensión de la magnitud que representa. Así L representa la idea o concepto de distancia, sin alusión a ninguna unidad específica o valor numérico. La dimensión de masa se representa por M, la tiempo por t , la de fuerza por F, la de temperatura por T, y la de calor por H.

Las dimensiones de una magnitud secundaria indican la forma en que se obtienen, a partir de magnitudes primarias. Así, una velocidad, independientemente de la unidad o del valor numérico, se obtiene dividiendo una longitud entre un tiempo, y las dimensiones de la velocidad son por consiguiente, L/t o bien Lt^{-1} . De manera análoga, las dimensiones de aceleración son L/t^2 o bien $L t^{-2}$. Las dimensiones de presión (P) son FL^{-2} .

Las dimensiones de una magnitud pueden representarse utilizando corchetes, de la siguiente manera:

$$[L] = L \qquad [P] = FL^{-2}$$

Una vez que se han elegido las magnitudes primarias, se puede obtener la fórmula dimensional para cualquier magnitud secundaria a partir de su definición, tal como se ha indicado anteriormente para velocidad, aceleración y presión. El resultado general para una magnitud secundaria cualquiera

G puede expresarse de la siguiente forma:

$$[G] = L^a M^b t^c F^d T^e H^f$$

Los exponentes $a, b, c, d, e,$ y f pueden ser enteros, positivos o negativos, fracciones positivas o negativas de números enteros, pequeños, o pueden ser cero.

3. Las Magnitudes fuerza, masa y peso.

Las unidades y dimensiones de estas tres magnitudes son especialmente importantes, desde el punto de vista técnico. El ingeniero tiene que tratar con fuerzas y presiones. La masa es la magnitud que se conserva en las reacciones químicas, y los balances de materia se expresan en función de la masa.

La ecuación (1): $F = Kn \frac{M du}{dt} = Kn ma$ relaciona

la fuerza la masa y la aceleración, habiéndose definido y utilizado diversos sistemas de unidades y dimensiones para las magnitudes de esta ecuación.

Los distintos sistemas difieren en el número y elección de las magnitudes fundamentales, así como en las unidades de referencia elegidas para la medida de dichas magnitudes. Existen dos sistemas especialmente importantes para el ingeniero químico, uno es el sistema centímetro-gramo-segundo (cgs), que es utilizado en casi todos los trabajos científicos, y en él se expresan la mayor parte de los datos básicos. El otro es el sistema pie-

libra-segundo (PLS), que se utiliza con frecuencia para expresar magnitudes de INGENIERIA.

En el sistema PLS hay dos unidades, masa y fuerza, que reciben el mismo nombre: la libra.

En el sistema cgs solamente se utilizan tres magnitudes mecánicas fundamentales: masa, longitud y tiempo. La fuerza es, en este caso, una unidad derivada que, se define tomando primeramente, como adimensional la constante K_n de la ecuación (1) y eligiendo después su valor numérico igual a uno. Hay que tener en cuenta que estas elecciones corresponden a decisiones independientes. Para completar el sistema, la masa se mide en gramos, la longitud en centímetros y el tiempo en segundos.

En el sistema inglés (PLS), la fuerza es una magnitud fundamental, juntamente con la masa, la longitud y el tiempo. Se utilizan pues, cuatro unidades mecánicas en lugar de tres, con lo cual la constante K_n se transforma en una magnitud dimensional que se representa por $1/g_c$, y cuyo valor numérico no se toma igual a uno, sino que se fija arbitrariamente para g_c el valor de 32.174. Según esto, para este sistema que podría llamarse Sistema libra-masa-pie-segundo-libra fuerza, la ecuación (1) toma la forma:

$$F = \frac{ma}{g_c} \quad (2)$$

Según esta ecuación, las dimensiones de g_c son:

$$[g_c] = \left[\frac{ma}{F} \right] = \frac{M L}{F t^2} = M L F^{-1} t^{-2}$$

Por consiguiente, la especificación completa de la constante dimensional g_c es 32.174 pie-libra masa/libra fuerza-segundo². El factor g_c recibe el nombre de factor de conversión de la ley de Newton.

Se elige el valor 32.174 debido a que es numéricamente igual al valor de la aceleración media de la gravedad al nivel del mar, en pies por segundo en cada segundo. Si g es la aceleración de la gravedad, el valor numérico de g/g_c es prácticamente igual a uno.

Con el fin de diferenciar entre las dos unidades de libra, en esta asignatura, se simbolizará la libra-masa por lb, y la libra-fuerza se representará por lbf. Así, por ejemplo, las presiones se expresan en libra-fuerza por pie cuadrado (lbf/pie²) o en libra-fuerza por pulgada cuadrada (lbf/plg²).

El término "peso" se utiliza con frecuencia como un sinónimo tanto de masa como de fuerzas gravitacionales. El término posee la misma ambigüedad que el término libra cuando no se especifica si se trata de masa o fuerza. Desde un punto de vista riguroso no debiera utilizarse el término peso sin especificar su significado.

4. Ecuaciones adimensionales o dimensionalmente homogéneas.

Son las ecuaciones cuyos términos poseen todas las mismas dimensiones.

Si una ecuación de esta clase se divide entre uno de sus términos, todos los términos de la ecuación que resulta carecen de dimensiones.

Una ecuación adimensional puede utilizarse con cualquier conjunto de unidades, con tal de que se usen siempre las mismas unidades para las magnitudes fundamentales. Las unidades que cumplen esta condición reciben el nombre de unidades consistentes o acordes. Cuando se utilizan unidades consistentes no se necesitan factores de conversión.

Por ejemplo, si tenemos una ecuación cualquiera, como:

$A = B C + D E$ (3) en la cual la magnitud A , así como los productos BC y DE tienen la dimensión M .

Si la ecuación (3), se divide por A se obtienen:

$$1 = \frac{BC}{A} + \frac{DE}{A} \quad (4)$$

con esta operación se anulan las dimensiones de cada uno de los términos de la ecuación (4), transformándose todos ellos en adimensionales. Una combinación de variables tal que permite anular de esta forma todas las dimensiones recibe el nombre de grupo adimensional. El valor numérico de un grupo adimensional, para valores dados de las magnitudes en él contenidas es independiente de las unidades utilizadas, con tal de que sean consistentes. Los términos

$\frac{BC}{A}$ y $\frac{DE}{A}$ de la ecuación (4) son grupos adimensionales.

Todas las ecuaciones que se utilizan en la asignatura son adimensionales, salvo que se indique lo contrario.

5. Ecuaciones dimensionales o dimensionalmente no homogéneas.

Son las ecuaciones que contienen términos con dimensiones diferentes.

En general, las ecuaciones deducidas por métodos empíricos, en las que se correlacionan los datos experimentales mediante ecuaciones empíricas, sin tener en cuenta la consistencia dimensional, son dimensionalmente no homogéneas. En este tipo de ecuaciones, no presenta ninguna ventaja utilizar unidades consistentes, y en ellas pueden aparecer dos o más unidades de longitud a tiempo.

Por ejemplo, si tenemos una ecuación cualquiera:

$$E = R S + D U^{0.5} \quad (5)$$

Las dimensiones de las magnitudes son las siguientes:

$$[E] = H t^{-1} ; [R] = L^2 ; [S] = H M^{-1} ; [D] = L ; [U] = T$$

Es evidente que las dimensiones de E no son las mismas que las de los otros términos de la ecuación (5), y por consiguiente la ecuación es dimensional y no se formarían nunca grupos adimensionales.

B.- El Método de Rayleigh.

Este método está basado en la premisa que si n

magnitudes $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, \dots, Q_n$ están involucradas en un determinado fenómeno físico, para el propósito del análisis dimensional sus dependencias mutuas pueden ser expresadas como una función de la siguiente forma:

$$Q_1 = f(Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, \dots, Q_n)$$

si esta ecuación cumple los requerimientos de homogeneidad dimensional, todos los términos de la función f deben tener las mismas dimensiones que la variable Q_1 , por tanto

la ecuación se ajusta a la fórmula:

$$[Q_1] = [Q_2]^a [Q_3]^b [Q_4]^c \dots [Q_n]^z$$

seguidamente se sustituyen las dimensiones correspondientes a cada una de las magnitud' Q y después se igualan los exponentes de cada una de las dimensiones que aparecen en las magnitudes $Q_2, Q_3, Q_4, \dots, Q_n$ con los exponentes de las dimensiones de Q_1

Finalmente se resuelven simultáneamente las ecuaciones planteadas.

El método se muestra en la resolución de los dos problemas siguientes:

Ejemplo No. 1. Encontrar: la ecuación dimensional de q/A en función de $D, \bar{v}, \rho, \mu, C_p, g_c, \Delta T, K$ utilizando la siguiente tabla:

<u>Símbolo</u>	<u>Magnitud</u>	<u>Dimensiones</u>
q/A	Flujo de calor por unidad de área.	$H L^{-2} t^{-1}$
D	Diámetro interno de la tubería	L
v	Velocidad media del líquido	$L t^{-1}$
ρ	Densidad del líquido	$M L^{-3}$
μ	Viscosidad gravitacional del líquido	$F L^{-2} t$
C_p	Calor específico del líquido a presión constante.	$H M^{-1} T^{-1}$
K	Conductividad calorífica del líquido	$H L^{-1} t^{-1} T^{-1}$
gc	Factor de conversión de la ley de Newton	$M L F^{-1} t^{-2}$
ΔT	Diferencia de temperatura entre la pared de la tubería y el fluido.	T

Solución al problema:

$$\frac{q}{A} = f(D, \bar{v}, \rho, \mu, gc, C_p, K, \Delta T) \quad (6)$$

En donde f significa "función de".

Si la ecuación (6) se puede deducir a partir de leyes básicas, todos los términos de la función f tienen que tener las mismas dimensiones que los del primer miembro de la ecuación q/A . Por tanto, cualquier término de la función tiene que ajustarse a la fórmula dimensional:

$$[q/A] = [D]^a [\bar{v}]^b [e]^c [\mu f]^d [gc]^e [Cp]^f [K]^g [\Delta T]^h \quad (7)$$

Sustituyendo las dimensiones de las magnitudes dadas en la Tabla anterior, obtenemos:

$$H L^{-2} t^{-1} = L^a (L t^{-1})^b (M L^{-3})^c (F L^{-2} t)^d (M L F^{-1} t^{-2})^e (H M^{-1} T^{-1})^f (H L^{-1} t^{-1} T^{-1})^g T^h \quad (8)$$

$$H L^{-2} t^{-1} = L^a L^b t^b M^c L^{-3c} F^d L^{-2d} t^d M^e L^e F^{-e} t^{-2e} H^f L^{-f} t^{-f} T^{-f} T^h \quad (9)$$

$$H^f M^{-f} T^{-f} H^g L^{-g} t^{-g} T^{-g} T^h \quad (9)$$

Puesto que se supone que la ecuación (6) es dimensionalmente homogénea, los exponentes de las unidades primarias individuales de los dos miembros de la ecuación (9) tienen que ser iguales. De acuerdo con esto, escribiremos las siguientes ecuaciones:

$$\text{Exponentes de H: } 1 = f + g \quad (10)$$

$$\text{Exponentes de L: } -2 = a + b - 3c - 2d + e - g \quad (11)$$

$$\text{Exponentes de t: } -1 = -b + d - 2e - g \quad (12)$$

$$\text{Exponentes de M: } 0 = c + e - f \quad (13)$$

$$\text{Exponentes de F: } 0 = d - e \quad (14)$$

$$\text{Exponentes de T: } 0 = -f - g + h \quad (15)$$

En estas 6 ecuaciones presentadas, se tienen ocho incógnitas, de tal manera que 6 de las incógnitas se tienen que expresar en función de las otras dos. Con este fin se pueden elegir arbitrariamente dos letras cualquiera que representen dos exponentes de la ecuación (7). Para este problema se eligen los exponentes de \bar{v} y Cp , es decir las

letras b y f , y se procede a eliminar las 6 restantes de la siguiente manera:

De la ecuación 10:

$$g = 1 - f \quad (16)$$

De las ecuaciones (15) y (16):

$$h = f + g = f + 1 - f = 1$$

$$h = 1 \quad (17)$$

De la ecuación (14)

$$d = e \quad (18)$$

De las ecuaciones (12) y (18):

$$-1 = -b + d - 2d - g$$

$$d = 1 - b - g \quad (19)$$

De las ecuaciones (16) y (19):

$$d = 1 - b - g = 1 - b - (1 - f)$$

$$d = 1 - b - 1 + f$$

$$d = f - b \quad (20)$$

De las ecuaciones (13) y (20):

$$c = f - e = f - d = f - (f - b)$$

$$c = b \quad (21)$$

De las ecuaciones (11), (16), (20) y (21):

$$a = -z + 3c + 2d - e + g$$

$$a = -z + 3b + 2f - 2b - f + b + 1 - f - b$$

$$a = b - 1 \quad (22)$$

Sustituyendo los valores de la ecuación (16) a la (22), la ecuación (7) se transforma en:

$$\frac{q}{A} = \frac{[D]}{[\Delta T]}^{b-1} [V]^b [P]^b [M]^{b-1} [g]^{b-b} [c_p]^b [K]^{1-b}$$

$$\frac{q}{A} = [D]^b [D]^{-1} [\bar{V}]^b [P]^b [\mu_f] \delta [\mu_f]^{-b} [gc]^\delta$$

$$[gc]^{-b} [C_p]^\delta [K] [K]^\delta [\Delta T]$$

Reuniendo en un grupo todos los factores que tienen de exponente el número uno, en otro los que tienen de exponente la letra b y en un tercero a los que tienen de exponente la letra δ :

$$\left[\frac{qD}{\Lambda K \Delta T} \right] = \left[\frac{D \bar{V}}{\mu_f gc} \right]^b \left[\frac{C_p \mu_f gc}{K} \right]^\delta \quad (23)$$

Las dimensiones de cada uno de los tres grupos que están entre corchetes en la ecuación (23) son cero, y por consiguiente los tres grupos son adimensionales. Cualquier función de estos grupos será dimensionalmente homogénea, y la ecuación será adimensional. Sea una de estas funciones:

$$\frac{q D}{\Lambda K \Delta T} = F_1 \left(\frac{D \bar{V}}{\mu_f gc}, \frac{C_p \mu_f gc}{K} \right) \quad (24)$$

o bien puede ser:

$$\frac{q}{A} = \frac{K \Delta T}{D} F_1 \left(\frac{D \bar{V}}{\mu_f gc}, \frac{C_p \mu_f gc}{K} \right) \quad (25)$$

Las relaciones correspondientes a la ecuación (24) y (25), es el resultado final del análisis dimensional. La forma de la función f_1 , debe encontrarse experimentalmente, determinando el efecto de los grupos que están entre corchetes sobre el valor del grupo del primer miembro de la ecuación (24).

En la ecuación (23), los dos grupos adimensionales del miembro de la derecha reciben nombres especiales como son:

$$\text{Número de Reynolds} = \frac{D \bar{v} \rho}{\mu_f} gc \quad (26)$$

$$\text{Número de Prandtl} = \frac{C_p \mu_f gc}{K} \quad (27)$$

En las ecuaciones 24, 25, 26 y 27 el factor $\mu_f \times gc$ puede ser sustituido por μ que es la viscosidad absoluta.

Ejemplo No.2

Cuando un fluido está fluyendo en una longitud pequeña dl de una tubería recta con diámetro interno D , ocurre una caída de presión $-dp$, como resultado de la fricción. Las variables involucradas con sus respectivas dimensiones son las siguientes;

<u>Símbolo</u>	<u>Magnitud</u>	<u>dimensiones</u>
$- dp$	caída de presión	F/L^2
D	Diámetro interno de la tubería	L
dl	Longitud de la tubería	L
E	Rugosidad de la tubería	L
\bar{v}	Velocidad lineal del fluido	L/t
μ	Viscosidad absoluta del fluido	M/Lt
ρ	Densidad del fluido	M/L^3
gc	Factor de conversión de la Ley de Newton	$M L/F t^2$

Expresar $- dp$ en función de las otras magnitudes?

Solución.

$$- dp = f (D, dl, E, \bar{v}, \mu, \rho, gc) \quad (28)$$

$$- dp = D^a dl^b E^c \bar{v}^d \mu^e \rho^f gc^g \quad (29)$$

Es decir:

$$F L^{-2} = L^a L^b L^c (L t^{-1})^d (M L^{-1} t^{-1})^e (M L^{-3})^f (M L F^{-1} t^{-2})^g \quad (30)$$

Si la condición de homogeneidad dimensional es aplicada, de aquí resulta el siguiente conjunto de ecuaciones;

$$\text{Exponentes de } F : 1 = -g \quad (31)$$

$$\text{Exponentes de } L : -2 = a + b + c + d - e - 3f + g \quad (32)$$

$$\text{Exponentes de } M : 0 = e + f + g \quad (33)$$

$$\text{Exponentes de } t : 0 = -d - e - 2g \quad (34)$$

En las cuatro ecuaciones hay siete incógnitas, de tal manera que cuatro incógnitas se expresarán en función de las tres restantes. Las tres letras que elegiremos son $b, c, y e$.

De la ecuación (31) tenemos que:

$$g = -1 \quad (35)$$

Sustituyendo la ecuación (35) en la (33) tenemos que:

$$e + f - 1 = 0$$

$$f = 1 - e \quad (36)$$

Ahora multiplicando la ecuación (35) por (-2) , la ecuación (33) por 3 y estos resultados sumándolos con las ecuaciones (32) y (34) nos resulta lo siguiente:

$$- 2g = 2$$

$$a + b + c + d - e - 3f + g = - 2$$

$$3e + 3f + 3g = 0$$

$$- d - e - 2g = 0$$

$$a + b + c + e = 0$$

$$a = - b - c - e \quad (37)$$

Sustituyendo las ecuaciones (35) , (36) , y (37) en la ecuación (32) tenemos:

$$- b - c - e + b + c + d - e - 3(1 - e) - 1 = - 2$$

$$d - 2e - 3 + 3e - 1 = - 2$$

$$d = 2 - e \quad (38)$$

Sustituyendo los valores de las ecuaciones (35) , (36) , (37) , y (38) en la ecuación (29) nos queda lo siguiente:

$$\begin{aligned} \left[\begin{array}{c} -d \\ p \end{array} \right] &= \left[\rho \right]^{-b-c-e} \left[d \ell \right]^b \left[E \right]^c \left[\bar{v} \right]^2 \left[\bar{v} \right]^{-e} \left[\mu \right]^e \left[\rho \right] \\ \left[\rho \right]^e \left[gc \right]^{-1} & \\ \left[\begin{array}{c} -d \\ p \end{array} \right] &= \left[\rho \right]^{-b} \left[\rho \right]^{-c} \left[\rho \right]^{-e} \left[d \ell \right]^b \left[E \right]^c \left[\bar{v} \right]^2 \left[\bar{v} \right]^{-e} \\ \left[\mu \right]^e \left[\rho \right] \left[\rho \right]^{-e} \left[gc \right]^{-1} & \end{aligned}$$

Reuniendo en un grupo a los términos que tienen números enteros de exponente; en otro a los que tienen b de exponente; en otro los que tienen c , y en otro los que tienen (- e):

$$\left[\frac{gc(-d)p}{\rho v^2} \right] = \left[\frac{d \ell^b}{\rho} \right] \left[\frac{\rho \bar{v}^e}{\mu} \right]^{-e} \left[\frac{E}{\rho} \right]^c \quad (39)$$

Los cuatro grupos entre corchetes son adimensionales. Cualquier función de estos grupos será dimensionalmente homogénea, como por ejemplo:

$$\frac{gc (-dp)}{\rho v^2} = F_1 \left(\frac{dL}{D}, \frac{\mu}{D \bar{v} \rho}, \frac{E}{D} \right) \quad (40)$$

o bien puede ser :

$$-dp = \frac{\rho v^2}{gc} F_1 \left(\frac{dL}{D}, \frac{\mu}{D \bar{v} \rho}, \frac{E}{D} \right) \quad (41)$$

En la ecuación (40) hay otros dos nuevos grupos adimensionales que reciben nombres especiales, como son:

$$\frac{gc (-dp)}{\rho v^2} = \text{Número de Euler}$$

$$\frac{E}{D} = \text{factor de rugosidad de la tubería}$$

En el caso que las cuatro incógnitas de las siete a encontrar en la ecuación (29) se hubieran expresado en función de a , b , y d la ecuación resultante sería :

$$\frac{gc (-dp)}{\mu^2} \frac{E^2 \rho}{\rho} = F_1 \left(\frac{E}{D}, \frac{dL}{D}, \frac{E \bar{v} \rho}{\mu} \right) \quad (42)$$

C.- El Teorema II de Buckingham

Este teorema expresa que en un problema físico en que intervengan n magnitudes en las que hay m dimensiones primarias o fundamentales, las n magnitudes pueden agruparse en $(n - m)$ parámetros adimensionales. Sean A_1, A_2, \dots, A_n las magnitudes que intervienen. Si se sabe que todas las magnitudes son esenciales a la solución, entre ellas debe de existir una relación funcional :

$$f(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n) = 0 \quad (43)$$

si $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \text{ etc.}$ representan los grupos adimensionales de las magnitudes $\Lambda_1, \Lambda_2, \Lambda_3, \dots, \Lambda_n$, entonces si son m las dimensiones independientes que intervienen, se puede formar una ecuación de la forma:

$$f_1 (\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_{n-m}) = 0 \quad (44)$$

La demostración de este teorema se encuentra en los escritos de Buckingham y esto no forma parte de los objetivos del módulo.

El método de determinación de los parámetros Π consiste en elegir m de las A magnitudes con diferentes dimensiones, que contengan entre ellas las m dimensiones, y usarlas como variables repetidas todas ellas junto con otra de las A magnitudes para cada Π . Por ejemplo, sean A_1, A_2, A_3 , que contienen M, L, t , no necesariamente en cada una, sino colectivamente. Entonces, el primer parámetro Π se forma así:

$$\Pi_1 = A_1^{x_1} A_2^{y_1} A_3^{z_1} A_4 \quad (45)$$

el segundo Π :

$$\Pi_2 = A_1^{x_2} A_2^{y_2} A_3^{z_2} A_5 \quad (46)$$

y así sucesivamente, hasta :

$$\Pi_{n-m} = A_1^{x_{n-m}} A_2^{y_{n-m}} A_3^{z_{n-m}} A_n \quad (47)$$

En estas ecuaciones los exponentes tienen que determinarse de tal manera que cada Π sea adimensional. Para esto, se sustituyen las dimensiones de las A magnitudes y los exponentes de M, L y t se igualan a cero respectivamente. Esto origina tres ecuaciones con tres incógni-

tas para cada parámetro Π , de tal forma que los exponentes x , y , z se pueden determinar, y por consiguiente, el parámetro Π .

Si solo intervienen dos dimensiones, entonces dos de las magnitudes A se eligen como variables que se repiten y se obtienen dos ecuaciones con dos incógnitas para cada parámetro Π .

En muchos casos las magnitudes A son tales que los grupos adimensionales son evidentes y se forman sin necesidad de cálculos. El caso más simple es aquél en que dos de las magnitudes tienen la misma dimensión, por ejemplo, longitudes, entonces, el cociente de estos dos términos es un parámetro Π .

Las etapas del procedimiento a seguir en este método es el siguiente:

- 1.- Se eligen las variables adecuadas. Esto requiere cierto conocimiento del proceso.
- 2.- Se escriben las relaciones funcionales.
3. Se eligen las variables de repetición (no hacer variable de repetición a una magnitud dependiente). Dichas variables contendrán las m dimensiones del problema.
- 4.- Se escriben los parámetros Π en función de exponentes desconocidos.
- 5.- Para cada expresión Π se escriben las ecuaciones de los componentes, de manera que la suma de los

exponentes de cada dimensión sea cero.

- 6.- Se resuelven los sistemas de ecuaciones
- 7.- Se llevan a la etapa 4 los exponentes obtenidos en la etapa 6.
- 8.- Se establece la relación funcional

$$f_1 (\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{n-m}) = 0$$

o se despeja una de las π :

$$\pi_2 = f (\pi_1, \pi_3, \dots, \pi_{n-m})$$

- 9.- Se vuelven a cambiar, si se desean, para variar las formas de los parámetros π , conservando el mismo número de parámetros.

A continuación se presentan algunos ejemplos resueltos :

Ejemplo No.3.-

El flujo volumétrico de un fluido a través de un tubo capilar horizontal se cree que depende de la caída de presión por unidad de longitud, del diámetro del tubo y de la viscosidad absoluta del fluido.

Encontrar la forma de la ecuación?

Solución:

El cuadro de las magnitudes y dimensiones es el siguiente:

<u>Símbolo</u>	<u>Magnitud</u>	<u>Dimensiones</u>
Q	flujo volumétrico (caudal)	$L^3 t^{-1}$
$\Delta P/L$	caída de presión por unidad de longitud	$M L^{-2} t^{-2}$
D	diámetro del tubo	L
μ	Viscosidad absoluta del fluido	$M L^{-1} t^{-1}$

Entonces :

$$f \left(Q, \frac{\Delta P}{L}, D, \mu \right) = 0 \quad (48)$$

Las dimensiones fundamentales que intervienen son tres M, L, t, por lo que con las cuatro magnitudes del problema sólo podrá formarse un parámetro Π , pues :

$$n = 4 ; \quad m = 3, \text{ entonces } n - m = 4 - 3 = 1$$

$$\Pi = Q^{x_1} \left(\frac{\Delta P}{L} \right)^{y_1} D^{z_1} \mu \quad (49)$$

sustituyendo las dimensiones en la ecuación anterior, tenemos :

$$\Pi = (L^3 t^{-1})^{x_1} (M L^{-2} t^2)^{y_1} (L)^{z_1} (M L^{-1} t^{-1}) \quad (50)$$

Los exponentes de cada dimensión deben ser los mismos en los dos miembros de esta ecuación.

$$\text{Para } L : \quad 3x_1 - 2y_1 + z_1 - 1 = 0 \quad (51)$$

$$\text{Para } M : \quad y_1 + 1 = 0 \quad (52)$$

$$\text{Para } t : \quad -x_1 - 2y_1 - 1 = 0 \quad (53)$$

Aquí tenemos tres ecuaciones y tres incógnitas. Encontrando los valores de estas incógnitas tenemos primeramente que a partir de la ecuación (52) se obtiene :

$$y_1 = -1 \quad (54)$$

sustituyendo la ecuación (54) en la (53) tenemos que :

$$\begin{aligned} -x_1 - 2(-1) - 1 &= 0 \\ x_1 &= 1 \end{aligned} \quad (55)$$

sustituyendo las ecuaciones (54) y (55) en la ecuación (51) tenemos lo siguiente :

$$\begin{aligned} 3(1) - 2(-1) + z_1 - 1 &= 0 \\ 3 + 2 + z_1 - 1 &= 0 \\ z_1 &= -4 \end{aligned} \quad (56)$$

sustituyendo los valores de x_1 , y_1 , z_1 en la ecuación (49) nos queda que :

$$\pi = \frac{Q \mu}{D^4 \frac{\Delta P}{L}} \quad (57)$$

Despejando Q de esta ecuación :

$$Q = C \frac{\Delta P}{L} \frac{D^4}{\mu} \quad (58)$$

El análisis dimensional no nos proporciona información sobre el valor numérico de la constante adimensional C , sino que se tiene que determinar experimental o analíticamente.

Ejemplo No.4 :

Se desea determinar un conjunto completo de grupos adimensionales con los cuales correlacionar los datos experimentales sobre el coeficiente de transferencia de calor de una película entre la pared de un tubo recto con sección transversal circular y un fluido fluyendo en ese conducto. Las variables y las constantes dimensionales involucradas, así como sus dimensiones se presentan en el cuadro siguiente:

<u>Símbolo</u>	<u>Magnitud</u>	<u>Dimensiones</u>
h	coeficiente de la película	$F L^{-1} t^{-1} T^{-1}$
D	diámetro interno del tubo	L
V	velocidad lineal del fluido	$L t^{-1}$
ρ	Densidad del fluido	$M L^{-3}$
μ	Viscosidad absoluta del fluido	$M L^{-1} t^{-1}$
K	conductividad térmica del fluido	$F t^{-1} T^{-1}$
C_p	calor específico del fluido	$F L M^{-1} T^{-1}$
gc	factor de conversión de la ley de Newton	$M L F t^{-2}$

En este problema:

$$n = 8 ; m = 5 ; n - m = 8 - 5 = 3$$

Entonces se pueden formar tres parámetros Π . Tomando como magnitudes que se repiten D, V, μ, k, gc tenemos lo siguiente:

$$\Pi_1 = D^{a1} V^{b1} \mu^{c1} K^{d1} gc^{e1} h \quad (59)$$

$$\Pi_2 = D^{a2} V^{b2} \mu^{c2} k^{d2} gc^{e2} C_p \quad (60)$$

$$\Pi_3 = D^{a3} V^{b3} \mu^{c3} K^{d3} gc^{e3} \rho \quad (61)$$

Resolviendo para el primer parámetro Π se tiene :

$$\Pi_1 = L^{a1} (L t^{-1})^{b1} (M L^{-1} t^{-1})^{c1} (F t^{-1} T^{-1})^{d1} (M L F t^{-2})^{e1} (F L^{-1} t^{-1} T^{-1})^{d1} \quad (62)$$

Considerando :

$$\text{Para } L : a_1 + b_1 - c_1 + e_1 - 1 = 0 \quad (63)$$

$$\text{Para } M : c_1 + e_1 = 0 \quad (64)$$

$$\text{Para } t : -b_1 - c_1 - d_1 - 2e_1 - 1 = 0 \quad (65)$$

$$\text{Para } F : d_1 + e_1 + 1 = 0 \quad (66)$$

$$\text{Para } T : -d_1 - 1 = 0 \quad (67)$$

Resolviendo el sistema anterior por simultáneas tenemos los siguientes resultados :

$$a_1 = 1 ; b_1 = 0 ; c_1 = 0 ; d_1 = -1 ; e_1 = 0$$

sustituyendo los valores de a_1 , b_1 , c_1 , d_1 , y e_1 en la ecuación (59) tenemos que:

$$\Pi_1 = \frac{D h}{K} \quad (68)$$

Resolviendo para el segundo parámetro, Π se tiene que :

$$\Pi_2 = L^{a_2} (L t^{-1})^{b_2} (M L^{-1} t^{-1})^{c_2} (F t^{-1} T^{-1})^{d_2} (M L F t^{-2})^{e_2} (F L M^{-1} T^{-1}) \quad (69)$$

Considerando :

$$\text{Para } L : a_2 + b_2 - c_2 + e_2 - 1 = 0 \quad (70)$$

$$\text{Para } M : c_2 + e_2 - 1 = 0 \quad (71)$$

$$\text{Para } t : -b_2 - c_2 - d_2 - 2e_2 = 0 \quad (72)$$

$$\text{Para } F : d_2 + e_2 + 1 = 0 \quad (73)$$

$$\text{Para } T : -d_2 - 1 = 0 \quad (74)$$

Resolviendo este sistema por simultáneas tenemos que :

$$a_2 = 0 ; b_2 = 0 ; c_2 = 1 ; d_2 = -1 ; e_2 = 0$$

Sustituyendo los valores de a_2 , b_2 , c_2 , d_2 , d_2 , e_2 en la ecuación (60) tenemos que :

$$\Pi_2 = \frac{c_p \mu}{K} \quad (75)$$

Resolviendo para el tercer parámetro Π se tiene que :

$$\Pi_3 = L^{a_3} (L t^{-1})^{b_3} (M L^{-1} t^{-1})^{c_3} (F t^{-1} T^{-1})^{d_3} (M L F t^{-2})^{e_3} (M L^{-3}) \quad (76)$$

Considerando :

$$\text{Para } L : a_3 + b_3 - e_3 - 3 = 0 \quad (77)$$

$$\text{Para } M : c_3 + e_3 + 1 = 0 \quad (78)$$

$$\text{Para } t : -b_3 - c_3 - d_3 - 2e_3 = 0 \quad (79)$$

$$\text{Para } F : d_3 + e_3 = 0 \quad (80)$$

$$\text{Para } T : -d_3 = 0 \quad (81)$$

Resolviendo este sistema por simultáneas tenemos que :

$$a_3 = 1 ; b_3 = 1 ; c_3 = -1 ; d_3 = 0 ; e_3 = 0$$

sustituyendo los valores de $a_3 , b_3 , c_3 , c_3 , d_3 , e_3$

en la ecuación tenemos que :

$$\Pi_3 = \frac{D V \rho}{\mu} \quad (82)$$

Hasta aquí has estudiado el aspecto teórico y algunas aplicaciones prácticas del módulo No.1.

Continúa con la lectura

VI - Ejercicios propuestos para que tú los resuelvas. -

- 1) Explica que son las magnitudes primarias y las secundarias.
- 2) Explica la diferencia que existe entre el concepto de masa y peso.
- 3) La pérdida de energía mecánica por unidad de longitud en una tubería lisa ($\Delta h / L$) en flujo turbulento depende de la velocidad V , del diámetro D , de la gravedad g , de la viscosidad absoluta μ , y de la densidad ρ . Por el análisis dimensional encontrar la forma de la ecuación si se considera que D , V , y ρ son las variables que se repiten.
- 4) Despreciando los efectos de la viscosidad y de la tensión superficial, se considera que la velocidad V de salida de un líquido de un depósito depende de la caída de presión Δp , del líquido y de su densidad ρ . Determinar la forma de la expresión de V , considerando como magnitudes fundamentales a la longitud, masa y tiempo.
- 5) El número de Mach M para el flujo de un gas ideal por una tubería depende de la relación de calores específicos K (sin dimensiones), la presión p , la densidad ρ y la velocidad V . Obtener por análisis dimensional la forma de la expresión del número de Mach.

- 6) La potencia interna de una bomba depende del caudal Q , aumento de presión ΔP , densidad del fluido ρ , tamaño D y rendimiento e . Encontrar la expresión de la potencia por medio del análisis dimensional.
- 7) Para un líquido ideal, se puede expresar el caudal Q a través de un orificio en función de la densidad del líquido ρ , el diámetro del orificio D , y la diferencia de presiones ΔP . Encontrar la forma de la ecuación utilizando el método de Reyleigh.
- 8) Suponiendo que la fuerza de arrastre ejercida sobre un cuerpo sumergido en una corriente fluida es función de la densidad ρ , la viscosidad absoluta μ y la velocidad del líquido V , y de una longitud característica del cuerpo L . Desarrollar la ecuación general aplicando el teorema de Buckingham.

VII-

POST-PRUEBA

1.- De los procesos mencionados a continuación subraya los que sean operaciones unitarias :

- a) filtración.
- b) hidrólisis
- c) saponificación
- d) destilación
- e) oxidación
- f) absorción
- g) sulfonación
- h) secado
- i) fluidización

2.- Demostrar que el número de Reynolds (NRE) es adimensional :

$$NRE = \frac{D V \rho}{\mu}$$

3.- Se tiene la siguiente ecuación adimensional :

$$A = B C^2 + D E$$

en la cual las magnitudes tienen las siguientes dimensiones :

$$A = F L t^{-1}$$

$$B = t F^{-1} L^{-1}$$

$$D = F$$

$$E = L t^{-1}$$

Encontrar las dimensiones de C?

4.- Se tiene la creencia que la velocidad de caída de una bola en el seno de un líquido depende del diámetro de la bola, de la densidad de bola, de la densidad y la viscosidad del líquido, y de la aceleración de la gravedad.

Encontrar una ecuación de la velocidad utilizando el método de Rayleigh para el análisis dimensional?

5.- Se sabe que una magnitud R depende de las magnitudes W , N , S . Por medio del teorema de Buckingham encontrar una ecuación de R en función de las otras tres magnitudes, utilizando el siguiente cuadro:

<u>Magnitud</u>	<u>Dimensiones</u>
R	$F L^{-2}$
W	T
N	$F L T^{-1}$
S	L^3

Solución a la Pre-Pueba.-

- 1) Molienda, tamizado, filtración, absorción, secado, destilación, etc.
- 2) Si las ecuaciones adimensionales se dividen entre uno de sus términos, todos los términos de la ecuación que resulta no poseen dimensiones.
Si las ecuaciones dimensionales se dividen entre uno de sus términos, los términos de la ecuación que resulta sí poseen dimensiones.

$$3) g_c = \frac{M L}{F t^2} = M L F t^{-2}$$

<u>Símbolo</u>	<u>Magnitud</u>	<u>Dimensiones</u>
P	Potencia comunicada a una bomba	$F L t^{-1}$
γ	peso específico del fluido	$F L^{-3}$
Q	caudal	$L^3 t^{-1}$
h	altura	L

$$P = f(\gamma, Q, h)$$

$$[P] = [\gamma]^a [Q]^b [h]^c$$

$$F L t^{-1} = (F L^{-3})^a (L^3 t^{-1})^b (L)^c$$

$$F L t^{-1} = F^a L^{-3a} L^{3b} t^{-b} L^c$$

considerando que la ecuación es dimensionalmente homogénea, se pueden escribir las siguientes ecuaciones:

Para F ; $1 = a$

Para L : $1 = -3a + 3b + c$

Para t : $-1 = -b$

Resolviendo simultáneamente las tres ecuaciones tenemos que :

$$a = 1, b = 1 \text{ y } c = 1$$

$$[P] = [\gamma] [Q] [h] \quad K = \text{constante adimensional}$$

$$P = K \gamma Q h$$

5) $f(P, \gamma, Q, h) = 0$, tenemos cuatro magnitudes físicas y de ellas tres fundamentales = 1 grupo Π

$$\Pi_1 = Q^{x_1} \gamma^{y_1} h^{z_1} P$$

$$\Pi_1 = (L^3 t^{-1})^{x_1} (F L^{-3})^{y_1} (L)^{z_1} (F L t^{-1})$$

$$\Pi_1 = L^{3x_1} t^{-x_1} \gamma^{y_1} L^{-3y_1} L^{z_1} F L t^{-1}$$

Los exponentes de cada dimensión deben ser los mismos en los dos miembros de la ecuación anterior :

$$\text{Para F : } y_1 + 1 = 0$$

$$\text{Para L : } 3x_1 - 3y_1 + z_1 + 1 = 0$$

$$\text{Para t : } -x_1 - 1 = 0$$

Resolviendo simultáneamente las tres ecuaciones anteriores, tenemos los siguientes valores para las tres incógnitas :

$$x_1 = -1, y_1 = -1, z_1 = -1$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación original del grupo Π_1 tenemos :

$$\Pi_1 = Q^{-1} Y^{-1} h^{-1} P = \frac{P}{\delta Q h}$$

Despejando P :

$$P = C \delta Q h$$

En esta ecuación C = constante . adimensional.

Solución a la Post - Prueba.-

Estimado estudiante : Coteja los ejercicios de la post - prueba con la solución que se presenta a continuación. Si fallas en alguno , repite el estudio de las partes del módulo en que has fallado.

- 1) a) filtración d) destilación f) absorción
h) secado i) fluidización.

$$2) N R E = \frac{D V \rho}{\mu}$$

sustituyendo las dimensiones para cada una de las cuatro magnitudes que forman el número de Reynolds tenemos :

$$N R E = \frac{(L) (L t^{-1}) (M L^{-3})}{(M L^{-1} t^{-1})} = \frac{M L^{-1} t^{-1}}{M L^{-1} t^{-1}} = 1$$

se demuestra que el número de Reynolds es adimensional .

$$3) A = B C^2 + D E \quad ; \quad [A] = F L t^{-1}$$

$$C^2 = \frac{A - D E}{B} \quad [B] = F^{-1} L^{-1} t$$

$$[D] = F$$

$$[E] = L t^{-1}$$

Sustituyendo las dimensiones para cada una de las magnitudes resulta :

$$C^2 = \frac{(F L t^{-1}) - (F) (L t^{-1})}{F^{-1} L^{-1} t} = \frac{F L t^{-1}}{F^{-1} L^{-1} t}$$

$$C^2 = F^2 L^2 t^{-2}$$

$$C = \sqrt{F^2 L^2 t^{-2}}$$

$$C = F L t^{-1} = \frac{F L}{t}$$

4)	<u>Símbolo</u>	<u>Magnitud</u>	<u>Dimensiones</u>
	D	Diámetro de la bola	L
	ρ_b	densidad de la bola	M L ⁻³
	ρ_L	densidad del líquido	M L ⁻³
	μ_b	viscosidad gravitacional del líquido	F L ⁻² t
	g	aceleración de la gravedad	L t ⁻²
	g _c	factor de conversión de la ley de Newton	M L F ⁻¹ t ⁻²
	v	velocidad de caída de la bola	L t ⁻¹

$$v = f(D, \rho_b, \rho_L, \mu_b, g, g_c)$$

$$[v] = [D]^a [\rho_b]^b [\rho_L]^c [\mu_b]^d [g]^e [g_c]^f$$

Sustituyendo las dimensiones para cada una de las magnitudes involucradas, se tiene que:

$$L t^{-1} = (L)^a (M L^{-3})^b (M L^{-3})^c (F L^{-2} t)^d (L t^{-2})^e (M L F^{-1} t^{-2})^f$$

$$L t^{-1} = L^a M^b L^{-3b} M^c L^{-3c} M^d L^{-d} t^{-d} L^e t^{-2e}$$

$$M^b L^b F^{-b} t^{-2b}$$

considerando que la ecuación es dimensionalmente

homogénea, se pueden escribir las siguientes expresiones :

$$\text{Para } L : 1 = a - 3b - 3c - 2d + e + f$$

$$\text{Para } t : -1 = -d - 2e - 2f$$

$$\text{Para } M : 0 = b + c + f$$

$$\text{Para } F : 0 = d - f$$

En las expresiones anteriores tenemos 4 ecuaciones planteadas con seis incógnitas, por lo tanto se expresarán cuatro incógnitas en función de las otras dos. En esta solución expresaremos las incógnitas en función de b y f .

Resolviendo las ecuaciones se tiene que :

$$d = f$$

$$c = -b - f$$

$$e = \frac{1 - f}{2}$$

$$a = \frac{1}{2} - \frac{3f}{2} = \frac{1 - 3f}{2}$$

sustituyendo en la ecuación adimensional original :

$$[v] = [D] \frac{1-3f}{2} [\rho_b]^b [\rho_L]^{-b-f} [\mu_b]^f [g] \frac{1-f}{2} [g_c]^f$$

$$[v] = [D g]^{1/2} \left[\frac{\rho_b}{\rho_L} \right]^b \left[\frac{\mu_b g_c}{\rho_L (D^3 g)^{1/2}} \right]^f$$

$$v = \sqrt{Dg} f_1 \left(\frac{\rho_b}{\rho_L}, \frac{\mu_b g_c}{\rho_L \sqrt{D^3 g}} \right)$$

5) En este problema son cuatro magnitudes y tres dimensiones fundamentales, entonces sólo se obtiene un parámetro Π :

$$\Pi_1 = R^{x_1} S^{y_1} W^{z_1} N$$

$$\Pi_1 = (F L^{-2})^{x_1} (L^3)^{y_1} (T)^{z_1} (F L T^{-1})$$

$$\text{Para } L; -2x_1 + 3y_1 + 1 = 0$$

$$\text{Para } F; x_1 + 1 = 0$$

$$\text{Para } T; z_1 - 1 = 0$$

Tenemos tres ecuaciones y tres incógnitas, entonces resolviendo simultáneamente tenemos que:

$$x_1 = -1$$

$$y_1 = -1$$

$$z_1 = 1$$

Sustituyendo los valores en el grupo Π se tiene que:

$$\Pi_1 = R^{-1} S^{-1} W^1 N$$

$$\Pi_1 = \frac{W N}{R S}$$

$$R = \frac{W N}{C S}$$

$C = \text{constante adimensional}$

Bibliografía

- 1) GILES, RANALD V. MECANICA DE LOS FLUIDOS E HIDRAU-
LICA.
Mc Graw - Hill de México, S. A.
de C. V., MEXICO, D. F.
Segunda Edición, 1969

- 2) Mc CABE, WARREN L. and SMITH, JULIAN C. UNIT OPERATIONS
OF CHEMICAL ENGINEERING
Mc Graw - Hill Book Company, New
York, Second Edition, 1967.

- 3) PAO, RICHARD H. F. FLUID MECHANICS
John Wiley and Sons, Inc.
New York, 1965

- 4) STREETER, VICTOR L. MECANICA DE LOS FLUIDOS
Mc Graw - Hill de México, S.A.
de C. V., México, D. F. Cuarta
edición, 1971.

ANEXO No. 1

Tabla de Símbolos, dimensiones y Unidades de magnitudes
Importante

a) Magnitudes Primarias

SÍMBOLO	NOMBRE	UNIDAD TÍPICA	DIMENSION
L	Longitud	pie	L
M	masa	libra	M
t	tiempo	segundo u hora	t
F	fuerza	libra-fuerza	F
T	temperatura	°F o °R	T
Q	calor	Btu	H

B) Magnitudes Secundarias

SÍMBOLO	NOMBRE	UNIDAD TÍPICA	DIMENSIONES					
			L	M	t	F	T	H
A	área	pie ²	2					
a	aceleración	pie/seg ²	1		-2			
c _p	calor específico a presión constante	Btu/libra °F		-1			-1	1
D	diámetro	pie	1					
E	Energía mecánica	pie - libra fuerza	1			1		
G	Velocidad masica	libra/pie ² - hora	-2	1	-1			
H	entalpia	Btu/libra		-1				1
J	equivalente mecánico del calor	pie - libra fuerza						
P	Potencia	Btu pie-libra fuerza/seg	1			1		-1
p	presión	libra fuerza/pie ²	1		-1	1		
Q	Flujo volumetrico	pie ³ /hr	-2			1		
γ	peso específico	libra fuerza/pie ³	3		-1			
μ	viscosidad absoluta	libra/pie-seg.	-3			1		
μ _g	viscosidad gravitacional	libra fuerza-seg/pie ²	-1	1	-1			
ρ	densidad	libra/pie ³	-2			1	1	
ω	velocidad angular	radianes/seg	-3	1				-1

Anexo No.3

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

MODULO PARA EL ESTUDIANTE
OPERACIONES UNITARIAS I

No.2. NOMBRE: ESTATICA DE FLUIDOS
Y SUS APLICACIONES

San Salvador, Octubre de 1978

I N D I C E

	<u>Página</u>
I -	Introducción..... 1
II -	Objetivos..... 2
III -	Pre-prueba..... 3
IV -	Materiales de trabajo..... 5
V -	Actividades..... 5
1 -	Concepto de presión 5
2 -	Equilibrio hidrostático..... 10
3 -	Aplicaciones de la estática de fluidos... 13
VI	Ejercicios propuestos..... 34
VII	Post-prueba..... 36
	Solución a la pre-prueba..... 39
	Solución a la post-prueba..... 41
	Bibliografía..... 44

II - OBJETIVOS

Que el alumno logre:

- 1 - Diferenciar correctamente entre un fluido compresible y un no-compresible.
- 2 - Interpretar correctamente el concepto de presión.
- 3 - Demostrar correctamente que la presión en un punto es independiente de la dirección
- 4 - Aplicar correctamente los principios del equilibrio hidrostático tanto a fluidos compresibles como a no-compresibles.
- 5 - Aplicar correctamente los principios del equilibrio hidrostático, tanto al caso de los decantadores centrífugos como a los gravitatorios.
- 6 - Aplicar correctamente los principios del equilibrio hidrostático, a los manómetros.

I - INTRODUCCION

La rama de la ingeniería que trata del comportamiento de los fluidos se llama mecánica de fluidos, la cual tiene dos ramas importantes en el estudio de las operaciones básicas como son: la estática de fluidos, que estudia los fluidos en estado de equilibrio en ausencia de esfuerzos cortantes; y la dinámica de fluidos, que estudia los fluidos cuando porciones de los mismos están en movimiento con respecto a otras partes del sistema. A su vez la estática de fluidos comprende dos partes: el estudio de la presión y de sus variaciones a través del fluido, y el estudio de las fuerzas debidas a la presión sobre superficies finitas.

El presente módulo trata de la estática de fluidos y algunas de sus aplicaciones más importantes como son: aplicación a gases ideales y reales, manometría y la separación de fluidos por acción de la fuerza de gravedad como por la fuerza centrífuga en el caso de los decantadores.

III - PRE-PRUEBA

Si no puedes contestar ninguna pregunta no te preocupes, desarrolla todo el módulo y al final sabrás las respuestas.

- 1 - Explica que entiendes por flúidos compresibles y no compresibles.
- 2 - Encontrar la expresión para la diferencia de presiones $\frac{(P_b)}{(P_a)}$ entre dos puntos a y b (a diferentes alturas) en un gas que sigue la siguiente expresión:

$$PV = \frac{KNRT}{H} ; \text{ en la cual:}$$

P = presión del gas

V = volumen del gas

N = Número de moles

R = constante de los gases ideales

T = temperatura absoluta

K, H = constantes

NOTA: Asumir que la temperatura es constante.

- 3 - En una centrífuga tubular que gira a 12,000 r.p.m se separa un líquido A que tiene una densidad de 80 lbs/pie³ de un líquido B con una densidad de 65 lbs/pie³. El conducto de salida del líquido pesado se encuentra a una distancia de 1.5 pulgadas del eje de rotación y la interfase líquido - líquido se encuentra

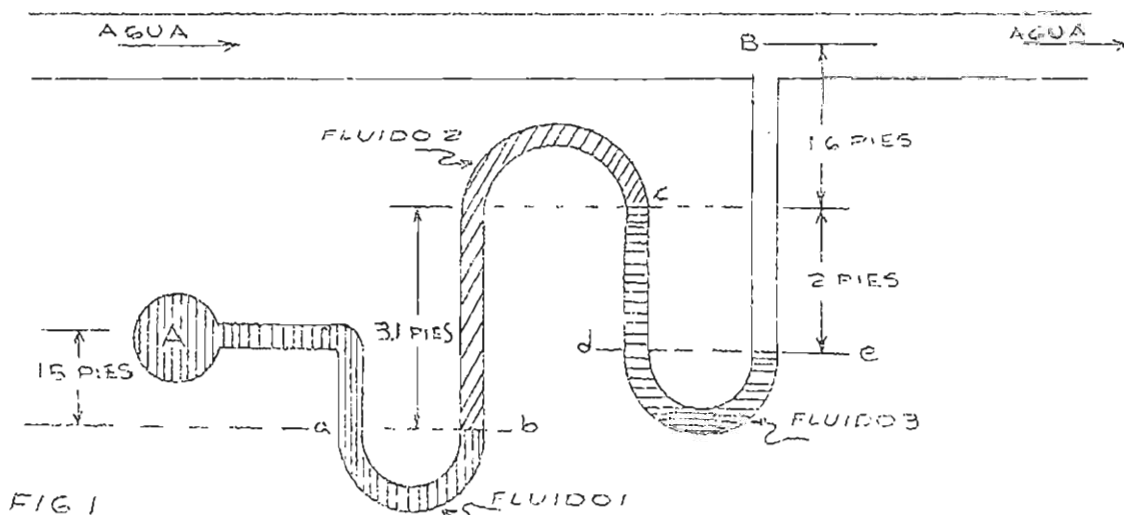
a 2.1 pulgadas del eje.

Encontrar la distancia de la superficie libre del líquido al eje de rotación?

- 4 - En un decantador gravitatorio continuo que está separando un líquido B con densidad igual a 55 libras/pie³, de un líquido A que tiene una densidad de 70 libras/pie³. La altura del rebosadero del líquido A, medida desde la base del tanque es de 6 pies y la del rebosadero del líquido B es de 6.8 pies.

Encontrar la altura, medida desde la base del tanque, de la interfase entre los dos líquidos?

- 5 - En una tubería horizontal recta por la circula agua, se encuentra colocado un manómetro tal como se indica en la figura. La gravedad específica del fluido 1 es igual a 20, del fluido 2 es 0.80, del fluido 3 es 1.40 y la del agua es 1.0. Encontrar la presión en B que se muestra en la figura, si la presión en A es igual a 10 libras-fuerza/pulg²?



IV - MATERIALES DE TRABAJO

- Papel y lápiz
- 1 calculadora electrónica
- 1 cono
- 1 hilo

V - Actividades

Estudia todos los conceptos teóricos así como los problemas resueltos que se presentan. Además trata de resolver todos los problemas que se te proponen como ejercicios, y así logres aplicar la teoría que se desarrolla en el módulo.

- 1 - Concepto de Presión. La propiedad fundamental de un fluido estático es la presión, como tú sabes, la presión es la fuerza superficial que ejerce un fluido (líquidos, gases, y vapores) sobre las paredes del recipiente que lo contiene. Pero en cualquier punto del interior de un fluido, también existe una determinada presión. Para aclarar el concepto de presión hay que demostrar si en un fluido estático, la presión es dependiente o no de la orientación de cualquier superficie interna sobre la que actúa.

Para esto, construye con el cono, un tetraedro, pero sin cubrirle la cara horizontal COB, que se indica en la figura 2. considera un punto O situado en la masa de fluido estático (aire) contenido en el tetraedro. Seguidamente con 3 hilos

construye un sistema cartesiano de ejes coordenados con origen en O . Los ejes X e Y estarán en el plano horizontal COB y el eje Z estará dirigido verticalmente hacia arriba. El plano ABC cortará a los ejes X , Y y Z a distancias del origen ΔX , ΔY y ΔZ respectivamente. Los planos ABC , AOC , AOB y COB (el cual está descubierta para que puedas observar) forman el tetraedro. Sea θ el ángulo formado por los planos ABC y COB . Este ángulo tendrá un valor cualquiera menor de 90 grados. Imaginar que el tetraedro está aislado como un "cuerpo libre" y suponer que todas las fuerzas que actúan sobre él, siguen la dirección del eje Z , tanto si procede del exterior del fluido, como del fluido mismo que le rodea.

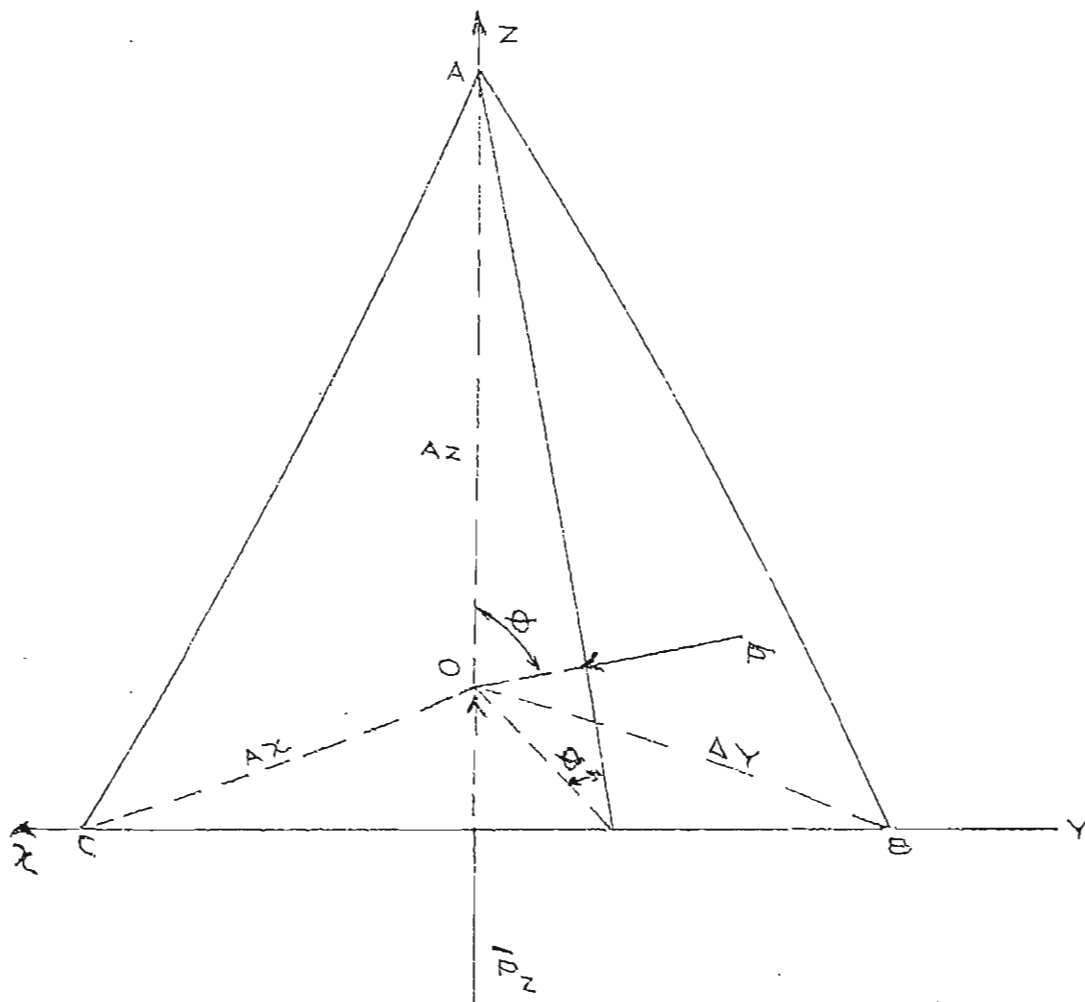


Fig. 2. Fuerzas que actúan sobre un elemento estático de fluido.

Sobre el elemento actúan 3 fuerzas.

- a - La fuerza de gravedad que actúa hacia abajo.
- b - La fuerza de presión sobre el plano COB que actúa hacia arriba, y
- c - La componente vertical de la fuerza de presión sobre el plano ABC dirigida hacia abajo.

Como el fluido está en equilibrio, la resultante de las 3 fuerzas anteriores es igual a cero. Por otra lado, como un fluido en equilibrio no puede soportar esfuerzos cortantes, todas las fuerzas de presión son normales (perpendiculares) a la superficie sobre la que actúan. El área de la cara COB por ser un triángulo, será igual a base por altura dividido entre dos.

Sustituyendo los datos de la figura.

$$\text{area COB} = \frac{\Delta X \Delta Y}{2}$$

Sea la presión media sobre la cara COB = \bar{P}_z

$$\text{como presión} = \frac{\text{fuerza}}{\text{área}} \Rightarrow \text{fuerza} = \text{presión} \times \text{área}$$

$$\text{Por tanto, la fuerza dirigida hacia arriba que actúa sobre la cara COB} = \frac{\bar{P}_z \Delta X \Delta Y}{2}$$

Sea \bar{P} la presión media que actúa sobre la cara ABC.

Obteniendo una vista frontal del ángulo formado por las caras ABC y COB tenemos:

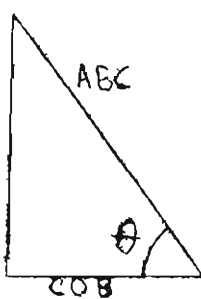


Fig. 3

$$\cos \theta = \frac{\text{lado adyacente}}{\text{hipotenusa}} = \frac{\text{área COB}}{\text{área ABC}}$$

$$\text{área ABC} = \frac{\text{área COB}}{\cos \theta} = \frac{\Delta X \Delta Y}{2 \cos \theta}$$

Por tanto, la fuerza total sobre la cara ABC es igual

$$\text{a } \frac{\bar{P} \Delta X \Delta Y}{2 \cos \theta}$$

El ángulo comprendido entre el eje z y el vector fuerza debido a la presión \bar{P} es también θ , de tal forma que la componente vertical de esta fuerza hacia abajo es:

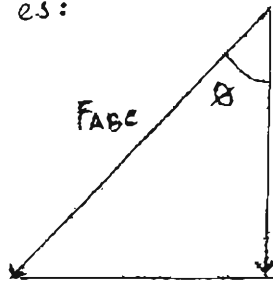


FIG. 4

$$\cos \theta = \frac{F_{ABC}z}{F_{ABC}}$$

$$F_{ABC}z = F_{ABC} \cdot \cos \theta$$

$$F_{ABC}z = \frac{\bar{P} \Delta X \Delta Y}{2 \cos \theta} \cdot \cos \theta = \frac{\bar{P} \Delta X \Delta Y}{2}$$

$$\text{El volumen del tetraedro} = \frac{\Delta X \Delta Y \Delta z}{6}$$

si la densidad del fluido es ρ , encontraremos la fuerza de gravedad que actúa sobre el fluido comprendido en el tetraedro, así:

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen (V)}} \implies \text{masa} = \rho \times \text{volumen (V)}$$

$$F_g = \frac{mg}{gc} = \frac{\rho Vg}{gc} = \frac{\rho (\Delta X \Delta Y \Delta z) g}{6gc}$$

La fuerza de gravedad actúa hacia abajo.

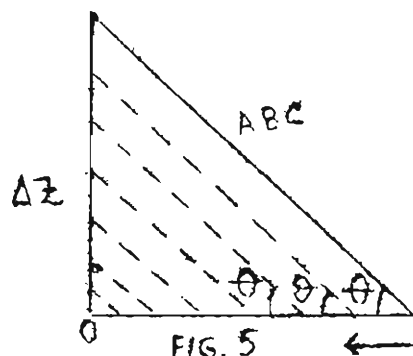
Haciendo un balance de fuerzas en la dirección z y considerando como positivos las fuerzas que actúan hacia arriba y como negativos las que actúan hacia abajo, tenemos lo siguiente:

$$\frac{\bar{P}_z \Delta X \Delta Y}{2} - \frac{\bar{P} \Delta X \Delta Y}{2} - \frac{\rho \Delta X \Delta Y \Delta z g}{6gc} = 0 \quad (1)$$

Dividiendo por $\Delta X \Delta Y$, nos resulta:

$$\frac{\bar{P}_z}{2} - \frac{\bar{P}}{2} - \frac{\rho \Delta z g}{6gc} = 0 \quad (2)$$

si se desplaza el plano ABC hacia el origen O, manteniendo constante el ángulo θ , tal como se muestra en la siguiente figura:



a medida que la distancia entre el plano ABC y O tiende a cero, Δz tiende también a cero y el término de gravedad desaparece, pues el tetraedro se hace extremadamente pequeño (un punto). Por otro lado, las presiones medias \bar{P} y \bar{P}_z , tienden hacia P y P_z que son las presiones locales en el punto O, y de acuerdo con la ecuación (2), P_z se hace igual a P . Si se deducen los balances de fuerzas en los ejes X e Y, cada uno nos dará una ecuación similar a la ecuación (2) sin término de gravedad, y en el límite:

$$P_x = P_y = P_z = P \quad (3)$$

Puesto que el punto O y el ángulo θ fueron elegidos al azar la presión en cualquier punto es independiente de la dirección.

- 2 - Equilibrio hidrostático. En una masa estacionaria formada por un fluido estático, la presión será constante en cualquier sección transversal horizontal pero varía con la altura. Consideramos una columna

vertical de fluido como se representa en la figura siguiente:

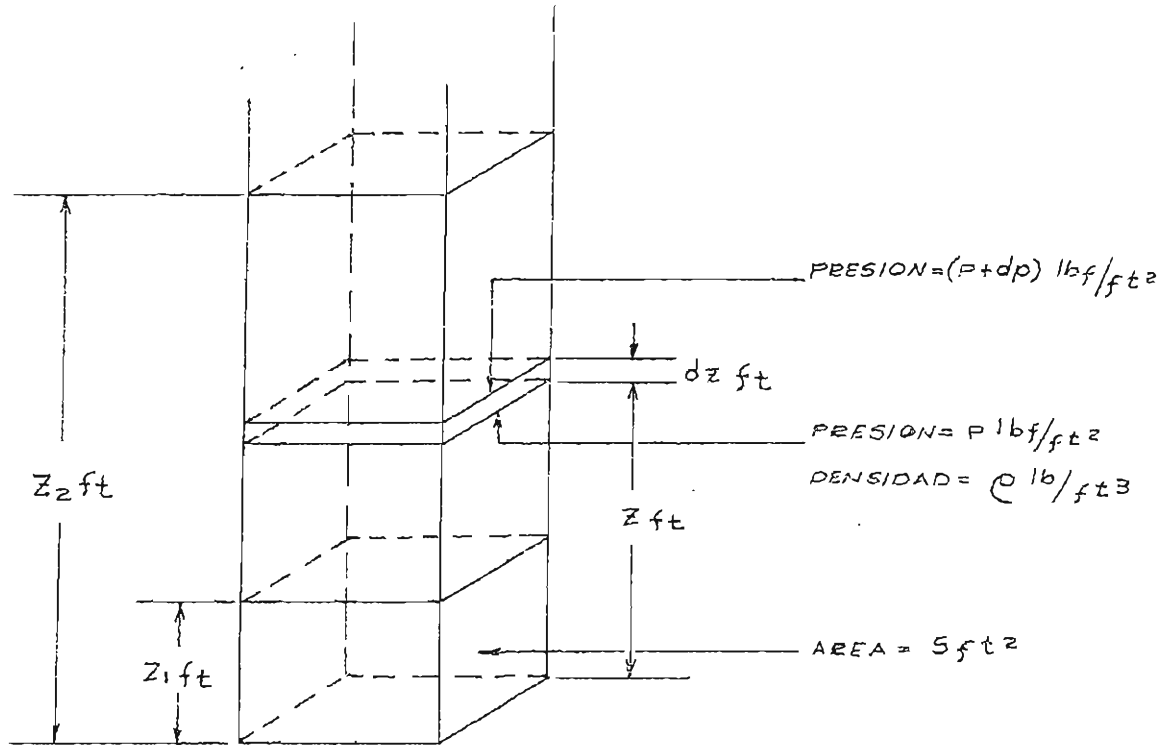


FIG 6

De acuerdo con el análisis anterior la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre el pequeño volumen de fluido de altura dz y área de la sección transversal S ha de ser igual a cero. Sobre este pequeño volumen actúan 3 fuerzas verticales como son:

- a - La fuerza (F_1) debida a la presión P que actúa hacia arriba, y vale PS
- b - La fuerza (F_2) debida a la presión $(P+dp)$ que actúa hacia abajo y que vale $(P+dp)S$

c - La fuerza (F_3) de gravedad dirigida hacia abajo, y que vale $(g/g_c) \rho S dz$.

Por tanto Si consideramos las fuerzas que actúan hacia abajo como negativos, tenemos la siguiente ecuación:

$$F_1 - F_2 - F_3 = 0 \quad (4)$$

si sustituimos por su equivalente:

$$PS - (P + dp) S - \frac{g}{g_c} \rho S dz = 0 \quad (5)$$

Desarrollando la ecuación:

$$PS - PS - dp S - \frac{g}{g_c} \rho S dz = 0 \quad (6)$$

Dividiendo por S y multiplicando la ecuación por (-1) nos resulta:

$$dp + \frac{g}{g_c} \rho dz = 0 \quad (7)$$

La ecuación (7) no puede integrarse para fluidos compresibles, a menos que se conozca la variación de la densidad con la presión a lo largo de la columna de fluido. Sin embargo, en los cálculos prácticos de ingeniería se puede considerar que la densidad es casi constante, excepto para grandes variaciones de altura en los fluidos compresibles.

Integrando la ecuación (7) y suponiendo que ρ es constante obtenemos:

$$\frac{P}{\rho} + \frac{g}{g_c} Z = \text{constante} \quad (8)$$

Si integramos la ecuación (7) entre 2 alturas defi-

cidas Z_1 y Z_2 :

$$\int_{P_1}^{P_2} \frac{P}{\rho} = - \int_{Z_1}^{Z_2} \frac{g}{g_c} Z \quad (9)$$

$$\frac{P_2}{\rho} - \frac{P_1}{\rho} = - \frac{g}{g_c} (Z_2 - Z_1) \quad (10)$$

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho} = \frac{g}{g_c} (Z_1 - Z_2) \quad (11)$$

La ecuación (8) expresa matemáticamente la condición de equilibrio hidrostático.

3 - Aplicaciones de la estática de fluidos.-

3.1. Ecuación barométrica. La ecuación de los gases ideales es la siguiente:

$$PV = NRT \quad (12)$$

Pero $N = \frac{\text{masa } (m)}{\text{peso molecular } (M)}$

entonces:

$$PV = \frac{m}{M} RT \quad (13)$$

$$P \cdot M = \left(\frac{m}{V} \right) RT = \rho RT$$

De aquí resulta que:

$$\rho = \frac{MP}{RT} \quad (14)$$

La ecuación (14) nos da la relación entre la densidad y la presión de un gas ideal.

N * No. de moles
 P = presión del gas
 R = constante de los gases ideales
 T = temperatura absoluta.
 V = volumen del gas

Sustituyendo la ecuación (14) en la ecuación (7) obtenemos:

$$\frac{dp}{P} + \frac{g}{g_c} \frac{M}{RT} dz = 0 \quad (15)$$

integrando la ecuación (15) entre los niveles 1 y 2, y considerando que la temperatura es constante.

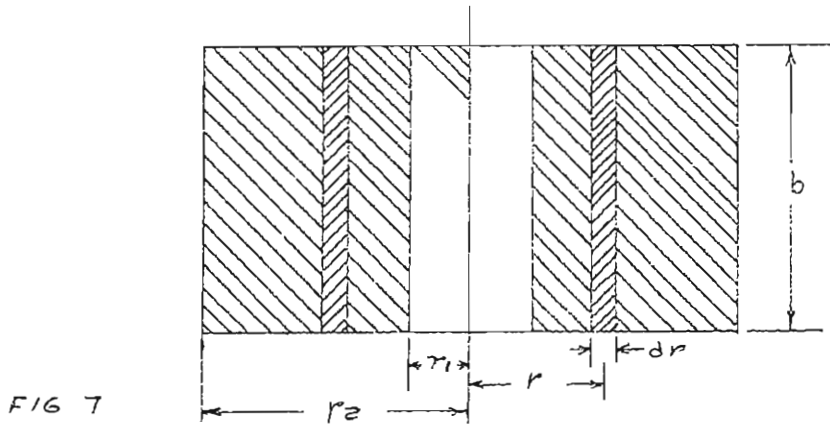
$$\int_{P_1}^{P_2} \frac{dp}{P} = -\frac{g}{g_c} \frac{M}{RT} \int_{z_1}^{z_2} dz \quad (16)$$
$$\ln \frac{P_2}{P_1} = -\frac{g}{g_c} \frac{M}{RT} (z_1 - z_2) \quad (17)$$

La ecuación (17) se conoce con el nombre de ecuación barométrica.

3.2. Equilibrio hidrostático en un campo centrífugo.

En una centrífuga el líquido que penetra por el eje de rotación se proyecta contra la pared del aparato donde se mantiene formando una capa debido a la fuerza centrífuga y la superficie libre del líquido adquiere la forma de un paraboloide de revolución, pero en las centrífugas industriales la velocidad de rotación es tan grande, que la fuerza centrífuga es mucho mayor que la de gravedad, de manera que la superficie del líquido es casi cilíndrica y coaxial con el eje de rotación.

Haciendo una ilustración con la figura siguiente:



En la figura 7, r_1 es la distancia radial desde el eje de rotación a la superficie libre del líquido, y r_2 es el radio de la carcasa de la centrífuga. Se considera que la masa de líquido que se representa en esta figura gira como un cuerpo rígido, es decir, sin deslizamiento de una capa de líquido sobre otra. En base a esto se pueden aplicar los principios de estática de fluidos a esa figura.

Consideramos el espacio anular de líquido que se representa en dicha figura y un elemento de volumen de espesor dr situado a una distancia r del eje y sea b la anchura del anillo.

Para calcular la caída de presión a través de un espacio anular cualquiera del líquido que gira, procederemos de la siguiente manera:

la fuerza centrífuga que actúa sobre el elemento de volumen es: $dF = \frac{W^2 r dm}{g_c}$ (18), en donde dm es la masa de líquido contenido en el elemento de volumen y W la velocidad -

angular en radianes por segundo.

Si la densidad del liquido es igual a ρ tenemos:

$$\rho = \frac{dm}{dV} \therefore dm = \rho dV$$

pero $dV = 2\pi r b dr$

$$\text{entonces: } dm = 2\pi \rho r b dr \quad (19)$$

sustituyendo la ecuación (19) en la ecuación (18)

obtenemos:

$$dF = \frac{2\pi \rho b \omega^2 r^2 dr}{g_c} \quad (20)$$

La variación de presión en el elemento de volumen viene dada por la fuerza que ejerce el elemento de liquido sobre la unidad de área del espacio anular, entonces:

$$dP = \frac{dF}{2\pi r b} = \frac{2\pi \rho b \omega^2 r^2 dr}{2\pi r b g_c}$$

simplificando nos queda:

$$dP = \frac{\omega^2 \rho r dr}{g_c} \quad (21)$$

integrando la ecuación (21) obtenemos la caída de presión a través de todo el anillo:

$$\int_{P_1}^{P_2} dp = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\omega^2 \rho r dr}{g_c} \quad (22)$$

si considera que ρ es constante obtenemos:

$$P_2 - P_1 = \frac{\omega^2 \rho (r_2^2 - r_1^2)}{2g_c} \quad (23)$$

3.3. DECANTADORES CENTRIFUGOS. Cuando la diferencia de den-

si las diferencias entre dos líquidos es pequeña, la fuerza de gravedad no puede separar los líquidos en un tiempo razonable. Entonces la separación se puede realizar en una centrífuga líquido - líquido. Un aparato de este tipo se representa en la figura siguiente:

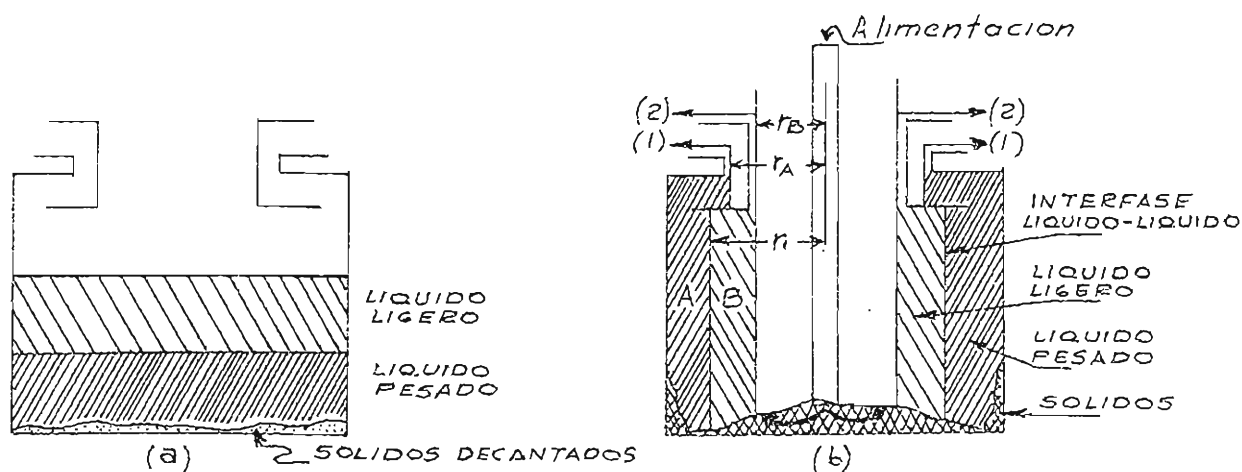


FIG 8

Este aparato consta de un recipiente metálico cilíndrico, que en general se coloca verticalmente, y que gira alrededor de su eje a gran velocidad. En la figura 8-a el aparato está en reposo, y contiene dos líquidos no miscibles de diferentes densidades. Si se hace girar la centrífuga, como indica la figura 8-b, el líquido pesado forma una capa, que se representa en la figura por la zona A y el líquido ligero forma una capa que se representa por la zona B. Las dos capas están separadas por una interface cilíndrica de radio r_1 . Esta

interfase es vertical, ya que la fuerza de gravedad es despreciable en comparación con la fuerza centrífuga. La interfase se llama zona neutra.

Cuando el aparato está funcionando, la alimentación se introduce de forma continua cerca del fondo del mismo. La descarga del líquido con menor densidad se hace por (2), como se indica en la figura, por medio de unos orificios próximos al eje; el líquido de mayor densidad pasa por debajo de una placa anular, perpendicular al eje de rotación y descarga por (1).

Si despreciamos la resistencia de fricción al flujo de los líquidos que salen del recipiente, la posición de la interfase líquido-líquido se establece en función de un balance hidrostático y las distancias radiales al eje de los puntos (1) y (2).

Supongamos que el líquido pesado de densidad ρ_A , fluye por el conducto de salida situado a un radio r_A , y que el líquido ligero, de densidad ρ_B , sale a través de los orificios situados a un radio r_B . Si los dos líquidos giran con el recipiente y la fricción es despreciable, la diferencia de presión entre r_B y r_i , tiene que ser igual a la que existe entre r_A y r_i .

Si llamamos:

P_i = presión en la interfase líquido-líquido

P_B = presión en la superficie libre correspondiente al líquido ligero en r_B

P_A = presión en la superficie libre correspondiente al líquido pesado en κ_A .

En base a esto, podemos escribir:

$$P_i - P_B = P_i - P_A \quad (24)$$

De la ecuación (23):

$$P_i - P_B = \frac{\omega^2 \rho_B (r_i^2 - r_B^2)}{2gc} \quad (25)$$

$$P_i - P_A = \frac{\omega^2 \rho_A (r_i^2 - r_A^2)}{2gc} \quad (26)$$

Igualando las ecuaciones (25) y (26) y eliminando $\left(\frac{\omega^2}{2gc}\right)$ nos queda:

$$\rho_B (r_i^2 - r_B^2) = \rho_A (r_i^2 - r_A^2) \quad (27)$$

Desarrollando los términos:

$$\rho_B r_i^2 - \rho_B r_B^2 = \rho_A r_i^2 - \rho_A r_A^2$$

Despejando r_i :

$$r_i^2 (\rho_B - \rho_A) = \rho_B r_B^2 - \rho_A r_A^2$$

$$r_i^2 = \frac{\rho_B r_B^2 - \rho_A r_A^2}{(\rho_B - \rho_A)} \quad (28)$$

Multiplicando y dividiendo por ρ_B la ecuación anterior:

$$r_i^2 = \frac{r_B^2 - (\rho_A/\rho_B) r_A^2}{1 - (\rho_A/\rho_B)}$$

$$r_i = \sqrt{\frac{r_B^2 - (\rho_A/\rho_B) r_A^2}{1 - \rho_A/\rho_B}} \quad (29)$$

En esta ecuación, se observa que el radio de la zona neutra r_n , varía grandemente con la relación de densidades, especialmente cuando esta relación es próxima a la unidad. Si las densidades de los fluidos son casi iguales, la zona neutra puede ser inestable, aún cuando la velocidad de rotación sea suficiente para separar los líquidos rápidamente. Para que la operación sea estable, la diferencia entre ρ_A y ρ_B no ha de ser inferior al 3%. La ecuación (29) indica además, que si r_B se mantiene constante y se aumenta r_A , la zona neutra se desplaza hacia la pared del aparato y si se disminuye r_A , la zona se desplaza hacia el eje. Si se mantiene constante r_A y se aumenta r_B , la zona neutra se desplaza hacia el eje y si se disminuye r_B , la zona se desplaza hacia la pared del aparato.

La mayoría de los separadores centrífugos se construyen de manera que pueda variarse tanto r_A como r_B , con el fin de controlar la posición de la zona neutra.

Para comprender mejor los conceptos teóricos de los decantadores centrífugos, se presenta a continuación un ejemplo resuelto.-

Ejemplo 1. En una centrífuga de canasta tubular de 4 pulgadas de diámetro interno, se separa nitrobenceno con una densidad de 75 libras/pie³, de un líquido acuoso que tiene una densidad de 64 libras/pie³. La centrífuga está rotando a 15,000 r.p.m. La superficie libre

del líquido dentro de la canasta está a 1 pulgada del eje de rotación. Si la canasta de la centrifuga contiene igual volumen de los dos líquidos - cuál es la distancia radial desde el eje de rotación hasta la parte superior del conducto rebosadero del líquido pesado?

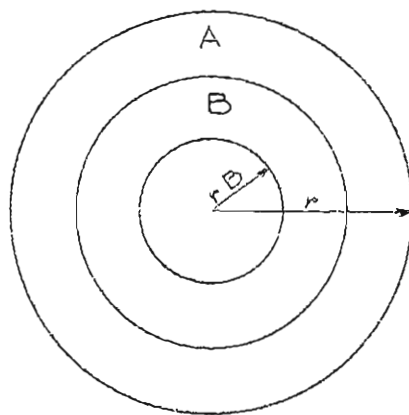
SOLUCION

Sabemos por la ecuación (29) que:

$$r_i = \sqrt{\frac{r_B^2 - \left(\frac{\rho_A}{\rho_B}\right) r_A^2}{1 - \rho_A/\rho_B}}$$

Para poder encontrar r_A , necesitamos conocer además de ρ_A y ρ_B , el valor de r_i y r_B .

Pero $r_B = 1$ pulgada; solo falta conocer r_i , para esto procedemos de la siguiente manera:



r = radio interno de la canasta.

como los volúmenes de los 2 líquidos son iguales, $V_a = V_b$. Sea b , la anchura de los anillos, tenemos:

$$V_{\text{Anillo}} = b\pi \int_{r_i}^r r dr ; V_{\text{Anillo}} = b\pi \int_{r_B}^{r_i} r dr$$

igualando los dos términos resulta:

$$b\pi \int_{r_i}^r r dr = b\pi \int_{r_B}^{r_i} r dr$$

$$\frac{r^2}{2} - \frac{r_i^2}{2} = \frac{r_i^2}{2} - \frac{r_B^2}{2}$$

$$2r_i^2 = r^2 + r_B^2$$

$$r_i = \sqrt{\frac{r^2 + r_B^2}{2}}$$

sustituyendo los valores:

$$r_i = \sqrt{\frac{2^2 + 1^2}{2}} = 1.581 \text{ pul.}$$

Despejando r_A de la ecuación (27) tenemos que:

$$r_A = \sqrt{\left(\frac{\rho_B}{\rho_A}\right) r_B^2 - r_i^2 \left(\frac{\rho_B}{\rho_A} - 1\right)}$$

$$r_A = \sqrt{\left(\frac{64}{75}\right) (1)^2 - (1.581)^2 \left(\frac{64}{75} - 1\right)}$$

$$r_A = 1.11 \text{ pulgadas}$$

3.4. Decantadores gravitatorios continuos. - Los decantadores de este tipo se utilizan para la separación continua de dos líquidos no miscibles de densidades diferentes tal como se representa en la figura siguiente:

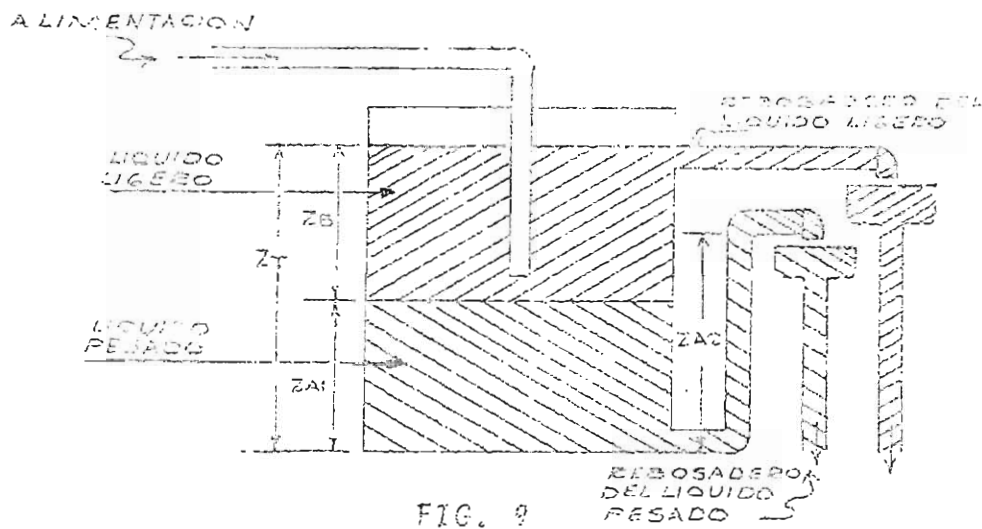


FIG. 9

En este decantador, la mezcla de alimentación entra por un extremo de él; los dos líquidos fluyen lentamente a través del tanque, se separan en los capas, y descargan por los rebosaderos situados al otro extremo del separador.

Los rebosaderos deben ser lo suficientemente grandes, para que la resistencia de fricción al flujo de líquido se pueda despreciar, y la descarga se debe hacer a la misma presión que existe en el espacio gaseoso situado sobre el líquido del tanque; para que el funcionamiento del decantador se pueda estudiar según las leyes y principios de la estática de fluidos.

Supongamos que en el decantador de la fig. 9 la densidad del líquido pesado es ρ_A y la del líquido ligero es ρ_B .

Como la resistencia de fricción al flujo es despreciable en los conductos de descarga, por medio de un balance hidrostático obtenemos la siguiente ecuación:

Como la resistencia de fricción al flujo es despreciable en los conductos de descarga, por medio de un balance hidrostático obtenemos la siguiente ecuación:

$$Z_B \rho_B + Z_{A1} \rho_A = Z_{A2} \rho_A \quad (30)$$

Despejando Z_{A1} en la ecuación anterior:

$$Z_{A1} = Z_{A2} - Z_B \frac{\rho_B}{\rho_A} \quad (31)$$

$$\text{Pero: } Z_B = Z_t - Z_{A1} \quad (32)$$

sustituyendo la ecuación (30) en la ecuación (31) tenemos:

$$Z_{A1} = Z_{A2} - (Z_t - Z_{A1}) \frac{\rho_B}{\rho_A} = Z_{A2} - Z_t \frac{\rho_B}{\rho_A} + Z_{A1} \frac{\rho_B}{\rho_A}$$

Despejando:

$$Z_{A1} \left(1 - \frac{\rho_B}{\rho_A}\right) = Z_{A2} - Z_t \frac{\rho_B}{\rho_A}$$

$$Z_{A1} = \frac{Z_{A2} - Z_t \frac{\rho_B}{\rho_A}}{1 - \frac{\rho_B}{\rho_A}} \quad (33)$$

La ecuación (33) indica que la posición de la interfase líquido - líquido en el separador depende de la relación de densidades de los dos líquidos y de las alturas de los rebasaderos, siendo independiente de la velocidad de flujo de los líquidos.

La parte superior del tubo rebosadero es frecuentemente móvil, de forma que pueda ser ajustado durante la operación, para obtener la separación óptima.

A continuación se presenta un ejemplo resuelto, para que puedas comprender mejor los conceptos teóricos:

Ejemplo 2. Un decantador gravitatorio continuo ha de separar nitrobenceno, de densidad igual a 75 libras/pie³, a partir de una solución acuosa de lavado, cuya densidad es de 64 libras/pie³. Si la altura total del separador es de 3 pies y la interfase está a 1.5 pies de la base del tanque:

- cual ha de ser la altura del rebosadero para el líquido pesado?
- cuanto afectaría un error de 2 pulgadas en esa altura, a la posición de la interfase?

Solución

Llamemos:

A = Nitrobenceno ; $\rho_A = 75 \text{ lbs/pie}^3$; $Z_{A1} = 1.5 \text{ pies}$

B = Solución acuosa; $\rho_B = 64 \text{ lbs/pie}^3$; $Z_T = 3.0 \text{ pies}$

$$a) \quad Z_{A1} = Z_{A2} - (Z_T - Z_{A1}) \frac{\rho_B}{\rho_A}$$

$$Z_{A2} = Z_{A1} + (Z_T - Z_{A1}) \frac{\rho_B}{\rho_A}$$

sustituyendo los valores dados:

$$Z_{A2} = 1.5 \text{ pies} + (3.0 - 1.5) \text{ pies} \times \frac{64}{75}$$

$$Z_{A2} = 2.78 \text{ pies}$$

b) Considerando el error de 2 pulgadas más en el valor de Z_{A2}

$$Z_{A2} = 2.78 \text{ pies} + 2 \text{ pulg} \times \frac{1 \text{ pie}}{12 \text{ pug.}} = 2.947 \text{ pies}$$

Pero:

$$Z_{A1} = \frac{Z_{A2} - Z_T \left(\frac{\rho_B}{\rho_A} \right)}{1 - \left(\frac{\rho_B}{\rho_A} \right)}$$

sustituyendo el valor de Z_{A2} encontrado:

$$Z_{A1} = \frac{2.947 - 3 \cdot \frac{64}{75}}{1 - \frac{64}{75}} = 2.636 \text{ pies}$$

Considerando el error de 2 pulgadas menos en el valor de Z_{A2} :

$$Z_{A2} = 2.78 \text{ pies} - 2 \text{ pulg} \times \frac{1 \text{ pie}}{12 \text{ pug.}} = 2.613 \text{ pies}$$

Pero:

$$Z_{A1} = \frac{Z_{A2} - Z_T \frac{\rho_B}{\rho_A}}{1 - \frac{\rho_B}{\rho_A}}$$

sustituyendo el valor de Z_{A2} encontrado:

$$Z_{A1} = \frac{2.613 - 3 \left(\frac{64}{75} \right)}{1 - \frac{64}{75}} = 0.364 \text{ pies}$$

Encontrando el % de error:

$$\left(\frac{2.636 - 1.5}{1.5} \right) \times 100 = 75.73\%$$

$$\left(\frac{1.5 - 0.364}{1.5} \right) \times 100 = 75.73\%$$

3.5. Manómetros. - Un manómetro es un aparato que se utiliza

para medir diferencias de presión. La figura siguiente representa la forma más sencilla de un manómetro.

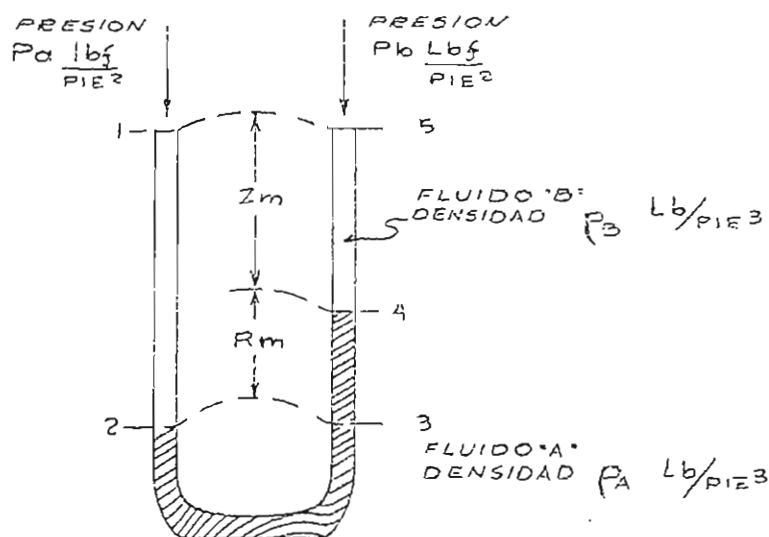


FIG. 10

El manómetro anterior contiene un líquido B de densidad menor que el líquido A y además ambos son inmiscibles.

Sobre la rama izquierda del tubo en U se ejerce una presión P_a y sobre la rama derecha una presión P_b . Como resultado de la diferencia de presión $(P_a - P_b)$, el menisco está más elevado en una de las ramas del tubo en U que en la otra, y puede utilizarse la distancia vertical entre los dos meniscos, R_m , para medir la diferencia de presión.

Deduzcamos una relación entre $(P_a - P_b)$ y R_m , para esto consideremos los 5 puntos indicados en la figura 10.

(P1) Presión en el punto 1 = P_a

(P2) Presión en el punto 2 = $P_a + (g/g_c) \rho_B (Z_m + R_m)$

(P3) Presión en el punto 3 = $P_a + (g/g_c) \rho_B (Z_m + R_m)$

(P4) Presión en el punto 4 = $P_3 - (g/g_c) \rho_A R_m$
 $= P_a + (g/g_c) \rho_B (Z_m + R_m) - (g/g_c) (\rho_A R_m)$

(P5) Presión en el punto 5 = $P_b = P_4 - (g/g_c) \rho_B Z_m$

Entonces:

$$P_b = P_a + \frac{g}{g_c} \left[(Z_m + R_m) \rho_B - R_m \rho_A - Z_m \rho_B \right]$$

$$P_b = P_a + \frac{g}{g_c} (Z_m \rho_B + R_m \rho_B - R_m \rho_A - Z_m \rho_B)$$

$$P_b = P_a + \frac{g}{g_c} R_m (\rho_B - \rho_A) \quad (34)$$

De aquí resulta que:

$$P_a - P_b = \frac{g}{g_c} R_m (\rho_A - \rho_B) \quad (35)$$

Hay que observar que la relación anterior es independiente de la distancia Z_m y de las dimensiones del tubo, con tal de que las presiones P_a y P_b estén medidas sobre el mismo plano horizontal.

En el caso que se necesite medir pequeñas diferencias de presión se emplea el manómetro inclinado, el cual

se representa en la figura siguiente:

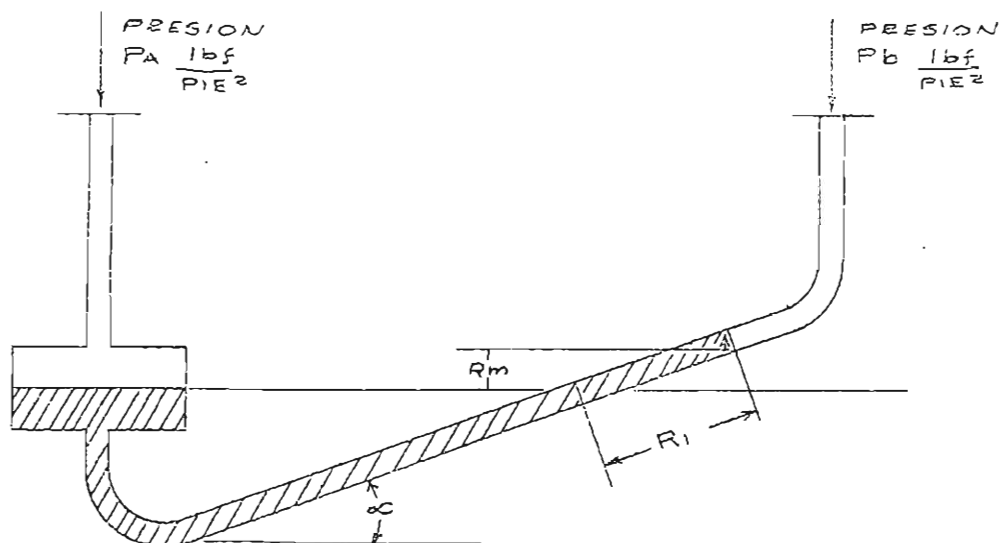


FIG. 11

En este manómetro una de las ramas está inclinada, de tal forma que para un valor pequeño de R_m , el menisco del tubo inclinado se desplazará una distancia R_1 a lo largo del tubo.

$$R_1 = \frac{R_m}{\sin \alpha} ; \quad \alpha = \text{ángulo de inclinación}$$

Sabemos que:

$$P_A - P_B = \frac{g}{g_c} R_m (\rho_A - \rho_B) \quad (36)$$

Sustituyendo el valor de R_m en la ecuación (36)

tenemos:

$$P_A - P_B = \frac{g}{g_c} R_1 (\rho_A - \rho_B) \sin \alpha \quad (37)$$

En este tipo de manómetro, es necesario ensanchar la rama vertical de manera que el movimiento del menisco en la rama ensanchada sea despreciable dentro del intervalo de operación del aparato.

Para que comprendas mejor el funcionamiento de los dos tipos de manómetros anteriores, se presentan dos problemas resueltos.

Ejemplo 3. Se tiene un manómetro diferencial colocado en una tubería vertical (tal como se muestra en la figura) que contiene un fluido 1 de gravedad específica igual a 2.40. El fluido 2 posee una gravedad específica de 0.65 y el ΔP entre los 2 puntos de la tubería es de 4.1 Psi. Encontrar la densidad del fluido 3?

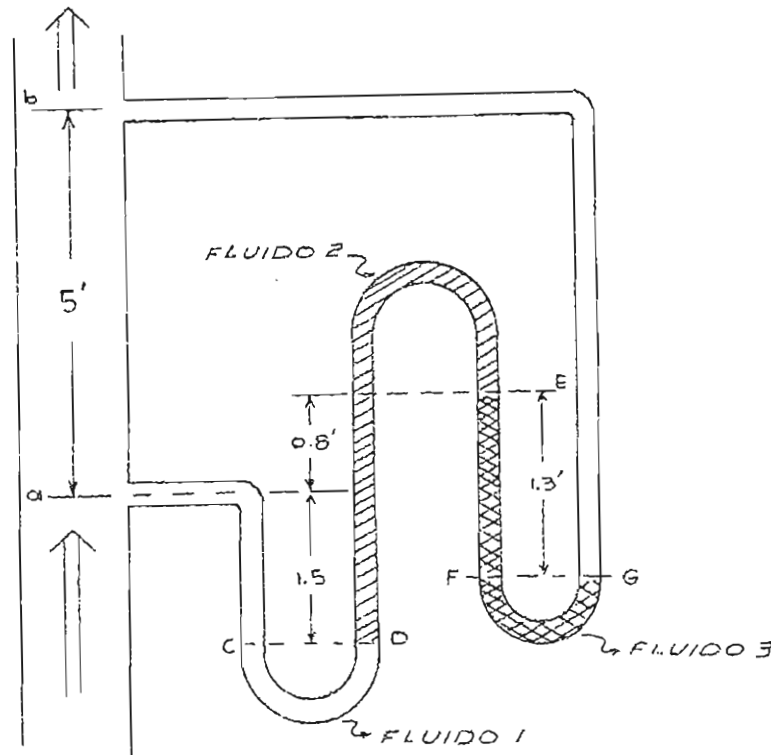


FIG. 12

Solución

$$P_c = P_d$$

$$P_c = P_a + 2.5^1 \rho_1 \frac{g}{g_c}$$

$$P_d = P_e + (1.5 + 0.8)^1 \rho_2 \frac{g}{g_c}$$

Por tanto:

$$P_a + 1.5^1 \rho_1 \frac{g}{g_c} = P_e + 2.3^1 \rho_2 \frac{g}{g_c}$$

Despejando P_a de esta ecuación y asumiendo $\frac{g}{g_c} \approx 1$:

$$P_a = P_e + 2.3^1 \rho_2 - 1.5^1 \rho_1$$

continuando el análisis en los distintos puntos del manómetro, resulta:

$$P_f = P_e + 1.3^1 \rho_3 \frac{g}{g_c}$$

$$P_e = P_b + (5 - 0.8 + 1.3)^1 \rho_1 \frac{g}{g_c} ; \frac{g}{g_c} \approx 1$$

Pero $P_f = P_g$:

$$P_e + 1.3^1 \rho_3 = P_b + 5.5^1 \rho_1$$

Despejando P_b de esta ecuación:

$$P_b = P_e + 1.3^1 \rho_3 - 5.5 \rho_1$$

sabemos que:

$$\Delta P = P_a - P_b = 4.1 \text{ psi} = 4.1 \frac{\text{lb}_f}{\text{pulg}^2} \left| \frac{144 \text{ pulg}^2}{1 \text{ pie}^2} \right. = 590.4 \frac{\text{lb}_f}{\text{pie}^2}$$

$$590.4 \frac{\text{lb}_f}{\text{pie}^2} = P_a - P_b = P_e + 2.3^1 \rho_2 - 1.5^1 \rho_1 - P_e - 1.3^1 \rho_3 + 5.5^1 \rho_1$$

$$590.4 \frac{\text{lb}_f}{\text{pie}^2} = 2.3 \rho_2 + 4 \rho_1 - 1.3 \rho_3$$

$$P_3 = \frac{2.3 P_2 + 4 P_1 - 590.4}{1.3}$$

La ecuación anterior nos da el valor de P_3 pero tenemos los siguientes datos:

Spgr = gravedad específica.

$$Spgr_1 = 2.40 ; P_1 = 2.40 \times 62.4 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}$$

$$Spgr_2 = 0.65 ; P_2 = 0.65 \times 62.4 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}$$

sustituyendo estos valores en la ecuación de P_3 , resulta que:

$$P_3 = \frac{0.65 \times 62.4 \times 2.3 + 4 \times 2.40 \times 62.4 - 590.4}{1.3}$$

$$P_3 = \frac{101.93}{1.3}$$

$$P_3 = 78.4 \frac{\text{libras}}{\text{pie}^3}$$

Ejemplo 4. se tiene un manómetro inclinado colocado en una tubería por la que fluye agua (tal como se muestra en la figura). El líquido 1 tiene una gravedad específica de 13.6 y la del líquido 2 es igual a 0.5. Encontrar la presión en el punto B indicado en la figura?

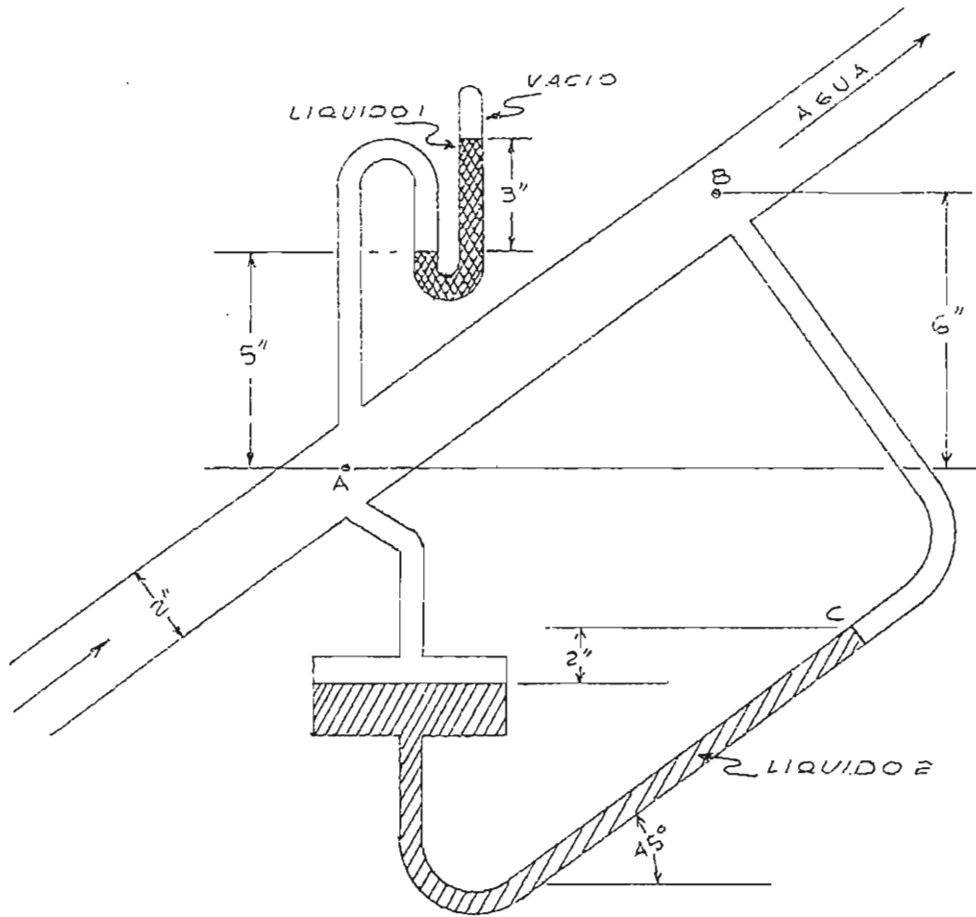


FIG. 13

Solución

En el manómetro superior a la tubería se tiene que:

$$P_A = \frac{g}{g_c} \left[\rho_{H_2O} \times 5 \text{ pulg} \times \frac{1 \text{ pie}}{12 \text{ pulg}} + \rho_1 \times 3 \text{ pulg} \times \frac{1 \text{ pie}}{12 \text{ pulg}} \right]$$

sabemos que:

$$\rho_{H_2O} = 62.4 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}$$

$$\rho_1 = 13.6 \times 62.4 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}$$

Sustituyendo los valores de las dos densidades:

$$P_A = \frac{g}{g_c} \left[62.4 \times \frac{5}{12} + 13.6 \times 62.4 \times \frac{3}{12} \right]$$

$$P_A = 238.16 \frac{\text{lb}_f}{\text{pie}^2}$$

En el manómetro inclinado inferior:

$$P_A - P_c = \frac{g}{g_c} \times 2 \text{ pulg} \times \frac{1 \text{ pie}}{12 \text{ pulg}} (P_2 - \rho_{H_2O})$$

Sabemos que:

$$\rho_2 = 0.5 \times 62.4 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}$$

Sustituyendo el valor de ρ_2 :

$$P_A - P_c = \frac{g}{g_c} \times \frac{2}{12} (0.5 - 1.0) \times 62.4$$

$$P_c = P_A - \left[\frac{g}{g_c} \times \frac{2}{12} (0.5 - 1.0) \times 62.4 \right]$$

$$P_c = 238.16 + \left(\frac{g}{g_c} \times \frac{2}{12} \times 0.5 \times 62.4 \right)$$

$$P_c = 243.36 \frac{\text{lb}_f}{\text{pie}^2}$$

Ahora encontramos el valor de P_B :

$$P_B = P_c - \frac{g}{g_c} \times 6 \text{ pulg} \times \frac{1 \text{ pie}}{12} \times \rho_{H_2O}$$

$$P_B = 243.36 - \left(\frac{g}{g_c} \times \frac{6}{12} \times 62.4 \right)$$

$$P_B = 212.16 \frac{\text{lb}_f}{\text{pie}^2}$$

Hasta aquí has estudiado el aspecto teórico y algunas aplicaciones prácticas del módulo No. 2.

Continúa con la lectura

VI Ejercicios propuestos para que tú los resuelvas

- 1 - Demostrar que la presión en un punto elegido al azar dentro del volumen de un fluido, es independiente de la dirección.
- 2 - Se tiene un gas ideal con peso molecular igual a 29 y que se encuentra a una temperatura de 30°C . Encontrar el valor de la relación de presiones (P_b/P_a) entre 2 puntos; si la diferencia de altura entre los puntos a y b es igual a 5 pulgadas.
- 3 - Una centrífuga de 10 pulgadas de diámetro interno gira a 1000 r.p.m., y contiene una capa de monoclorobenceno de $\frac{1}{2}$ pulgadas de espesor. Si la densidad del monoclorobenceno es de 69 libras/pie³ y la presión en la superficie libre del líquido es la atmosférica. Qué presión se ejerce sobre la pared de la centrífuga?
- 4 - Un decantador gravitatorio continuo cilíndrico vertical tiene que separar 100 galones por hora de un líquido B, a partir de un volumen igual de líquido A. La densidad del líquido B es de 80 libras/pie³ y la del líquido A es de 60 libras/pie³. El tiempo necesario de decantación es de 25 minutos y la altura del decantador es igual a 8 pies. calcular:
 - a) calcular el volumen del tanque si el líquido ocupa el 90% de ese volumen.
 - b) La altura del rebosadero del líquido A medida desde la base del tanque.
- 5 - Se tiene un manómetro diferencial colocado en una tubería horizontal recta, por la que circula agua ($\rho = 62.4$

lb/pie³}. La lectura en el manómetro de mercurio es de 0.60 metros, tal como se muestra en la figura siguiente. Encontrar la diferencia de presiones entre A y B en lb/pug² ?

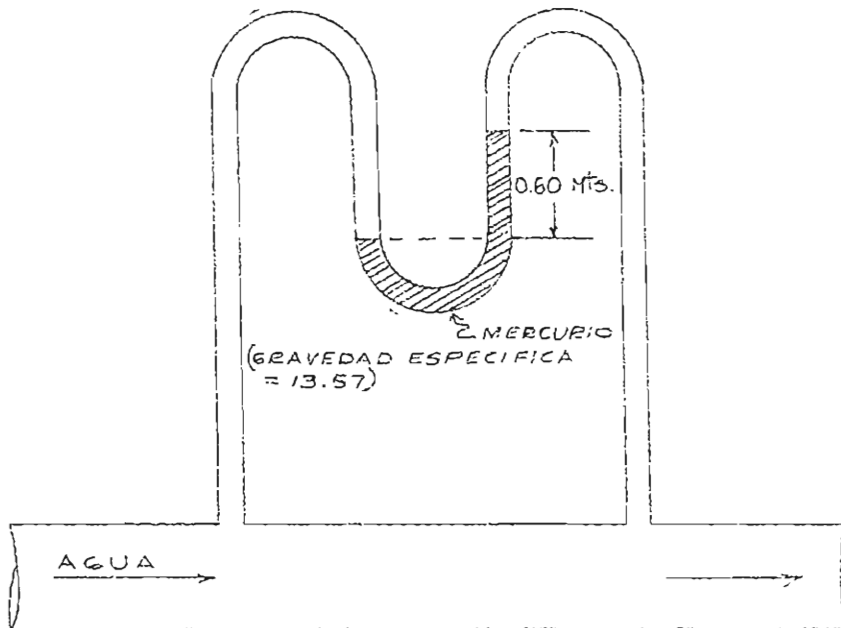


FIG. 14

VII - POST - PRUEBA

- 1 - En un tanque se tienen 600 libras de un líquido X que ocupa un volumen de 10 pies cúbicos. Si tenemos dentro de la masa de líquido dos puntos a y b que tienen una diferencia de altura de 2 pies (siendo el punto a el más cercano al fondo del tanque) y la temperatura del líquido se mantiene constante. Encontrar la diferencia de presiones $(P_a - P_b)$ entre los dos puntos indicados?

2 - En un separador centrífugo, explique que ocurre con la interfase líquido - líquido si:

a) r_b se mantiene constante y se aumenta r_a

b) r_a se mantiene constante y se aumenta r_b

En donde:

r_a = radio del conducto de salida para líquido pesado

r_b = radio del conducto de salida para líquido ligero.

3 - Un decantador gravitatorio continuo cilíndrico vertical ha de separar 2000 galones por hora de un líquido B con densidad igual a 45 lbs/pie³, a partir de un volumen igual de un líquido A con densidad igual a 68 lbs/pie³. El tiempo necesario de decantación es de 15 minutos y el diámetro del tanque es de 5.6 pies. Si los dos líquidos ocupan el 92% del volumen del tanque, encontrar la altura del rebosadero del líquido ligero, medida desde la base del tanque?

4 - Los recipientes A y B contienen agua a las presiones de 42 $\frac{\text{lb}_f}{\text{pulg}^2}$ y 26 $\frac{\text{lb}_f}{\text{pulg}^2}$ respectivamente.

Cuál es la lectura en el manómetro diferencial de mercurio, mostrado en la figura?

La gravedad específica del mercurio = 13.57

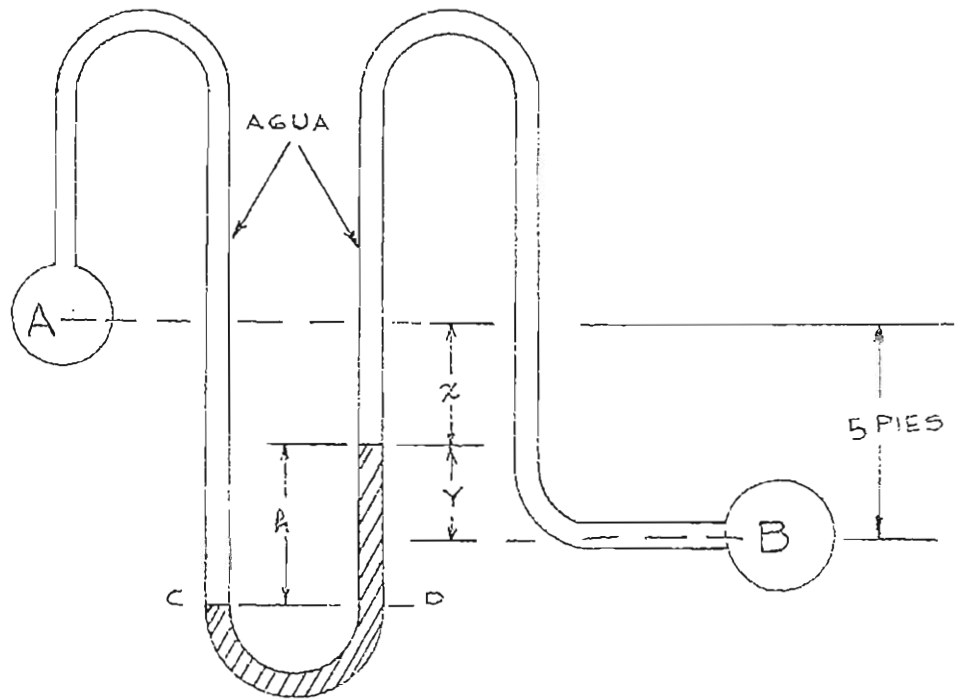


FIG. 15

- 5 - Se tiene un manómetro para medir pequeñas diferencias de presión, tal como el que se muestra en la figura 11. El líquido A en el manómetro tiene una densidad de 70 lbs/pie^3 y el líquido B tiene 40 lbs/pie^3 . La presión P_a es igual a 245 lbf/pie^2 y la presión P_b es 230 lbf/pie^2 . La lectura R_1 es igual a 12 pulgadas. Encontrar el ángulo de inclinación del manómetro?

Solución a la PRE - PRUEBA

1 - Fluidos compresibles son aquellos en los cuales la densidad varía considerablemente cuando varía la presión y/o temperatura. Ejemplo: los gases y vapores. Fluidos no compresibles son aquellos en los cuales la densidad varía poco por cambios moderados de temperatura y presión.

Ejemplo: los líquidos

2 - sabemos que: $PV = \frac{KRT}{H} N$

pero $N = \frac{\text{masa } (m)}{\text{peso molecular } (M)}$

entonces: $PV = \frac{KRT}{H} \frac{(m)}{M}$

De aquí resulta que: $MP = \frac{KRT}{H} \left(\frac{m}{V}\right) = \frac{KRT}{H} \rho$

entonces: $\rho = \frac{MH}{KRT} P$

Entonces ya tenemos la expresión para la densidad del gas en función de la presión.

Sustituyendo la densidad en la ecuación del equilibrio hidrostático:

hidrostático: $dp = - \frac{g}{gc} \rho dz$

De aquí tenemos:

$dp = - \frac{g}{gc} \left(\frac{MHP}{KRT} \right) dz$

entonces: $\frac{dP}{P} = - \frac{g}{gc} \left(\frac{MH}{KRT} \right) dz$

integrando esta ecuación entre a y b:

$\int_{Pa}^{Pb} \frac{dP}{P} = - \frac{g}{gc} \left(\frac{MH}{KRT} \right) \int_{Za}^{Zb} dz$

$$\ln \frac{P_b}{P_a} = \frac{g}{g_c} \left(\frac{MH}{KRT} \right) (Z_a - Z_b)$$

entonces:

$$\frac{P_b}{P_a} = \text{antiln} \left[\frac{g}{g_c} \left(\frac{MH}{KRT} \right) (Z_a - Z_b) \right]$$

3 - tenemos la ecuación (27):

$$\rho_B (\pi_i^2 - \pi_B^2) = \rho_A (\pi_i^2 - \pi_A^2)$$

$$\rho_B \pi_i^2 - \rho_B \pi_B^2 = \rho_A (\pi_i^2 - \pi_A^2)$$

Despejando π_B nos resulta que:

$$\pi_B = \sqrt{\frac{\rho_B \pi_i^2 - \rho_A \pi_i^2 + \rho_A \pi_A^2}{\rho_B}}$$

$$\pi_B = \sqrt{\frac{65 \times (0.175)^2 - 80 (0.175^2 - 0.125^2)}{65}}$$

$$\pi_B = \sqrt{\frac{1.95 - 1.20}{65}} = \sqrt{\frac{0.75}{65}}$$

$$\pi_B = 0.1048 \text{ pies}$$

$$\pi_B = 1.257 \text{ pulgadas}$$

4 - Tenemos la ecuación (33):

$$Z_{a1} = \frac{Z_{az} - Z_t \frac{\rho_B/\rho_A}{1 - \rho_B/\rho_A}}{1 - \rho_B/\rho_A} = \frac{6 \text{ pies} - 6.8 \text{ pies} \left(\frac{55}{70} \right)}{1 - \left(\frac{55}{70} \right)}$$

$$Z_{a1} = \frac{6 \text{ pies} - 5.34 \text{ pies}}{0.2143}$$

$$Z_{a1} = 3.08 \text{ pies}$$

5 -

$$P_a = P_b$$

Pero:

$$P_a = P_A + 1.15 \rho_1 \frac{g}{g_c} = P_b$$

Asumimos que $g/gc \approx 1$ para todas las ecuaciones en que aparezca.

$$P_a = P_b = 10 \frac{\text{lb}_f}{\text{pulg}^2} \left| \frac{144 \text{ pulg}^2}{1 \text{ pie}^2} \right. + 1.5 \times 2.0 \times 62.4 = 162.2 \frac{\text{lb}_f}{\text{pie}^2}$$

$$P_c = P_b - 3.1 \rho_{H_2O} g/gc = 162.2 - 3.1 \times 0.80 \times 62.4$$

$$P_c = 1472.35 \frac{\text{lb}_f}{\text{pie}^2}$$

$$P_d = P_e$$

$$P_d = P_c + 2 \rho_3 g/gc$$

$$P_e = P_b + 3.6 \rho_{H_2O} g/gc$$

igualando las dos ecuaciones:

$$P_c + 2 \rho_3 = P_b + 3.6 \rho_{H_2O}$$

$$P_b = P_c + 2 \rho_3 - 3.6 \rho_{H_2O}$$

Sustituyendo los valores:

$$P_b = 1472.45 + 2 \times 1.40 \times 62.4 - 3.6 \times 62.4$$

$$P_b = 1472.45 + 174.72 - 224.64$$

$$P_b = 1422.53 \frac{\text{lb}_f}{\text{pie}^2}$$

$$P_b = 9.88 \frac{\text{lb}_f}{\text{pulg}^2}$$

Solución a la Post - Prueba.-

Estimado estudiante: coteja los ejercicios de la post - prueba con la presente solución. Si fallas en alguna, repite la lectura del presente módulo.

1 - Encontrando la densidad (ρ) :

$$\rho = \frac{\text{masa (m)}}{\text{volumen (V)}} = \frac{600 \text{ lbd}}{10 \text{ pies}^3} = 60 \frac{\text{lbs}}{\text{pie}^3}$$

De acuerdo con la ecuación (7):

$$dp + \frac{g}{gc} \rho dz = 0$$

Entonces:

$$\int_a^b dp = - \frac{g}{gc} \int_a^b dz$$

$$P_a - P_b = \frac{g}{gc} \rho (z_b - z_a)$$

considerando que $\frac{g}{gc} \approx 1$

$$P_a - P_b = 60 \frac{\text{lbs}}{\text{pie}^3} (2 \text{ pies})$$

$$P_a - P_b = 120 \frac{\text{lb}_f}{\text{pie}^2}$$

- 2 - a) La zona neutra (interfase) se desplaza hacia la pared del separador
 b) La zona neutra (interfase) se desplaza hacia el eje del separador.

$$3 - \frac{2000 \text{ gal}}{\text{hr}} \Big| \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} = 33.33 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$2 \times 33.33 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \times 15 \text{ min} \times \frac{1 \text{ pie}^3}{7.78 \text{ gal}} = 133.68 \text{ pie}^3$$

$$(V) \text{ Volumen del líquido} = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) z_t$$

$$z_t = \frac{4V}{\pi D^2} = \frac{133.68 \text{ pie}^3 \times 4}{3.14 (15.6 \text{ pie})^2}$$

$$z_t = 5.43 \text{ pies}$$

4 - presión en C = presión en D

$$P_A + (x + h) \rho_{H_2O} = P_B - y \rho_{H_2O} + h \rho_{Hg}$$

Asumiendo que $g/g_c \approx 1$

$$42 \frac{\text{lb}_f}{\text{pulg}^2} \left| \frac{144 \text{ pulg}^2}{1 \text{ pie}^2} \right. + (x + h) 62.4 = 26 \frac{\text{lb}_f}{\text{pulg}^2} \left| \frac{144 \text{ pulg}^2}{1 \text{ pie}^2} \right.$$

$$- y 62.4 + 13.57 x 62.4 h$$

$$(6048 - 37444) + 62.4 (x + y) = (846.77 - 62.4) h$$

$$h = \frac{2304 + 312}{784.37}$$

$$h = 3.33 \text{ pies}$$

$$5 - \rho_A = 70 \text{ lbs/pie}^3; \rho_B = 40 \text{ lbs/pie}^3$$

$$P_A = 245 \text{ lb}_f/\text{pie}^2; P_B = 230 \text{ lb}_f/\text{pie}^2$$

$$R1 = 12 \text{ pulg} = 1 \text{ pie}; g/g_c \approx 1$$

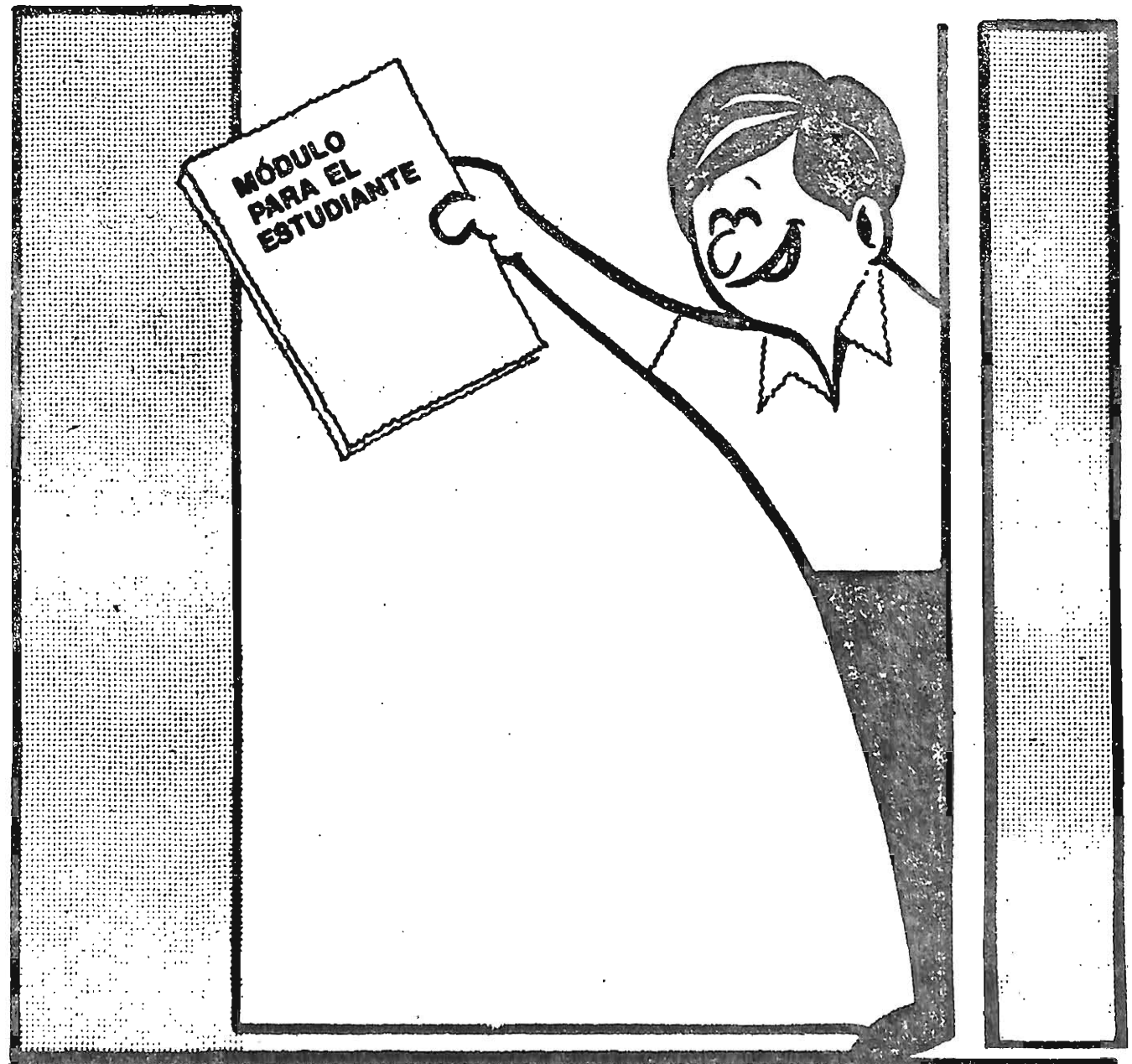
$$P_A - P_B = \frac{g}{g_c} R1 (\rho_A - \rho_B) \sin \alpha$$

$$(245 - 230) = 1 \text{ pie} (70 - 40) \frac{\text{lbs}}{\text{pie}^3} \times \sin \alpha$$

$$0.5 = \frac{15}{30} = \sin \alpha$$

$$\alpha = 30^\circ$$

Módulo para el Estudiante



Módulo para el estudio de

Nombre: El módulo de aprendizaje individual

1. Introducción

El módulo instruccional es una técnica educativa en la cual el estudiante aprende en forma individual. Con toda seguridad la has oído mencionar y te habrás preguntado....¿y cómo es eso? Pues no es otra cosa que una lección escrita como ésta que estás leyendo.... por medio de la cual un estudiante puede aprender una materia, sin que sea un maestro el que imparta la enseñanza. Esto no descarta la presencia del maestro, pero su función en este caso es brindar ayuda al estudiante cuando éste lo solicita o el módulo así lo indica.

Esta lección te describe las partes que componen un módulo de aprendizaje individual y te ofrece ejemplos de cada una de éstas partes. Estúdialas y realiza las actividades que se sugieren para que así disfrutes de tu primera experiencia con esta nueva forma de aprender.

¡Buena suerte!

¡Saludos, amigo estudiante!



-Soy el líder en este interesante desfile de las partes del módulo de aprendizaje individual.

-A mí se me conoce como: Objetivo operacional o de conducta observable. En otras palabras soy la meta hacia la cual te diriges al estudiar este módulo.

-Yo apareceré en todos los módulos que estudies de ahora en adelante, al principio de la lección.

-Cuando lees los objetivos que aparecen después de la introducción, comprenderás lo que serás capaz de hacer al finalizar el estudio de cada lección.

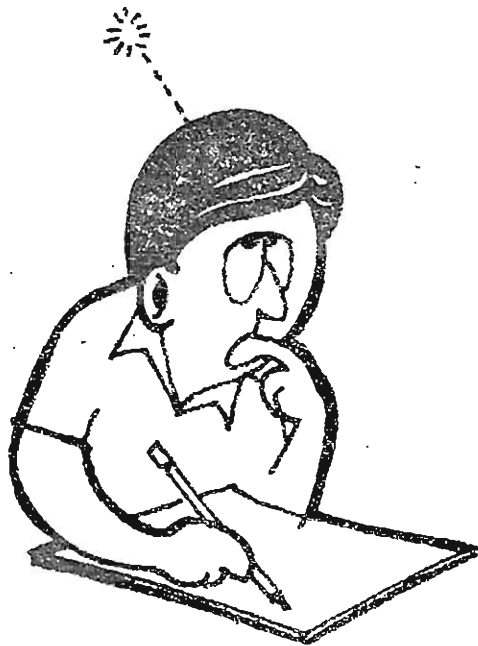
-Examina los que aparecen a continuación:

II. Objetivos de aprendizaje

Después de estudiar este módulo:

1. Enumerarás las partes de un módulo de aprendizaje individual.
2. Indicarás la función de cada parte.
3. Compararás esta nueva forma de aprender con el sistema tradicional al cual estás acostumbrado.
4. Señalarás las ventajas y desventajas de aprender por medio del módulo de aprendizaje individual.

III. Preprueba



¡Hola! Me llamo preprueba.

-Mi propósito es ayudarte a determinar qué sabes sobre la lección que vas a estudiar.

-No te preocupes si no puedes contestar alguna o ninguna de las preguntas que te presento. No es mi propósito darte una nota.

-El propósito es que podamos tú y yo saber si conoces bien el tema que se discute en el módulo. Si éste es el caso, no tienes necesidad de estudiarlo. ¡Ah! pero si no lo conoces bien, te recomiendo que estudies la lección con cuidado.

-Contesta las preguntas que aparecen a continuación en el papel que te proveerá el maestro. Éstas componen la preprueba de este módulo.

-Lee cada oración y selecciona la alternativa que mejor complete el sentido de la oración. Escribe la letra en el papel de contestaciones.

1. El módulo de aprendizaje individual:

a. requiere que el maestro imparta la enseñanza.

b. permite al estudiante aprender solo, con la asistencia del maestro.

2. Los objetivos de aprendizaje:

a. representan las metas que se logran alcanzar al estudiar la lección

b. indican las tareas que se realizan al estudiar el módulo.

3. Las actividades en un módulo de aprendizaje son:

4

- a. el medio para demostrar lo aprendido
- b. las metas que va a lograr el estudiante

4. La preprueba:

- a. ayuda a determinar los conocimientos que se tienen sobre el tema.
- b. sirve para evaluar lo que se aprende en la lección.

5. Las referencias que el módulo ofrece son para que el estudiante:

- a. realice sus asignaciones.
- b. amplíe sus conocimientos.

Al finalizar este ejercicio, coteja tus contestaciones con la clave que aparece en la página número 13 de este módulo.

IV. Materiales de trabajo



¡Saludos, amigo! Yo soy el tercero en este desfile. Me llaman materiales. Mi función es presentar los materiales, las herramientas y el equipo que se necesitan para llevar a cabo las actividades o tareas que se sugieren en esta lección.

Algunos ejemplos son: folletos, láminas, dibujos, maquetas, piezas y aditamentos, modelos a escala o al natural, ilustraciones, transparencias, grabaciones, películas, vistas fijas y todo lo se necesite para estudiar la lección.

con estas ayudas se facilita el aprender solo, tranquilo, sin pérdida de tiempo y al ritmo que la capacidad de cada individuo le permita.

Materiales que usarás en este módulo:

1. Libreta de apuntes
2. Hojas de papel en blanco
3. Lápiz

V. Actividades



¡Hola, joven! Permíteme presentarme. Yo soy conocido dentro de este desfile con el nombre de actividades de aprendizaje. Mi misión es disponer lo que se va a hacer en el módulo. Esto, desde luego, de acuerdo con mi compañero el objetivo. Voy a ayudarte en tu trabajo. ¿Sabes por qué?

-Porque te presento en forma fácil los pasos que se recomienda seguir al llevar a cabo las tareas que el módulo requiere. Lo que sigue a continuación es un modelo corto y sencillo de lo que yo dispongo en éste y en otros módulos.

1. Lee con cuidado la información acerca del módulo instruccional que aparece a continuación:

El módulo instruccional de aprendizaje individual es un material de enseñanza donde se agrupa toda la información que el estudiante necesita para adquirir nuevos conocimientos, desarrollar destrezas y/o modificar sus actitudes. Éste le permite al estudiante aprender en una forma individual, de acuerdo con su propia capacidad.

El módulo instruccional se compone de las siguientes partes:

1. La identificación del módulo

-En la primera página aparece el nombre del curso, la unidad, la tarea, el número del módulo y el tópico que en él se discute.

2. La introducción

-Esta presenta en forma sencilla y en términos generales, el tema de la lección y la conveniencia de estudiarla.

3. Los objetivos de aprendizaje

-Estos expresan lo que el estudiante va a lograr al estudiar el contenido de la lección o al llevar a cabo las tareas u operaciones que el módulo sugiere.

4. La preprueba

-Consiste de un ejercicio escrito o práctico cuyo propósito es guiar al estudiante a determinar sus conocimientos en relación con el tema de la lección.

-Este ejercicio no pretende evaluar al estudiante. Se espera que éste lo realice con honradez para que la preprueba le sea de utilidad en su desarrollo como estudiante.

5. Los materiales

Incluye todas las ayudas educativas, equipo y herramientas que el módulo requiere para su estudio y la realización de las tareas y actividades que éste sugiere

6. Las actividades de aprendizaje

-Conducen a la realización de los objetivos de la lección, o sea, la adquisición de nuevos conocimientos, destrezas y actitudes por el estudiante.

-Entre las actividades de aprendizaje se incluyen:

lecturas, la observación de demostraciones ofrecidas por el maestro o por otras personas; direcciones para la ejecución de tareas o experimentos; ejercicios de práctica y de comprobación de los conocimientos y

destrezas que se adquieren al estudiar la lección, además de las medidas de seguridad.

7. La postprueba

Este es un ejercicio cuyo propósito es determinar el progreso del estudiante al comparar sus resultados con los de la preprueba que el estudiante realiza al iniciar el estudio del módulo.

-Al contestar la postprueba, el estudiante tiene la oportunidad de comprobar si logró alcanzar los objetivos del módulo. En otras palabras, si adquirió nuevos conocimientos y destrezas relacionadas con el tema de la lección.

-Al final de la postprueba, se sugiere que si el estudiante tiene dificultad en contestarla, estudie de nuevo la lección cuantas veces lo crea conveniente para que aclare sus dudas.

A la vez se le recomienda se dirija a su maestro, quien está dispuesto a ayudarlo a entender aquellas partes del

material en las cuales el estudiante tenga dificultad

8. Las referencias o bibliografía

-Son los libros y otras fuentes de referencias que el estudiante puede consultar para ampliar sus conocimientos.

-La bibliografía incluye la descripción de cada obra sugerida como referencia. Esta descripción incluye:

-El nombre del autor o autores

-El título de la obra

-La casa editora y el país donde se edita

-El año de impresión

-El número de la edición

-El capítulo y las páginas de referencias que se usaron para el módulo.

Para resumir podemos señalar las siguientes ventajas que tiene el aprendizaje por medio del módulo instruccional:

- a. El estudiante comprueba inmediatamente los resultados de su esfuerzo por aprender cosas nuevas.
- b. Ofrece al estudiante la oportunidad de aprender al ritmo que sus habilidades le permiten, sin sentirse frustrado por no aprender al mismo paso que sus compañeros.
- c. Acelera el aprendizaje al proveer al estudiante todos los materiales que necesita para adquirir nuevos conocimientos y destrezas.
- d. Ofrece la asistencia del maestro para aclarar dudas, y brindar ayuda directa al estudiante cuando éste la requiere o el módulo así lo indica.

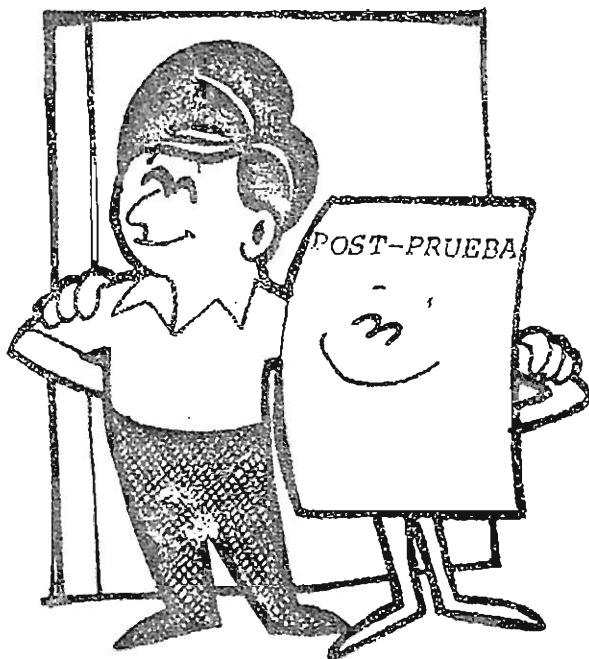
e. Orienta al estudiante en cuanto a las fuentes de consulta que puede utilizar para profundizar en los conocimientos que adquiere al estudiar el módulo.

2. Contesta en tu libreta las siguientes preguntas:

- a. Explica en tus propias palabras lo que entiendes por un módulo instruccional de aprendizaje individual.
- b. Enumera las partes que componen el módulo instruccional, y escribe su función al lado de cada una.
- c. Escribe tres ventajas del sistema de aprender por medio del módulo instruccional.
- ch. Escribe un párrafo breve donde expliques tus razones para aceptar o rechazar este sistema de aprender.

Comenta tus contestaciones con otros compañeros que estudian este módulo y con el maestro.

VI. Evaluación o postprueba



¡Hola! Soy la postprueba, hermana de la preprueba. Aunque me parezco mucho a ella, mi función es distinta a la suya.

-Al contestar las preguntas que aparecen a continuación te estarás evaluando tú mismo.

Postprueba

Utiliza el papel que te proveerá el maestro para contestar el siguiente ejercicio:

Escribe al lado de cada número la letra correspondiente a la palabra o frase que complete correctamente cada una de las oraciones:

1. El módulo de aprendizaje:

- a. es un medio de enseñanza individual.
- b. es un medio que facilita contestar exámenes.
- c. sustituye al maestro.

2. La introducción en el módulo de aprendizaje:

- a. nos presenta los objetivos que se persiguen en éste.
- b. nos da los pasos a seguir en el trabajo del módulo.
- c. nos dice en términos generales por qué y qué se va a estudiar.

3. Los objetivos de aprendizaje:

- a. nos explican lo que debe hacerse para aprender más sobre el tema.
- b. nos indican lo que lograremos después de estudiar el tema

- c. nos guían en las actividades a llevar a cabo.
4. La preprueba tiene el propósito de decirte:
- a. cuánto vas aprendiendo
 - b. cuánto te falta por aprender
 - c. si necesitas estudiar el tema que se discute en el módulo
5. Los materiales:
- a. sirven de ayuda en el estudio del contenido del módulo.
 - b. sirven de muy poco
 - c. son un problema
6. Las actividades de aprendizaje:
- a. son el medio de evaluar lo que hemos aprendido
 - b. envuelven aprender mientras se practica
 - c. son una repetición de lo aprendido
7. La postprueba tiene el objeto de:
- a. dar una nota y nada más
 - b. determinar cuánto puedes aprender
 - c. determinar cuánto se aprendió desde que se tomó la preprueba
8. Las referencias:
- a. son para estudiar más sobre el tema
 - b. son de muy poca importancia para el estudiante
 - c. ninguna de las anteriores

Cuando termines estos ejercicios, entrega tu trabajo al maestro para su revisión. El te indicará si puedes continuar con el estudio del próximo módulo o si te recomienda repasar éste de nuevo, de acuerdo con los resultados de tu trabajo.

VII. Referencias o bibliografía



Amigo, permíteme un minuto para presentarme. Me llaman bibliografía. Estoy muy orgulloso de mi nombre. ¿Sabes por qué?

-Pues porque represento la fuente donde puedes obtener más información sobre el tema que estudias.

Hoja de respuestas

Clave de la preprueba

1. b

2. a

3. a

4. a

5. b

Clave de la postprueba

1. a

2. c

3. b

4. c

5. a

6. b

7. c

8. a

Cuestionario para evaluar asignaturas desarrolladas por medio de la metodología modular.-

Asignatura: _____ ciclo: _____

Profesor: _____

Monitor: _____

El presente cuestionario tiene como objetivo recopilar, en forma ordenada, algunos datos referentes a la reacción de los alumnos con respecto a las asignaturas desarrolladas por medio de la metodología modular.

Le agradecemos de antemano la colaboración que prestará llenando sinceramente el cuestionario que sigue. En la mayoría de las preguntas de este cuestionario existe una escala de 1 a 7 para graduar las respuestas. El número que usted marque, con una X, en cada respuesta de este tipo, indicará la posición relativa que su propia respuesta ocupa con relación a los términos descritos en los extremos de la escala.

1 - La cantidad del material de lectura de cada uno de los módulos le pareció:

1	2	3	4	5	6	7
Muy poca			Adecuada		Demasiada	

2 - El número de módulos en que se organizó la asignatura le pareció:

1	2	3	4	5	6	7
Muy pequeño		Adecuado			Excesivo	

3 - Cuantas horas en promedio dedicó usted semanalmente a la asignatura desarrollada por medio de módulos?

4 - Logró comprender los objetivos de cada uno de los módulos

Si No

5 - El número de exámenes que tuvo que efectuar le pareció:

1	2	3	4	5	6	7
Muy pequeño		Adecuado			Excesivo	

6 - El tiempo que le concedían para efectuar los exámenes era:

1	2	3	4	5	6	7
Poco		Adecuado			Excesivo	

7 - Coincidían los exámenes con los objetivos de los módulos?

1	2	3	4	5	6	7
Nunca		Algunas veces			Siempre	

8 - El intervalo de tiempo que existió entre un examen dado y el siguiente, le pareció:

1	2	3	4	5	6	7
Poco		Adecuado			Excesivo	

9 - Recomendaría la metodología modular a un amigo suyo que ha destacado en cursos desarrollados con metodología tradicional?

Sí No

10 - Recomendaría la metodología modular a un amigo suyo que ha tenido dificultad en los cursos desarrollados con metodología tradicional?

Sí No

11 - En promedio, cuánto más o cuánto menos tiempo invirtió usted en la asignatura desarrollada con metodología modular que en una asignatura de contenido equivalente desarrollada con metodología tradicional?

1	2	3	4	5	6	7
Bastante menos tiempo en la modular		Aproximadamente igual tiempo			Mucho más tiempo en la modular	

12 - Con la metodología modular, el contacto personal que ha tenido usted con su profesor ha sido:

1	2	3	4	5	6	7
Menor que con la metodología tradicional		Igual que en la metodología tradicional			Mayor que en la metodología tradicional	

13 - Comparando la metodología modular con la tradicional, en cual de ellas cree usted que se desarrolla más su propia habilidad para aprender por usted mismo?

- | | | | | | | |
|-------|---|---------------|---|---|---------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Nunca | | Algunas veces | | | Siempre | |
- 20 - El número de horas de discusión de problemas que se realizaron durante el desarrollo de la asignatura fue:
- | | | | | | | |
|--------|---|----------|---|---|----------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Mínimo | | Adecuado | | | Excesivo | |
- 21 - La corrección de los exámenes por el monitor le pareció:
- | | | | | | | |
|---------|---|------------|---|---|-------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Injusta | | Intermedia | | | Justa | |
- 22 - Encontró usted al profesor dispuesto a ayudarle?
- | | | | | | | |
|-------|---|---------------|---|---|---------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Nunca | | Algunas veces | | | Siempre | |
- 23 - El conocimiento que el profesor tenía sobre el contenido de los módulos era:
- | | | | | | | |
|--------|---|----------|---|---|------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Mínimo | | Adecuado | | | Alto | |
- 24 - El interés del profesor en que usted aprendiera le pareció?
- | | | | | | | |
|-----------------------------------------|---|-----------------------------------------|---|---|-----------------------------------------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Menor que en la metodología tradicional | | Igual que en la metodología tradicional | | | Mayor que en la metodología tradicional | |
- 25 - En la asignatura que usted llevó con la metodología modular, su posición con respecto a sus compañeros, en lo que se refiere al avance en los módulos lo coloca a usted entre:

1	2	3	4	5	6	7
Los últimos de la clase		El término medio de la clase			Los adelantados de la clase	

26 - El número de actividades de dinámica de grupos que se realizaron durante el desarrollo de la asignatura fue:

1	2	3	4	5	6	7
Mínimo		Adecuado			Excesivo	

27 - Fueron útiles las actividades de dinámica de grupos?

1	2	3	4	5	6	7
Nunca		Algunas veces			Siempre	

28 - Encontró de utilidad el contenido de cada uno de los módulos?

1	2	3	4	5	6	7
Nunca		Algunas veces			Siempre	

29 - Los laboratorios estaban estructurados de acuerdo con el contenido de los módulos?

1	2	3	4	5	6	7
Nunca		Algunas veces			Siempre	

30 - El tiempo que le concedían para desarrollar los laboratorios era:

1	2	3	4	5	6	7
Poco		Adecuado			Excesivo	

31 - Escriba algunas sugerencias que usted crea conveniente, para mejorar el desarrollo de asignaturas que trabajen con la metodología modular: _____
