

24/169



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**DISEÑO DE UNA PRACTICA SOBRE BALANCES  
DE MATERIA Y ENERGIA PARA EL NUEVO  
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA QUIMICA**

**T E S I S**

Que para obtener el Título de:

**INGENIERO QUIMICO**

P r e s e n t a:

**MARIA ANGELICA RODRIGUEZ CERVANTES**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

1	GENERALIDADES	1
1.1	Nuevo Plan de Estudios	1
1.2	Balances de Materia y Energía	14
1.3	Importancia del Laboratorio	17
2	BALANCES DE MATERIA Y ENERGIA	22
2.1	Balance de Materia	22
2.2	Balance de Energía	23
2.3	Factor de Fricción	30
3	DESCRIPCIÓN DEL APARATO UTILIZADO PARA LA PRACTICA	33
3.1	Colocación	34
3.2	Equipos	36
3.2.1	Intercambiador de calor	36
3.2.2	Bomba tipo turbina	39
4	EXPERIMENTACION	43
4.1	Modificaciones al equipo	43
4.2	Toma de datos	43
4.2.1	Bomba	43
4.2.2	Intercambiador de calor	44
4.2.3	Medidor de flujo	44
4.2.4	Distancias	44
4.3	Datos	45
4.3.1	Prácticas sin transferencia de calor	45
4.3.2	Prácticas con transferencia de calor	45
4.4	Memoria de cálculo para la primera corrida con transferencia de calor.	46

4.5 Resultados	50
4.5.1 Resultados del sistema operado sin <u>trans</u> ferencia de calor	50
4.5.2 Resultados del sistema operado con <u>trans</u> ferencia de calor.	52
4.5.3 Gráficas	53
5 CONCLUSIONES	68
6 DISEÑO DE LA PRACTICA DE: BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA EN UN SISTEMA CON FLUJO Y TRANSFERENCIA DE CALOR.	70
Apéndice 1: Nomenclatura	86
Apéndice 2: Distinción entre <u>kilogramo-masa</u> y <u>kilo</u> gramo-fuerza	88
Apéndice 3: Dimensiones de diversas cantidades en tres sistemas de unidades fundamentales	92
BIBLIOGRAFIA	94

## I GENERALIDADES

Esta tesis tiene como objetivo el proponer una práctica para el curso de Laboratorio de la materia de Balances de Materia y Energía, esta práctica se encuentra bajo el nombre de Balances de Materia y Energía en un Sistema con Flujo y Transferencia de Calor

Se espera que esta tesis sea de gran utilidad en cuanto a su contenido.

Cabe hacer mención que esta materia es una de las materias más importantes de la carrera, ya que en ella se enseñan las bases para los demás cursos de ingeniería.

### 1.1. Nuevo Plan de Estudios. [1,2,3]

Los planes de estudios se hablan elaborado fundamentalmente en base a un factor: la experiencia profesional adquirida por los ingenieros mexicanos. Es decir, el hecho de que el cuerpo docente en el área de ingeniería química haya estado integrado por personal, que en términos generales haya adquirido experiencia precisamente en las actividades profesionales que reinaban en la época de los planes de estudio, ha servido de alguna forma, de unión de la Industria-Universidad. Pudiera decirse que las actividades que han aparecido en el campo profesional, una vez comunes a un buen número de ingenieros, han permitido el caracterizar o pretender caracterizar a priori al ingeniero químico, en términos de formación académica. :

En el año de 1916, siendo presidente de la República Don Venustiano Carranza se firmó el acta constitutiva de lo que se llamó la "Escuela Nacional de Química Industrial". Las carreras que en ella se crearon surgieron como apoyo a las industrias mineras y textil prevaleciente en esa época del despertar petrolero.

Tiempo después la escuela sería incorporada a la Universidad, debido a la búsqueda de una mejor utilización de los recursos naturales no renovables del país y ligada a la idea de construir un centro de investigación que actuara como cuerpo consultivo e intitución de difusión. Debido a ello cambió su nombre a "Facultad de --- Ciencias Químicas", que era la denominación que entonces se daba a las instituciones que integraban la Universidad.

En 1935 y de acuerdo al estatuto universitario vigente en esta época, la institución retomó el nombre de Escuela Nacional de Ciencias Químicas, e inició otra fase de evolución; la científica. En esta etapa se consideró que una escuela universitaria, debía dar al profesionista una formación de alto nivel científico, en congruencia con los requerimientos planteados por el proceso de industrialización que ya se vislumbraba en el país; con tal fin, se llevó a cabo una revisión de los planes de estudio, los cuales fueron modificados para ajustarlos a dicha idea.

En 1956, se plantea y se construye la escuela en los terrenos de Ciudad Universitaria y el traslado correspondiente se realiza en

1957.

Se producen cambios en los planes de estudio y se inician los estudios superiores en colaboración con el Departamento de Bioquímica de la Facultad de Medicina.

Con la reforma académica en la Universidad, iniciada en 1966, se llevan a cabo modificaciones en los sistemas y planes de estudio de la Facultad, en estos incidieron criterios provenientes del grado de desarrollo alcanzado hasta esa fecha por la ingeniería química en el país. Para aquel entonces el ejercicio profesional abarcaba principalmente actividades de operación de plantas, planeación y desarrollo, ventas, diseño de equipo e ingeniería de proyectos. Y fueron precisamente estos dos últimas actividades las que intervinieron en forma preponderante en el cambio del plan de estudio.

Esta formación que se ha buscado dar al egresado de ingeniería química se puede describir en términos de habilitar y capacitar en él, comprensión de los fenómenos químicos, físicos y fisicoquímicos que se llevan a cabo en los equipos e instalaciones de proceso, así como en el cálculo y dimensionamiento de los mismos, es decir, en el estudio por separado de cada una de las partes que constituye un proceso de transformación química. Y es precisamente este aspecto medular del antiguo plan de estudio que se pretende superar con el nuevo plan de estudio. La innovación central que presenta ahora el nuevo plan es el de formar ingenieros químicos con una visión integral de los procesos de transformación; el no limitarse al estudio

de los equipos por separado, sino el tener la capacidad de analizar y comprender para cada equipo, su función e interrelación con el -- resto de las partes del proceso. Todo lo cual quiere decir que el -- nuevo plan de estudios tiene como primordial finalidad el formar in ingenieros de proceso.

Para analizar la elaboración del nuevo plan de estudio comenza remos por definir que es la Ingeniería Química:

"La Ingeniería Química es la aplicación de los principios de -- la economía y de las relaciones humanas, a aquellos campos re-- lativos a procesos y equipos de proceso, en los cuales la mate ria es tratada para efectuar cambio en su estado, contenido de energía, composición o estructura química".

Analizando la definición, se puede concluir que el inge niero químico en su esencia está íntimamente relacionado con la inge niería de procesos.

Además de ser el ingeniero de procesos el que necesita el país para el desarrollo y adaptación de tecnología en las áreas de petro química, energéticos, plásticos, papel y celulosa, contaminación am biental, etc. Dichas áreas son las prioritarias en el desarrollo fu turo del país.

Con esto, el progreso tecnológico determina la capacidad de --

las técnicas para absorber mano de obra, afecta la conservación, - utilización y destrucción de los recursos naturales, y repercute en la calidad de vida de la población a través de la contaminación del medio ambiente.

Por ejemplo, una estrategia tecnológica para la producción de energía afecta el uso de carbón, petróleo, uranio y de las fuentes geotérmicas e hidráulicas disponibles en un país.

He aquí la importancia del enfoque del nuevo plan de estudios para la carrera de Ingeniería Química.

Para el nuevo plan de estudios se analizaron las principales carencias del antiguo plan de estudios, las cuales se enlistan enseguida:

- a) Se requiere de una mayor homogeneidad en el enfoque de la preparación de profesionistas en diversas áreas.
- b) Se requiere de más integración en el conocimiento, lo que ha originado que los egresados tengan conocimientos aislados de las diversas materias, pero sin capacidad para integrarse en la resolución de problemas, como en el área de Ingeniería de Proyectos y de Procesos que particularmente así lo requieren.

- c) Incremento innecesario en el aspecto informativo de muchas materias, en algunos temas demasiado particulares o sofisticados que rara vez tienen aplicación en el desarrollo de la profesión a nivel de Ingeniero Químico.
- d) Falta de algunas materias tales como Ingeniería de Proyectos entre otras.
- e) Se requiere de más énfasis en la enseñanza de materias estructurales y de apoyo, como serían las siguientes:  
Conocimientos sobre la determinación de propiedades termodinámicas, estimación de costos, selección de materiales de construcción, evaluación económica de equipos, química de los procesos, matemáticas aplicadas, etc.
- f) Inclusión de las materias de Computación y Programación, así como de fenómenos de Transporte como obligatorias, desde los semestres iniciales.
- g) Se presenta en muchas materias un divorcio entre la enseñanza teórica y la experimental; a esta última se le considera además de una importancia secundaria.

Por lo tanto habiendo encontrado estas carencias, lo que se --

buscó fue que se definiera en cada una de las áreas los objetivos y el enfoque deberlan tener para apoyo de la carrera; además de una relación más estrecha entre cada una de las materias. Así como la incursión debido a su importancia en la Ingeniería Moderna, de algunas materias que en el plan de estudios anterior eran optativas y se turnaron obligatorias para el nuevo plan de estudios.

Para la elaboración del nuevo plan de estudios se planteó la materia de Ingeniería de Proyectos como etapa terminal, en la cual el objetivo es el de formar un ingeniero de procesos, que integre los principales conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera. En esta materia se apoyará al estudiante con un grupo de asesores, especialistas en diferentes temas, para supervisar periódicamente el trabajo realizado.

Después se procedió a ordenar y seriar materias que fuesen necesarias para la etapa terminal, esto se hizo en dirección de los últimos semestres hacia los primeros.

A continuación se presenta el Plan de Estudios de 1987 (anterior) y el de 1988 (nuevo) de la Carrera de Ingeniería Química:

# FACULTAD DE QUIMICA

## PLAN DE ESTUDIOS DE LA CARRERA DE INGENIERO QUIMICO "21"

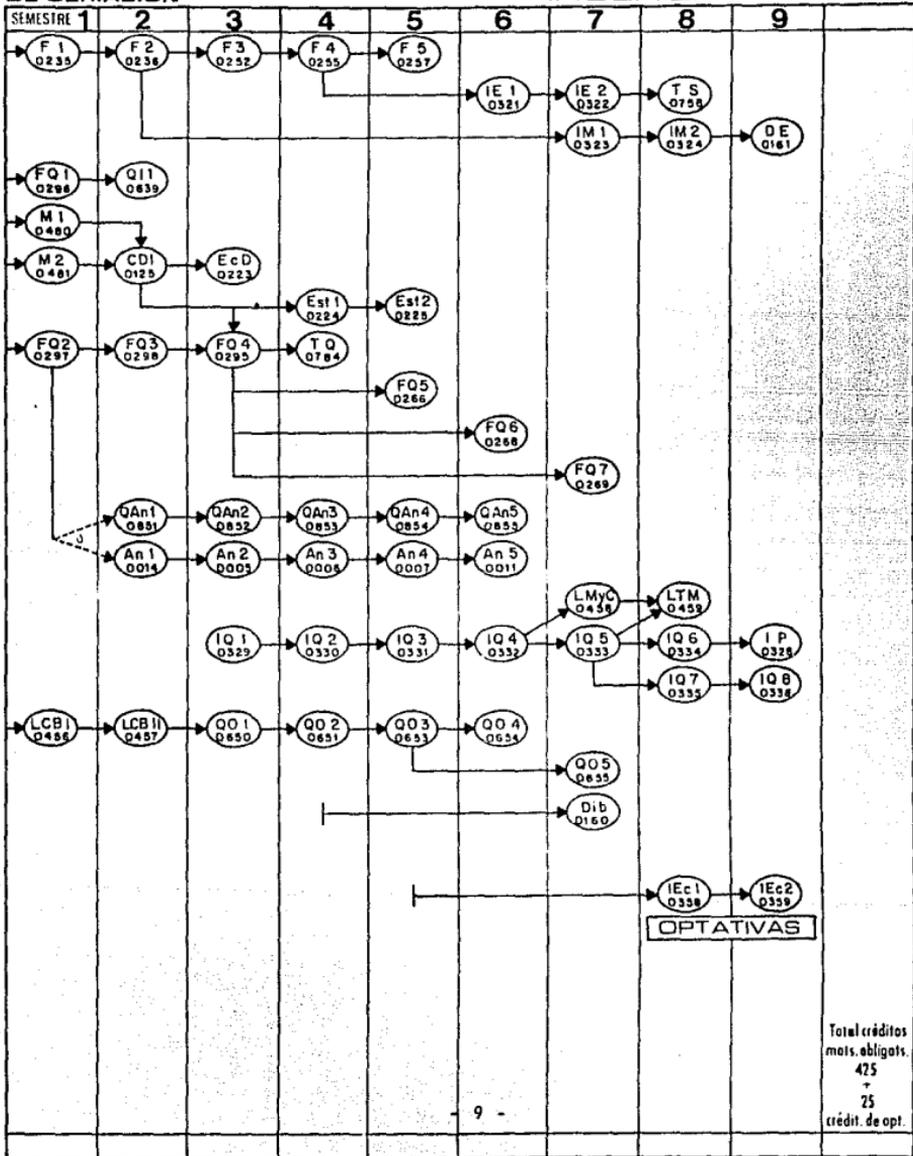
MATERIAS OBLIGATORIAS	425	CREDITOS
MATERIAS OPTATIVAS	75	CREDITOS
TOTAL	500	CREDITOS

CLAVE	MATERIA	CREDITOS	CLAVE	MATERIA	CREDITOS
<b>PRIMER SEMESTRE</b>			<b>OCTAVO SEMESTRE</b>		
0235	FISICA I	6	0758	TECNOLOGIA DE SERVICIOS	5
0296	FISICOQUIMICA I	6	0324	INGENIERIA MECANICA II	6
0480	MATEMATICA I	4	0459	LAB. DE TRANSP. DE MASA	4
0481	MATEMATICA II	6	0334	INGENIERIA QUIMICA VI	12
0297	FISICOQUIMICA II	6	0335	INGENIERIA QUIMICA VII	12
0456	LABORATORIO DE CIENCIA BASICA I	10	0358	INGENIERIA ECONOMICA I OPTATIVA	6
<b>SEGUNDO SEMESTRE</b>			<b>NOVENO SEMESTRE</b>		
0236	FISICA II	6	0181	DISEÑO DE EQUIPO	6
0639	QUIMICA INORGANICA I	5	0326	INGENIERIA DE PROCESOS	6
0125	CALCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL	12	0336	INGENIERIA QUIMICA VIII	12
0298	FISICOQUIMICA III	6	0359	INGENIERIA ECONOMICA II OPTATIVA	6
*	ANALISIS I O QUIMICA ANALITICA I (ver diagrama de seriación)				
0457	LABORATORIO DE CIENCIA BASICA II	10			
<b>TERCER SEMESTRE</b>			<b>ASIGNATURAS OPTATIVAS</b>		
0252	FISICA III	8	El parentesis indica antecedente necesario		
0223	ECUACIONES DIFERENCIALES	10	0019	AZUCAR I	8
0295	FISICOQUIMICA IV	9	0020	AZUCAR II (0019)	8
*	ANALISIS II O QUIMICA ANALITICA II (ver diagrama de seriación)		0122	COMPUTACION ELECTRONICA Y PROGRAMACION I	6
0329	INGENIERIA QUIMICA I	6	0123	COMPUTACION ELECTRONICA Y PROGRAMACION II	6
0850	QUIMICA ORGANICA I	10	0129	CALCULO AVANZADO (0125)	6
<b>CUARTO SEMESTRE</b>			0162	DISEÑO DE EXPERIMENTOS	6
0255	FISICA IV	8	0183	DIRECCION DE EMPRESAS	6
0274	ESTADISTICA I	8	0249	FENOMENOS DE TRANSPORTE	6
0784	TERMODINAMICA QUIMICA	8	0327	INGENIERIA NUCLEAR	6
*	ANALISIS III O QUIMICA ANALITICA III (ver diagrama de seriación)		0339	INSTRUMENTACION INDUSTRIAL	6
0330	INGENIERIA QUIMICA II	6	0355	INGENIERIA AMBIENTAL I	6
0851	QUIMICA ORGANICA II	10	0356	INGENIERIA AMBIENTAL II (0355)	6
<b>QUINTO SEMESTRE</b>			0487	ANALISIS V O QUIMICA ANALITICA V MATEMATICAS SUPERIORES EN INGENIERIA QUIMICA	6
0257	FISICA V	8	0575	OPTIMIZACION	6
0275	ESTADISTICA II	8	0600	PAPEL Y CELULOSA I	6
0266	FISICOQUIMICA V	9	0601	PAPEL Y CELULOSA II (0600)	6
*	ANALISIS IV O QUIMICA ANALITICA IV (ver diagrama de seriación)		0604	PLASTICOS Y SILICONES I	6
0331	INGENIERIA QUIMICA III	12	0605	PLASTICOS Y SILICONES II	6
0553	QUIMICA ORGANICA III	10	0609	PROCESOS PETROQUIMICOS	6
<b>SEXTO SEMESTRE</b>			0812	PLANEAACION Y DESARROLLO IND	6
0321	INGENIERIA ELECTRICA I	6	0835	QUIMICA DE LOS MATERIALES CERAMICOS	6
0268	FISICOQUIMICA VI	9	0681	RELACIONES HUMANAS	6
*	ANALISIS V O QUIMICA ANALITICA V (ver diagrama de seriación)		0720	SEGURIDAD INDUSTRIAL	6
0332	INGENIERIA QUIMICA IV	12	0723	SIMULACION DE PROCESOS I	6
0854	QUIMICA ORGANICA IV	10	0724	SIMULACION DE PROCESOS II (0723)	6
<b>SEPTIMO SEMESTRE</b>			0760	TECNOLOGIA DE ALIMENTOS	6
0327	INGENIERIA ELECTRICA II	6	0787	TRATAMIENTO DE AGUAS	6
0323	INGENIERIA MECANICA I	6	0788	TOPICOS SELECTOS DE LA PRACTICA - DEL INGENIERO QUIMICO	66
0269	FISICOQUIMICA VII	9			
0404	LAB. DE MOMENTUM Y CALOR	4			
0333	INGENIERIA QUIMICA V	12			
0855	QUIMICA ORGANICA V	10			
0140	INGENIERIA QUIMICA VI	6			

\*Puede escoger la línea de Análisis ó de Química Analítica, cada serie tiene 28 créditos

DIAGRAMA DE SERIACION

INGENIERO QUIMICO



Total créditos  
 mats. obligat.  
 425  
 +  
 25  
 crédito de opt.



# FACULTAD DE QUÍMICA

## PLAN DE ESTUDIOS 1988 DE LA CARRERA DE

### INGENIERÍA QUÍMICA



CLAVE 2188

ASIGNATURAS OBLIGATORIAS	(45)	415 CRÉDITOS
ASIGNATURAS OPTATIVAS (OBLIGATORIAS DE ELECCIÓN)	( 2)	16 CRÉDITOS
<b>TOTAL DE ASIGNATURAS</b>	<b>(47)</b>	<b>431 CRÉDITOS</b>

CLAVE	ASIGNATURA	CRÉDITOS	CLAVE	ASIGNATURA	CRÉDITOS
<b>PRIMER SEMESTRE</b>			<b>SÉPTIMO SEMESTRE</b>		
1101	CÁLCULO DE FUNCIÓN DE UNA VARIABLE	8	1717	CINÉTICA QUÍMICA Y CATALISIS	10
1102	ÁLGEBRA	8	1713	SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS	10
1103	DINÁMICA Y DINÁMICA	8	1714	PROCESOS DE SEPARACIÓN II	12
1104	QUÍMICA GENERAL	20	1718	SELECCIÓN Y ESPECIFICACIÓN DE EQUIPO	8
			1719	INGENIERÍA ECONÓMICA I	8
			1710	INGENIERÍA AMBIENTAL	8
<b>SEGUNDO SEMESTRE</b>			<b>OCTAVO SEMESTRE</b>		
1201	CÁLCULO DE FUNCIÓN DE VARIAS VARIABLES	8			
1202	ECUACIONES DIFERENCIALES	8	1813	INGENIERÍA DE REACTORES	12
1213	ESTÁTICA	8	1814	DINÁMICA Y CONTROL DE PROCESOS	10
1204	ESTRUCTURA DE LA MATERIA	8	1818	INGENIERÍA DE SERVICIOS	6
1207	TERMODINÁMICA	11	1801	INGENIERÍA ECONÓMICA II	8
1209	PROGRAMACIÓN Y COMPUTACIÓN	8		OPTATIVA	8
			1901	ADMINISTRACIÓN INDUSTRIAL	8
<b>TERCER SEMESTRE</b>			<b>NOVENO SEMESTRE</b>		
1303	ELECTROMAGNETISMO	8	1913	INGENIERÍA DE PROYECTOS	30
1304	QUÍMICA INORGÁNICA	8		OPTATIVAS	8
1317	PROPIEDADES TERMODINÁMICAS	10	1919	RELACIONES HUMANAS EN LA EMPRESA	5
1303	BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA	12	1910	SEGURIDAD INDUSTRIAL	8
1306	FENÓMENOS DE TRANSPORTE	8			
<b>CUARTO SEMESTRE</b>			<b>PAQUETES OPTATIVOS</b>		
1402	ESTADÍSTICA	8			
1305	QUÍMICA ORGÁNICA I	9		<b>POLÍMEROS</b>	
1403	FLUJO DE FLUIDOS	10	1010	POLÍMEROS I	8
1417	EQUILIBRIO FÍSICO	10	1011	POLÍMEROS II	8
1418	INGENIERÍA MECÁNICA	8			
1409	MÉTODOS NUMÉRICOS	8		<b>MATERIALES</b>	
			1012	MATERIALES I	8
			1013	MATERIALES II	8
<b>QUINTO SEMESTRE</b>					
1405	QUÍMICA ORGÁNICA II	9		<b>ENERGÉTICOS</b>	
1517	EQUILIBRIO QUÍMICO	10	1014	ENERGÉTICOS I	8
1518	ANÁLITICA I	10	1015	ENERGÉTICOS II	8
1513	TRANSFERENCIA DE CALOR	12			
1518	INGENIERÍA ELÉCTRICA	8		<b>PETROQUÍMICA</b>	
			1016	PETROQUÍMICA I	8
			1017	PETROQUÍMICA II	8
<b>SEXTO SEMESTRE</b>					
1611	ELECTROQUÍMICA	10			
1613	QUÍMICA DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES	8			
1617	FENÓMENOS DE SUPERFICIE	10			
1616	ANÁLITICA II	10			
1613	PROCESOS DE SEPARACIÓN I	12			

**DIAGRAMA DE SERIACIÓN**

**INGENIERÍA QUÍMICA CLAVE 2188**

I			II			III			MÓDULO
1	2	3	4	5	6	7	8	9	SEMESTRE
			REQUISITOS PARA INSCRIPCIÓN 75% DE CREDITOS DEL MÓDULO I			REQUISITOS PARA INSCRIPCIÓN 100% DE CREDITOS DEL MÓDULO I Y 50% DE CREDITOS DEL MÓDULO II			ÁREA ACADÉMICA
CPV 1201	CPV 1201								MAT.
ALB 1302	ED 1202		EST 1302						
CD 1303	EST 1213	ELM 1303							FÍSICA
OR 1304	EM 1204	OI 1304	OOI 1305	OOI 1405	OPI 1615				QUÍM.GEN.
					ELG 1611				
	TER 1207	PT 1317	EGP 1417	EG 1517	FB 1417	CCG 1717			F.Q.
				ANI 1518	AKR 1818				Q.A.
		MAE 1307	FEL 1403	TC 1513	PSI 1613	SOP 1713	IR 1813	SPY 1913	ING.
		PT 1308				PSJ 1714	DCP 1814		
			MA 1419	IE 1518		SZE 1719	IS 1818		ING.
						ECJ 1718	ECA 1807		
						IAAP 1716		SI 1916	
							AJ 1901		
	PC 1206	MH 1408						RH 1918	AUX.
						OPTATIVAS			
						1010	→	1011	
						1012	→	1013	
						1014	→	1015	
						1018	→	1017	
44	49	47	49	47	48	50	48	49	TOTAL DE CREDITOS

El nuevo plan de estudios de 9 semestres consta de 47 asignaturas, de las cuales 45 son obligatorias y 2 optativas. Las materias optativas vienen en 4 grupos que son los siguientes: polímeros, materiales, energéticos y petroquímica; de dos materias seriadas cada una.

El plan de estudio agrupa las materias por área académicas, - Estas son: matemáticas, física, química general, fisicoquímica, química analítica, ingeniería y materias auxiliares.

Los semestres están calculados para que el alumno permanezca en promedio 30 horas a la semana en clases teóricas y prácticas.

Del plan de estudios, se debe distinguir el área de ingeniería química, la cual se encuentra en línea directa con la Ingeniería de Proyectos. Esta columna, aporta como novedad la inclusión de un curso de Fenómenos de Transporte -fundamentación fenomenológica de las operaciones unitarias-, dos cursos de procesos de separación -nuevo enfoque sistemático de las operaciones difusionales y mecánicas-, la síntesis, el diseño y el desarrollo de procesos.

El último semestre de la carrera está dedicado casi exclusivamente a la materia integradora Ingeniería de Proyectos. En esta materia el estudiante llevará a cabo la evaluación económica, el diseño y el cálculo de los equipos principales de un proceso siguiendo los pasos que se siguen en una firma de diseño.

En los semestres octavo y noveno se llevarán dos materias de una área de especialización que se escoja.

En el área de fisicoquímica, pueden distinguirse tres aspectos; los fundamentos de la termodinámica y su empleo en los equilibrios físico y químico, la fisicoquímica analítica, y el estudio de los fenómenos fuera del equilibrio como son los procesos electroquímicos, la cinética química y la catálisis.

En el área de química general pueden notarse dos aspectos: uno de ellos al inicio de la carrera de carácter formativo y otro terminal que persigue poner de relieve el papel determinante que juega el fenómeno químico en el diseño y la operación de los procesos industriales.

En el área de matemáticas, se puede observar un mayor énfasis en la enseñanza del cálculo, que es una de las herramientas principales del ingeniero.

Por lo que el área de física se incluyen sólo materias para impartir los conocimientos previos necesarios para los cursos de ingeniería química y las materias auxiliares. Estas son cinemática y dinámica, estática y electromagnetismo.

Para las ingenierías auxiliares se encuentran además de las que se imparten tradicionalmente ingeniería ambiental, selección y

especificación de equipo, y administración industrial.

A diferencia del plan de estudio anterior, ahora la mayoría de las materias de ingeniería contarán con su materia de laboratorio - (balances de materia y energía, transferencia de calor, procesos de separación, etc.)

## I.2. Balances de Materia y Energía [1, 3]

Con el nuevo plan de estudios surge una nueva materia llamada Balances de Materia y Energía, la cual en equivalencia del plan anterior, corresponderá a la materia de Ingeniería Química I y II.

Entre los objetivos que deben alcanzar los alumnos al finalizar el curso están:

- Aplicarán la simbología básica en Ingeniería Química.
- Aplicarán los sistemas de unidades y los utilizarán indistintamente.
- Harán correctamente transformaciones entre los diferentes sistemas de unidades.
- Representarán diagramáticamente el enunciado de un problema de balance de materia y de energía.
- Interpretarán correctamente diagramas simples de balances de materia y energía.
- Describirán los fundamentos teóricos de la transformación de

sica y química de la materia para su cuantificación.

- Seleccionarán la metodología particular para resolver problemas tipo.
- Efectuarán correctamente balances de materia y de energía -- con sus diferentes variantes, según el sistema de referencia.
- Efectuarán balances de materia y energía con datos experimentales obtenidos en el laboratorio.

Esta materia cuenta con 12 créditos; 4 horas de teoría, 2 horas de prácticas (laboratorio) y 2 horas de problemas a la semana.

La materia contiene las siguientes unidades:

- 1 La importancia del balance de materia en el ejercicio profesional del ingeniero químico en la industria de proceso.
- 2 Lenguaje básico. Unidades y dimensiones.
- 3 Descripción y aplicación de las variables de proceso más usadas en balances de materia y de energía.
- 4 Ley de conservación de materiales. Sistemas y procesos. Ecuación de continuidad, Inventarios.
- 5 Balances de materia y de energía en casos simples sin reacción química con problemas de aplicación de operaciones unitarias.
- 6 Estequiometría industrial y cálculos más comunes en reacciones

químicas simples.

- 7 Balances de materia y de energía con reacción química en procesos unitarios.
- 8 Balances de materia y energía con recirculación y derivación - sin recirculación química y con reacción química.
- 9 Energía.
- 10 Conservación de la energía y expresión general de balance.
- 11 Tipos de procesos.
- 12 Aplicación de la ecuación general de balance de energía a flujos de fluidos.
- 13 Transferencia de calor.
- 14 Operación Aire-Agua.
- 15 Mezclado y evaporación
- 16 Balances de energía en sistemas con reacción química.

### 1.3. Importancia del Laboratorio

El laboratorio de ingeniería química de la Facultad de Química se empezó a formar alrededor de los cuarenta, como parte integrante de la antigua Escuela Nacional de Ciencias Químicas y por gestiones de los profesores Constantino Alvarez, Mario Velasco y Alejandro Félix; cuando los profesores de teoría eran Antonio Guerrero y Alberto Urbina.

La primera etapa se dedicó a la realización de prácticas de flujo de fluidos, transferencia de calor y evaporación. Entre 1953 y 1955, con motivo del cambio del sistema universitario hacia Ciudad Universitaria tomó interés muy grande dentro de la escuela, el proyecto de construcción de un nuevo local para el laboratorio de ingeniería química.

Las prácticas se comenzaron a impartir en las nuevas instalaciones desde 1962, año en el que el Ing. Mario Velasco hizo los cambios necesarios en los equipos para que quedasen en buenas condiciones para efectuar prácticas en ellos.

En aquel entonces los grupos que hacían prácticas eran los dos que llevaban el cuarto año de la carrera, siendo los profesores de teoría, los ingenieros Alberto Urbina y Alberto Bremauntz.

A partir de entonces, el laboratorio se siguió enriqueciendo con nuevos equipos y aparatos.

Durante la dirección del Dr. José F. Herrán el laboratorio de Ingeniería Química sufrió numerosos cambios y modificaciones - con el objetivo de agilizar y modernizar la enseñanza de las prácticas, en 1970.

En junio de 1976 se concedió el carácter de materia obligatoria independiente de la teoría y con créditos propios. De aquí se instituyeron las materias de Laboratorio de Momentum y Calor, y el laboratorio de Transferencia de Masa. Teniendo como objetivo la enseñanza práctica de la Ingeniería Química de tal manera que el alumno aplique sus conocimientos a equipos reales y adquiera la habilidad -- necesaria para manejarlos, obtener datos experimentales y a partir del análisis de éstos, sacar conclusiones acerca del funcionamiento de los aparatos o para determinar algunas variables de diseño. Este objetivo continuará para este nuevo plan de estudios, - lo que se pretende ahora es que el laboratorio se lleve conjuntamente con los cursos de teoría, no independientemente como se llevaba en el antiguo plan de estudios.

Al trabajo de laboratorio, no se le ha dado la importancia - que tiene; ya que se ha visto mermado por los mismos profesores - de teoría y por consecuencia por nosotros los alumnos, los cuales vemos al laboratorio como una materia que se debe acreditar, ya - que era una materia obligatoria; pero no la vemos como la materia que fundamenta en gran medida los conocimientos que recibimos, -- tanto en los salones de clase como en los libros en los cuales es

tudiamos.

Es conveniente recordar que la mayoría de los datos en los - que se basa un ingeniero químico para sus cálculos, ya sean propiedades, constantes, algunas tablas, han sido obtenidas en el laboratorio. Y que es ahí donde se podrán encontrar ratificaciones o rectificaciones para datos o fórmulas que se han obtenido experimentalmente o que simplemente se puede encontrar algo nuevo.

También, lo que sucede, es que todo lo queremos encontrar en fórmulas de los libros, sin contar que estas fórmulas son aproximaciones de los datos reales.

El aprendizaje a través del laboratorio presenta la desventaja de que es tardado, ya que se debe de disponer tiempo para hacer las prácticas como para el tratamiento de datos que se debe hacer para tener un conocimiento efectivo, mientras la teoría permite - la transmisión de conocimientos en menos tiempo, aunque no garantiza su asimilación.

Por lo que lo más conveniente, es que tanto la una como la otra se lleven a cabo paralelamente, para que así el alumno tenga la posibilidad de aprender y asimilar lo que se le enseña.

Los objetivos del laboratorio son:

- a) Enlazar la teoría y el mundo real.
- b) Proporcionar al alumno la visión de como el cambio de variables afecta a un proceso.
- c) Proporcionar enseñanza en el área de la aplicación es decir, orientar las prácticas a la aplicación de conocimientos. O sea, hacer que el alumno aplique a una situación algo que ha aprendido antes.
- d) Proporcionar enseñanza en el área de análisis. Es decir, - orientar las prácticas al comportamiento de equipos.
- e) Proporcionar el conocimiento descriptivo de algunos equipos, y sus partes.

Para el nuevo plan de estudios, como ya lo hemos mencionado, se implanta la materia de Balances de Materia y Energía con un laboratorio de 2 horas.

Para este laboratorio, se están diseñando una serie de prácticas, para que vayan paralelamente con el curso de teoría.

Entre las prácticas propuestas para la materia de Balances de Materia y Energía, están:

1. Introducción al laboratorio de Ingeniería Química
2. Importancia de la seguridad

3. Medición de presión, temperatura y volumen.
4. Medición de concentración y flujos.
5. Análisis dimensional.
6. Balances de masa a régimen permanente.
7. Balances de masa a régimen no permanente.
8. Balances de masa con recirculación.
9. Balances de materia con reacción química.
- \*10. Balance de materia y energía en un sistema con flujo y transferencia de calor.
11. Vapor.
12. Balances de materia y energía en una torre de enfriamiento de agua.
13. Balance de materia y energía en una caldera.
14. Balance de materia y energía a régimen no permanente.
15. Balances de materia y energía.
16. Ciclos.

Como se puede apreciar este programa de prácticas, está constituido para que haya una interrelación entre lo que se enseña en teoría y su aplicación en el laboratorio.

El objetivo de esta tesis, es precisamente el diseño de una práctica sobre balances de materia y energía para el nuevo plan de estudios. La práctica seleccionada\*, corresponde a la número 10, que se llama, Balance de materia y energía en un sistema con flujo y transferencia de calor.

## 2 BALANCES DE MATERIA Y ENERGIA

### 2.1 Balance de Materia<sup>[4, 8]</sup>

El balance de materia es simplemente una contabilidad de masa. Las leyes de la conservación de la masa establecen que en un sistema aislado dado, la masa del sistema permanece constante, a pesar de los cambios que se lleven a cabo en el sistema, esta es la base de los llamados balances de materia de un proceso.

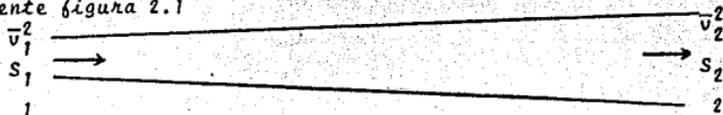
Esta ley se cumple en ingeniería siempre que no se lleve a cabo reacciones nucleares o que los materiales se muevan a velocidad próxima a la velocidad de la luz.

La ley de la conservación de la masa puede escribirse de la siguiente manera:

$$\text{ENTRADA} = \text{SALIDA} + \text{ACUMULACION} \quad (1)$$

Para operaciones de estado estacionario, la acumulación es cero.

Consideremos ahora un aparato como el que se muestra en la siguiente figura 2.1



Para este sistema bajo las restricciones del estado estacionario la ecuación (1) se puede expresar de la siguiente manera: [4]

$$w_1 = w_2 = \frac{\bar{v}_1 S_1}{V_1} = \frac{\bar{v}_2 S_2}{V_2} = G_1 S_1 = G_2 S_2 \quad (2)$$

Donde :

$w$  = gasto másico

$\bar{v}$  = velocidad promedio

$S$  = sección transversal del área de flujo

$V$  = volumen específico del material

$G$  = masa velocidad

La ecuación (2) establece que la suma de masas que entran es igual a la suma de las que salen. A esta ecuación se le conoce -- con el nombre de la ecuación de continuidad.

## 2.2 Balances de Energía

Los científicos no comenzaron a escribir balances de energía para sistemas físicos hasta la última mitad del siglo diecinueve. Antes de 1850 no estaban seguros de lo que era la energía incluso si esta era importante. Pero en los años de 1850 el concepto de -- energía y el balance de energía llegaron a ser claramente formulados.

Hoy en día se considera que el balance de energía es en conjunción con el balance de materia de gran importancia en problemas de diseño y operación de procesos.

De acuerdo con el principio de la conservación de la energía, también llamada la primera ley de la termodinámica (la energía -- puede ser transformada de una forma a otra, no puede ser destruida, y la energía total del universo es constante), la energía es indestructible, y la cantidad total de energía que entra a un sistema debe ser igual a la que sale, más cualquier acumulación dentro del sistema. [5,6]

Una expresión matemática o numérica de este principio se llama un balance de energía.

La definición de un sistema de flujo abierto bajo las condiciones del estado estable requiere que: [4,7]

1. El flujo que fluye al sistema como el que sale del sistema sean uniformes en cuanto a propiedades y velocidad y además que sean invariantes con el tiempo. Las condiciones de entrada y de salida no tendrán que ser idénticas forzosamente.
2. Las propiedades físicas del flujo en cualquier punto del sistema sean constantes con respecto al tiempo.

po.

3. La cantidad de masa que entra y que sale del sistema sean constantes.

4. El calor añadido y el trabajo dado sean constantes.

Para el balance de energía, se desprecian las energías electrostáticas y magnéticas. Las energías consideradas son:

1) La energía que depende del fluido: i.e.

a) La energía interna

2) La energía llevada por el fluido debido a su estado de -- movimiento o posición

a) La energía de movimiento o cinética externa

b) La energía de posición o potencial externa

c) La energía de presión.

3) La energía transmitida entre un fluido o sistema en movimiento y su entorno.

a) Calor

b) Trabajo

Ilustrando en la Fig. 2.2 las energías que entran y salen de un sistema, como se muestra a continuación: [4,8,9]

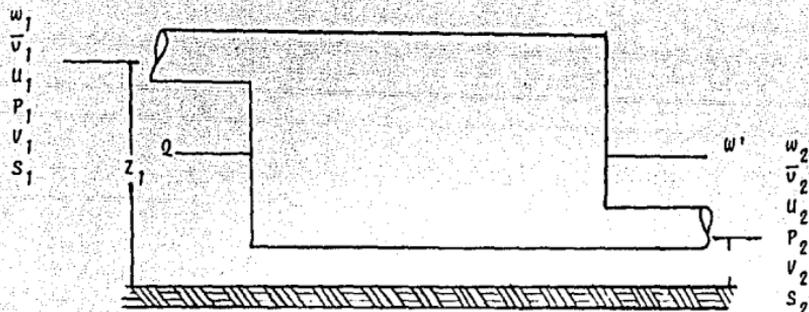


Fig. 2.2

- |                                     |                           |
|-------------------------------------|---------------------------|
| $w$ = gasto másico                  | $S$ = sección transversal |
| $\bar{v}$ = velocidad promedio      | $Q$ = calor               |
| $U$ = energía interna               | $W'$ = trabajo            |
| $P$ = presión absoluta              | $Z$ = altura              |
| $V$ = volumen específico del fluido |                           |

- La energía interna  $U$ , incluye a todas las energías peculiares de los fluidos, sin consideración de sus posiciones o movimientos relativos.

- La energía de movimiento o cinética externa, es la energía que tiene un cuerpo en movimiento por unidad de masa.

$$E_c = \frac{\bar{v}^2}{2g_c} \quad (3)$$

$g_c$  = factor de transformación

Ahora bien, debido a que la distribución de velocidades en un ducto tiene efecto sobre la energía cinética promedio es preciso incluir un factor de corrección  $\alpha$  que es función del número

de Reynolds. Para flujos completamente turbulentos puede considerarse  $\alpha = 1$ .

Por lo tanto el incremento queda dado como:

$$\Delta E_c = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g_c} \quad (4)$$

- La energía de posición o potencial  $E_z$  es la energía debida a la posición que guarda un cuerpo sobre el nivel de referencia.

$$E_z = gZ \quad (5)$$

Para obtener las unidades de energía por unidad de masa (FLM) en un sistema gravitatorio, dividimos entre  $g_c$  y obtenemos:

$$\Delta E_z = E_{z_2} - E_{z_1} = \frac{g}{g_c} [Z_2 - Z_1] = \frac{g}{g_c} \Delta Z \quad (6)$$

- La energía de presión PV es la energía que acarrea el material debido a su introducción o salida de un flujo bajo presión, siendo P la presión absoluta ejercida por el fluido y V su volumen.

Si consideramos que;

$$\Delta(PV) = \int_{V_1}^{V_2} P dV + \int_{P_1}^{P_2} V dP \quad (7)$$

y por lo general que trabajamos con fluidos incomprensibles y a densidad constante, nos quedará, que el primer término de la ecuación (7) valga cero y solo nos interese para su evaluación el segundo término.

$$PV = \int_{P_1}^{P_2} v dP$$

Donde:

$$v = \text{volumen por unidad de masa} = \frac{1}{\rho}$$

Por lo que queda:

$$PV = \int_{P_1}^{P_2} \frac{dP}{\rho} = \frac{P_2 - P_1}{\rho} \quad (8)$$

- Calor  $Q$ , el término calor se utiliza para referirnos a la energía en tránsito de un cuerpo a otro, debido a una diferencia de temperaturas entre dos cuerpos.

El calor con el que vamos a trabajar lo llamamos calor neto y lo definiremos de la siguiente manera:

$$Q = Q_{\text{entrante}} - Q_{\text{saliente}}$$

- Trabajo  $W$ , es el trabajo que se le da al material fluyente y lo consideramos como trabajo neto.

Efectuando un balance de energía en el sistema de flujo de la Fig. 2.2, tenemos: [4, 10, 11]

$$u_1 + \frac{\bar{v}^2}{2g_c} + z_1 \frac{g}{g_c} + P_1 V_1 + Q = u_2 + \frac{\bar{v}^2}{2g_c} + z_2 \frac{g}{g_c} + P_2 V_2 + W' \quad (9)$$

Este balance está hecho por unidad de masa. La suma de los términos de la izquierda, representan la energía transferida al sistema, y los términos de la derecha significan la energía transferida del sistema o por el sistema a los alrededores.

La validez de la ecuación es rigurosa para el estado estacionario. Escribiéndola en forma diferencial, quedaría:

$$du + d(PV) + d\left(\frac{g}{g_c} z\right) + \frac{\bar{v}d\bar{v}}{g_c} = \int Q - \int W' \quad (10)$$

y en forma integral:

$$\Delta u + \Delta(PV) + \frac{g}{g_c} \Delta z + \Delta\left(\frac{\bar{v}^2}{2g_c}\right) = Q - W'$$

(11)

Para ponerlo en función de la entalpía consideraremos primero que  $\Delta H = \Delta u + \Delta(PV)$

$$\Delta H + \Delta\left(\frac{\bar{v}^2}{2g_c}\right) + \frac{g}{g_c} \Delta z = Q - W' \quad (12)$$

Reacomodando nos queda:

$$\Delta H = Q - W' - \Delta \left( \frac{\bar{v}^2}{2g_c} \right) + \frac{g}{g_c} \Delta Z \quad (13)$$

Esto es una forma conveniente de expresar la ecuación (12) ya que los términos de la derecha de la ecuación 13 pueden medirse directamente en el equipo instalado en el laboratorio de Ingeniería Química.

### 2.3 Factor de Fricción

La fricción del fluido tiene lugar en cualquier parte en donde exista una tensión sobre el fluido. La fricción convierte la energía mecánica en calor, así habrá una pérdida de energía en forma de calor.

Si tenemos que:

$$Q = Q_{\text{entrante}} - Q_{\text{saliente}} \quad (14)$$

y además que

$$Q_{\text{saliente}} = Q_{P,C,R,Co} + F \quad (15)$$

Sustituyendo (16) en (15)

$$Q = Q_{\text{entrante}} - [Q_{P,C,R,Co} + F] \quad (16)$$

Donde:

$Q_{P,C,R,Co}$  = son las pérdidas de calor en una tubería por conducción, radiación y convección.

$\Sigma F$  = pérdidas por fricción.

Para nuestra práctica consideraremos despreciable el término  $Q_{P_C, R, Co}^*$ , debido a que su valor numérico es pequeño; por lo que la ecuación (16) se puede expresar de la siguiente manera:

$$Q = Q_{\text{entrante}} - \Sigma F \quad (17)$$

Ahora substituyendo en la ecuación (12)

$$\Delta H + \Delta \left( \frac{\bar{v}^2}{2g_c} \right) + \Delta Z \frac{g}{g_c} = Q_{\text{entrante}} - \Sigma F - W' \quad (18)$$

En casos reales la fricción del fluido es una función de la aspereza de la tubería, el tamaño de la misma, las propiedades del fluido y la velocidad del mismo.

La expresión más usada para la evaluación de este término es la ecuación de Fanning:

$$\Sigma F = \frac{2\bar{v}^2 L_{eq}}{2g_c D} f' \quad (19)$$

Donde:

- $L_{eq}$  = longitud equivalente
- $\bar{v}$  = velocidad promedio
- $f'$  = factor de fricción de Fanning
- $D$  = diámetro interno
- $g_c$  = factor de transformación

El término  $L_{eq}$  se evalúa de la siguiente manera:

$$L_{eq} = L_{\text{tubería recta}} + L_{\text{eq. accesorios}} \quad (20)$$

\*La información referente a la evaluación de las pérdidas de calor por conducción, radiación y convección se podrá encontrar en el -- "Kern, Donald Q., Procesos de Transferencia de Calor"<sup>[13]</sup>

El primer término de la ecuación no representa mayor problema en su medición, que la longitud del tubo, sin embargo, en la mayoría de los casos existen accesorios tales como codos, válvulas, -- etc., y por consiguiente es necesario encontrar la longitud de tubería recta que causa la misma caída de presión debida a fricción de los accesorios. A esta longitud de tubería se le llama longitud equivalente de los accesorios.

La longitud equivalente de los accesorios se presenta como --  $L_{eq}/D$ , es decir, longitud equivalente dada en diámetros de tubería [estos datos se pueden obtener en libros de ingeniería y más específicamente en el "Crane, Flow of Fluids"<sup>[14]</sup>, o también puede encontrarse su coeficiente de resistencia (K), este se define como -- el número de pérdidas de cabeza de velocidad total debida a la conexión.

Cabe señalar que no se introducirá el concepto de pérdida por fricción o factor de fricción en esta práctica ya que el alumno lo verá en su curso de Flujo de Fluidos; sin embargo, en este capítulo se hará uso de este cálculo con el fin de dar una visión más amplia de las energías y su participación real en el sistema.

### 3 DESCRIPCION DEL APARATO UTILIZADO PARA LA PRACTICA

El aparato utilizado para la práctica se localiza en las instalaciones del Laboratorio de Ingeniería Química de esta Facultad.

El sistema consta de:

Tanque de alimentación de poliuretano con salida de borda con una capacidad de 71 l.

Tanque receptor de poliuretano con capacidad de 71 l.

Sistema motor-bomba. Consta con un motor de 1 hp, - 50/60 c, 2850/3450 rpm, 127/220 V; la bomba es de tipo turbina marca Sentinel.

Intercambiador de calor de un solo tubo concéntrico en forma de U.

Tanque receptor de condensados.

Además consta con:

- 1 Medidor de nivel en el tanque de condensados.
- 3 Medidores de temperatura. Uno a la entrada y otro a la salida del intercambiador, así como en la parte media del intercambiador.
- 3 Medidores de presión. Se encuentran colocados unos a la entrada y la salida del intercambiador por el lado del vapor, así como uno colocado antes de la entrada del intercambiador.
- 1 Medidor de flujo tipo doméstico. Colocado después

del sistema motor-bomba

- 1 Trampa de vapor. A la salida de los condensados del intercambiador.
- 1 Manómetro de mercurio de tipo diferencial. Se encuentra colocado en el sistema motor-bomba, a la entrada y salida.

### 3.1 Colocación

El tanque receptor elevado, puede, según la alineación que se le dé, estar conectado al tanque de alimentación o estar conectado a la tubería que desaloja en el drenaje. Para nuestro caso, -- cuando ya este en operación el equipo, será necesario mantener -- la válvula que conecta al tanque de alimentación cerrada y la que va al drenaje abierta.

El tanque de alimentación a su vez, está conectado al sistema motor-bomba, el cual llevará el fluido hasta el intercambiador de calor y posteriormente será transportado hasta el tanque receptor; completando así el sistema en el que se llevará a cabo la -- práctica. Fig. 3.1.

Clave	Sistema
1	Tanque de alimentación
2	Tanque receptor
3	Sistema Motor-Bomba
4	Intercambiador de calor
5	Tanque receptor de condensados
6	Medidor de caída de presión en la bomba

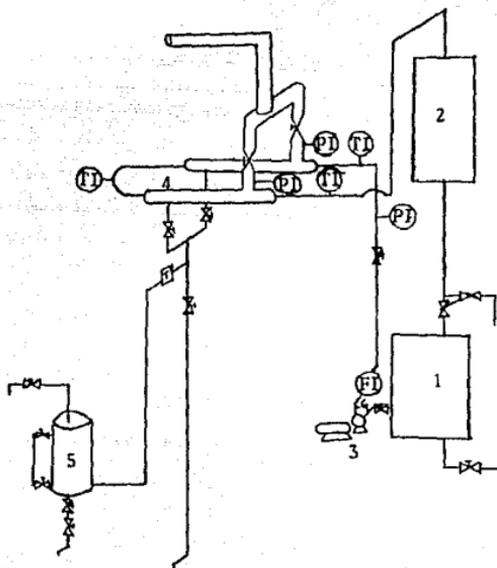


Fig. 3.1. [2]

### 3.2 Eqüpos

#### 3.2.1 Intercambiador de calor.

La parte interna, es un tramo de la tuberla del equipo que se encuentra enchaquetada. Esta tuberla se encuentra conectada mediante una conexi3n en U, la cual proporciona superficie de transferencia de calor.

Este intercambiador esta dise1ado para que efectúe una operaci3n en paralelo, a contracorriente o como un intercambiador de tipo U. De acuerdo a la alineaci3n de las tuberlas en el equipo. Esto se puede observar en la siguiente figura:

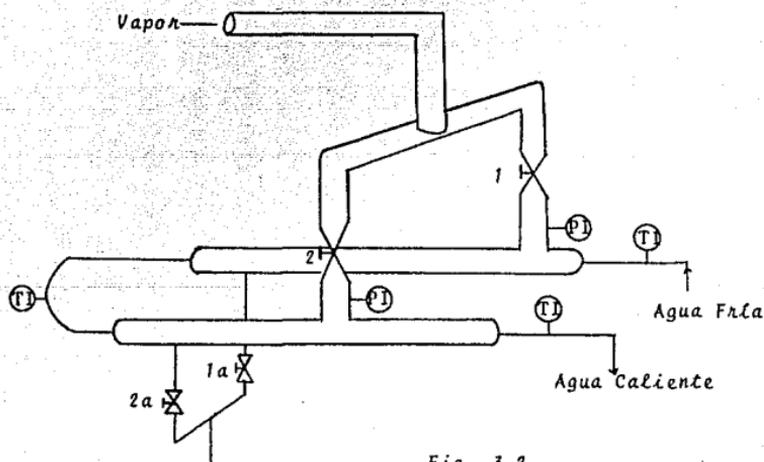


Fig. 3.2

Para operar en paralelo:

Válvula 2 y 2a cerradas

Válvula 1 y 1a abiertas

Para operar a contracorriente:

Válvula 1 y 1a cerradas

Válvula 2 y 2a abiertas

Para operar el intercambiador de tipo U:

Válvula 1 y 1a abiertas

Válvula 2 y 2a abiertas

Para determinar que ecuaciones utilizaremos en esta práctica para el intercambiador de calor, partiremos de determinar que -- nuestro sistema es el agua. Por lo que el vapor, por esta ocasión no lo consideraremos en nuestros cálculos, además que contamos con la instrumentación necesaria para determinar el calor que recibe el sistema (agua). Si partimos de cuando dos objetos que están a diferentes temperaturas y se ponen en contacto térmico, el calor -- fluye desde el objeto más caliente hacia el más frío.

Por lo que para corriente tenemos: [12]

Fluido caliente:

$$Q_c = m_c (H_2 - H_1)_c$$

Fluido frío:

$$Q_f = m_f (H_1 - H_2)_f$$

Donde:

$m$  = masa

$H$  = entalpia

Subíndice  $c$  corresponde a caliente

Subíndice  $f$  corresponde a frío

Ahora partiendo de que el calor perdido por el fluido caliente es ganado por el fluido frío, tenemos que:

$$Q_c = Q_f + Q_p$$

$$Q_p = \text{calor perdido}$$

Si consideramos que los calores específicos son constantes,

$$Q = Q_p + m_f C_{p_f} (T_1 - T_2)_f = m_c C_{p_c} (T_2 - T_1)_c$$

Pero como consideramos que el vapor se va a condensar queda,

$$Q = Q_p + m_f C_{p_f} (T_1 - T_2)_f = m_{\text{vapor condensado}} \lambda$$

Donde:

$C_p$  = calor específico

$\lambda$  = calor latente de vaporización del vapor

Esto es considerando que el vapor llega al intercambiador como vapor saturado y que el vapor sale a una temperatura de condensación.

Para la predicción que nos ocupa lo calcularemos de la siguiente manera:

$$Q_{\text{que gana el sistema}} = m_g C_p (T_1 - T_2)_g$$

### 3.2.2 Bomba tipo turbina<sup>[13]</sup>

La bomba con la que contamos es de tipo turbina, también se le conoce con el nombre de bomba vórtice, periféricas y regenerativas.

Este tipo de bomba se distingue por la inserción de un anillo difusor cuya función es hacer que el líquido efectúe el cambio de dirección desde el movimiento radial a tangencial, suavemente, sin choques ni remolinos. Este tipo de bomba se reserva para líquidos claros, no viscosos y no corrosivos, ya que se considera que estas bombas son relativamente caras.

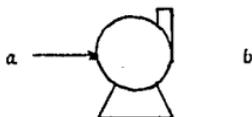


Fig. 3.3

En la bomba, el líquido entra por la conexión que da a la succión en el punto a y sale por la conexión que da a la descarga -- por el punto b. Podemos efectuar un balance de energía entre los puntos a y b.

Por lo tanto nos quedará: [11]

$$-w' = \frac{P_b}{\rho} + \frac{gz_b}{g_c} + \frac{v_b^2}{2g_c} - \frac{P_a}{\rho} + \frac{gz_a}{g_c} + \frac{v_a^2}{2g_c}$$

Donde:

$P_b$  = serla la presión a la descarga

$P_a$  = presión a la succión

Las cantidades en los parentesis los llamaremos cabezas totales y se denotarán por C, [12]

$$-C = \frac{P}{\rho} + \frac{gz}{g_c} + \frac{v^2}{2g_c}$$

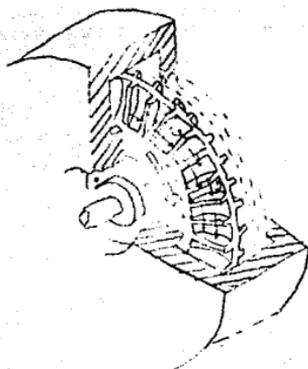
En las bombas por lo general la diferencia entre las alturas de la succión y la descarga son despreciables, y  $z_a$  y  $z_b$  pueden ser eliminadas de la ecuación

Por lo que si  $C_a$  es la cabeza total de succión,  $C_b$  la cabe-

za total de descarga y  $C = C_b - C_a$ , tendremos sustituyendo en la ecuación

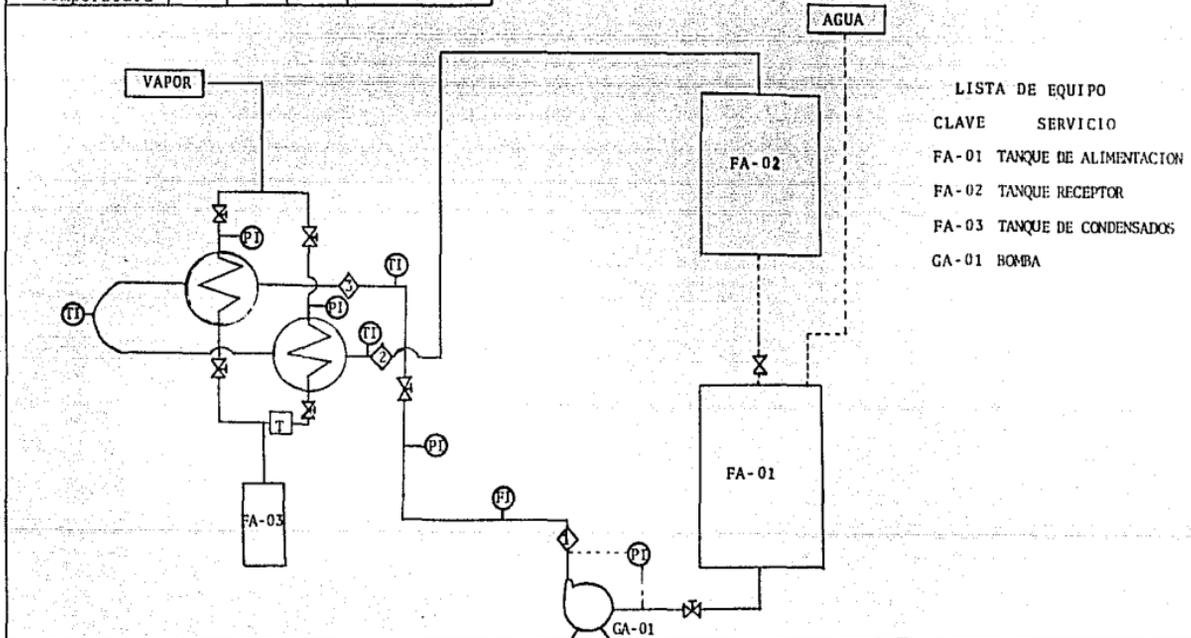
$$-w' = C_b - C_a$$

Por lo que para obtener la potencia ganada por el fluido,-- se calculará la cabeza desarrollada por la bomba



[13] Fig. 3.4 Rodete de la bomba tipo turbina

Corriente	1	2	3
Componente			
Agua			
Presión			
Temperatura			



### LISTA DE EQUIPO

CLAVE	SERVICIO
FA-01	TANQUE DE ALIMENTACION
FA-02	TANQUE RECEPTOR
FA-03	TANQUE DE CONDENSADOS
GA-01	BOMBA

## 4 EXPERIMENTACIÓN

### 4.1 Modificaciones al equipo

Para nuestra prácticas se utilizó el equipo "Intercambiador de horquilla" del Laboratorio de Ingeniería. El cual fue adaptado con el fin de que las energías involucradas se puedan calcular "directamente" del sistema. Por lo que fue necesario colocar un manómetro diferencial de mercurio entre la salida y la entrada de la bomba. Esto es para obtener la caída de presión debida a la bomba directamente y poder calcular el trabajo que es transferido por el fluido al exterior a medida que fluye por el equipo.

### 4.2 Toma de datos

Una vez que ya se ha puesto a operar el equipo y que se encuentra operando a "régimen estacionario" se procede a hacer la toma de datos.

#### 4.2.1 Bomba

Para tomar la lectura del manómetro diferencial se procederá a abrir las llaves de paso y leer con el auxilio de la regla metálica que se encuentra en el manómetro la diferencia directamente. También será necesario tomar la distancia que hay entre la línea de succión y la línea de descarga, este último valor será constante para todas las corridas por lo que se tomará una sola vez, al igual que los diámetros de succión y de descarga de la bomba, estos últi-

mos con el auxilio de un Vernier.

#### 4.2.2 Intercambiador de calor.

Se tomará la temperatura en °C de los Medidores que se encuentren a la entrada y salida del intercambiador.

#### 4.2.3 Medidor de flujo.

Aquí se necesitará de un cronómetro para poder obtener el flujo. Se procederá a tomar la lectura inicial marcada en el medidor en el momento en que se acciona el cronómetro y se tomará la lectura otra vez en el momento en que se deje de correr el cronómetro. La diferencia de estas lecturas nos dará la cantidad de litros que pasaron durante el tiempo cronometrado.

#### 4.2.4 Distancias (alturas)

La distancia entre nuestros puntos de referencia, se hace tomando el nivel del piso como referencia, primero se mide la distancia que hay entre el nivel del piso a la salida de la tubería de descarga y después se mide la distancia que hay entre el nivel del piso hasta el nivel del agua que marque el tanque de alimentación. Se tomará también el diámetro de la tubería de descarga con la ayuda de un Vernier.

### 4.3 Datos

#### 4.3.1 Práctica sin transferencia de calor

Tabla 4.1

CORRIDA	$\Delta P$ Bomba cm Hg	Litros	Min	Altura(cm) $Z_2 - Z_1$	$T^\circ C$
1	138.5	135.0	4.0	273.3	25
2	141.0	76.0	3.0	273.3	25
3	138.0	115.0	3.5	271.0	25
4	140.7	77.5	3.0	271.0	25
5	140.7	109.0	4.0	278.0	27
6	136.3	66.0	2.0	278.0	27
7	139.3	83.5	3.0	278.0	27
8	138.3	109.6	3.5	278.0	27

... ..

#### 4.3.2 Práctica con transferencia de calor.

Tabla 4.2

CORRIDA	$\Delta P$ Bomba cm Hg	Litros	Min	Altura $Z_2^{cm} - Z_1$	Temperatura $^\circ C$ entrada salida	
1	138.0	98.5	3	273.3	22	32
2	138.5	30.0	1	273.3	22	26
3	138.5	63.0	2	273.3	22	30
4	138.5	62.0	2	264.0	22	29
5	138.5	60.0	2	260.5	22	29
6	138.0	94.0	3	275.0	22	28
7	138.0	37.5	3	275.0	22	31
8	137.5	63.0	2	275.0	22	27
9	136.8	126.0	4	275.0	22	27
10	143.0	50.0	3	275.0	22	32

Bomba:

Diámetro de succión: 4.2 cm. = 1.66"

Diámetro de descarga: 3.34 cm. = 1.315"

Distancia entre la succión y la descarga: 10 cm.

Tanque receptor:

Diámetro de la tubería de descarga: 3.34 cm = 1.315"

4.4. Memoria de cálculo para la primera corrida con transferencia de calor.

1. Gasto

$$V = 98.5 \text{ l.}$$

$$t = 4.0 \text{ min.}$$

$$\frac{98.5}{3} \frac{\text{l}}{\text{min}} \times 0.001 \frac{\text{m}^3}{\text{l}} \times \frac{1}{60} \frac{\text{min}}{\text{seg}} = 5.47 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

2. Trabajo (cálculo en la bomba)

" "

Ecuación:

$$W' = \Delta C$$

$$\Delta C = - \frac{\Delta P}{\rho} - \frac{g}{g_c} \Delta z - \frac{\Delta v^2}{2g_c}$$

2.1. La energía de presión

Ecuación:  $\frac{\Delta P}{\rho}$

$$\Delta P = 138.0$$

$$\rho = 997.8019 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$138 \text{ cm Hg} \times 135.9 \frac{\frac{\text{Kg}}{2}}{\text{cm Hg}} = 18,754.2 \frac{\text{Kg}}{2}$$

$$18,754.2 \frac{\text{Kg}}{2} \times \frac{1}{997,8019 \text{ Kg}} \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}} = 18.7955 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}} \text{ m}$$

## 2.2 Cálculo energía cinética

$$\frac{\bar{v}^2}{2g_c}$$

$$D \text{ succión} = 4.2 \text{ cm.}$$

$$D \text{ descarga} = 3.34 \text{ cm}$$

Se busca en el Crane [14] pág. B-16 o en algún otro libro de ingeniería que contenga la equivalencia a diámetro interno.

Los diámetros internos correspondientes son:

$$ID \text{ succión} = 0.035052 \text{ m.} \quad \text{Area} = 9.6497 \times 10^{-4}$$

$$ID \text{ descarga} = 0.026600 \text{ m.} \quad \text{Area} = 5.5760 \times 10^{-4}$$

$$V_1 = 5.47 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \times \frac{1}{9.6497 \times 10^{-4}} \frac{1}{\text{m}^2}$$

$$V_1 = 0.5669 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

$$V_2 = 5.47 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \times \frac{1}{5.5760 \times 10^{-4}} \frac{1}{\text{m}^2}$$

$$V_2 = 0.9810 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

## 2.3 Cálculo energía potencial

$$\Delta Z \frac{g}{g_c}$$

$$\Delta Z = 0.10 \text{ m.}$$

$$\frac{g}{g_c} = 1 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}}$$

$$Z \frac{g}{g_c} = 0.10 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}} \text{ m.}$$

### 3.4 Cálculo del trabajo

Sustituyendo tenemos:

$$W = -18.7995 - 0.10 \left[ \frac{0.9810^2 - 0.5669^2}{2 \times 9.81} \right]$$

$$W = -18.9482 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg}}$$

### 3. Calor Q'

Ecuación:

$$Q = C_p(T_2 - T_1)$$

$$C_p = 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$T_2 = 32^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 22^\circ\text{C}$$

Sustituyendo:

$$Q = 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} [32 - 22]^\circ\text{C}$$

$$Q = 10 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$10 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \times \frac{4186 \text{ J}}{\text{Kcal}} \times \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{9.81 \text{ J}} = 4267.0744 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg}}$$

$$Q = 4267.0744 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg}}$$

### 4. Cálculo de la energía potencial

Ecuación:

$$\frac{g}{g_c} \Delta Z$$

Sustituyendo:

$$\frac{g \cdot \Delta Z}{g_c} = 2.733 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}} \text{ m}$$

### 5. Cálculo de la energía cinética.

Ecuación:

$$\frac{\Delta v^2}{2g_c}$$

$$v_1 = 0$$

$$v_2 = 0.980990 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Sustituyendo:

$$\frac{0.9810^2}{2 \times 9.81} = 0.0491 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}} \text{ m}$$

$$\frac{\Delta v^2}{2g_c} = 0.0491 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}} \text{ m}$$

### 6. Cálculo de la entalpia

Ecuación:

$$\Delta H = Q - W' - \frac{g \cdot \Delta Z}{g_c} - \frac{\Delta v^2}{2g_c}$$

Sustituyendo:

$$\Delta H = 4267.0744 - [-18.9482] - 2.733 - 0.0491$$

$$\Delta H = 4283.2405 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}} \text{ m}$$

#### 4.5 Resultados

##### 4.5.1 Resultados del sistema operado sin transferencia de calor

Tabla 4.3

CORRIDA	GASTO $m^3/\text{seg}$	$W'$	$\frac{g}{g_c} \Delta Z$	$\frac{\Delta V^2}{2g_c}$	$\Delta H$	$\Sigma F^*$
1	$5.63 \times 10^{-4}$	19.0119	2.733	0.0052	14.5516	1.7271
2	$4.22 \times 10^{-4}$	19.3375	2.733	0.0030	15.5846	1.0173
3	$5.48 \times 10^{-4}$	18.9420	2.710	0.0049	14.5727	1.6543
4	$4.31 \times 10^{-4}$	19.2975	2.710	0.0031	15.5366	1.0478
5	$4.54 \times 10^{-4}$	19.3099	2.780	0.0034	15.3923	1.1342
6	$5.50 \times 10^{-4}$	18.7204	2.780	0.0050	14.3127	1.6227
7	$4.64 \times 10^{-4}$	19.1200	2.780	0.0035	15.1642	1.1723
8	$5.22 \times 10^{-4}$	18.9899	2.780	0.0048	14.7332	1.4719

Nota: Las unidades exceptuando el gasto están dadas en  $\frac{Kg}{Kg} m$

\*  $\Sigma F$  = la sumatoria de fricciones

Este término se considerará solo en estas corridas, como parte del balance de energía ya que en esta práctica para el programa del laboratorio no se deberá calcular. La introducción de este dato es con el fin de ilustrar en forma más real la participación de las energías.

Participación de las energías en %

Tabla 4.4

CORRIDA	$W' \%$	$\frac{g}{g_c} \Delta Z \%$	$\Sigma F \%$	$\frac{\Delta V^2}{2g_c} \%$
1	80.9975	11.6436	7.3368	0.0222
2	83.7455	11.8359	4.4057	0.0130
3	81.2571	11.6253	7.0966	0.0210
4	83.6897	11.7528	4.5441	0.0134
5	83.1338	11.9686	4.8830	0.0146
6	80.9422	12.0200	7.0161	0.0216
7	82.8574	12.0473	5.0802	0.0152
8	81.6889	11.9587	6.3317	0.0206

Ahora sin considerar las pérdidas por fricción

Tabla 4.5

CORRIDA	$\Delta H$
1	16.2737
2	16.6015
3	16.2271
4	16.5844
5	16.5265
6	15.9354
7	16.3365
8	16.2051

Los datos de gasto, energía cinética, energía potencial y trabajo del fluido sobre el sistema son las mismas que en las -- mismas que en las corridas anteriores, ya que solo se introdujeron las pérdidas por fricción.

Participación de las energías en %.

Tabla 4.6

CORRIDA	W' %	$\frac{g}{g_c} \Delta z$ %	$\frac{\Delta v^2}{2g_c}$ %
1	87.4106	12.5655	0.0239
2	87.6070	12.3814	0.0136
3	87.4640	12.5133	0.0226
4	87.6737	12.3122	0.0141
5	87.4016	12.5830	0.0154
6	87.0498	12.9270	0.0232
7	87.2920	12.6920	0.0160
8	87.2108	12.7671	0.0220

#### 4.5.2 Resultados del sistema operado con transferencia de calor.

Tabla 4.7

Corrida	Gasto $m^3/\Delta \text{seg}$	Q	W'	$\frac{g}{g_c} \Delta Z$	$\frac{\Delta \bar{v}^2}{2g_c}$	$\Delta H$
1	$5.47 \times 10^{-4}$	4267.0744	18.9482	2.733	0.0491	4283.2405
2	$5.00 \times 10^{-4}$	1706.8298	18.9909	2.733	0.0410	1723.0467
3	$5.25 \times 10^{-4}$	3413.6595	18.9937	2.733	0.0452	3429.8750
4	$5.17 \times 10^{-4}$	2986.9521	18.9928	2.640	0.0438	3003.2611
5	$5.00 \times 10^{-4}$	2986.9521	18.9909	2.605	0.0409	3003.2971
6	$5.22 \times 10^{-4}$	2560.2446	18.9253	2.750	0.0447	2576.3752
7	$2.08 \times 10^{-4}$	3840.3670	18.9002	2.750	0.0071	3856.5101
8	$5.25 \times 10^{-4}$	2133.5372	18.8575	2.750	0.0452	2149.5995
9	$5.25 \times 10^{-4}$	2133.5372	18.7622	2.750	0.0452	2149.5042
10	$2.77 \times 10^{-4}$	4267.0744	19.5849	2.750	0.0126	4283.8967

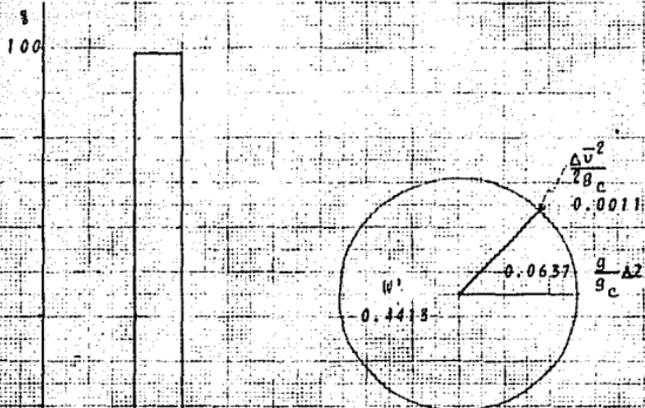
Nota: Las unidades de las energías están dadas en  $\frac{Kg}{Kg} m$

Participación de las energías en %:

Tabla 4.8

Corrida	Q%	W' %	$\frac{g}{g_c} \Delta Z \%$	$\frac{\Delta \bar{v}^2}{2g_c} \%$
1	99.4938	0.4413	0.0637	0.0011
2	98.7409	1.0986	0.1581	0.0024
3	99.3663	0.5529	0.0796	0.0013
4	99.2795	0.6313	0.0877	0.0015
5	99.2808	0.6312	0.0866	0.0014
6	99.1588	0.7330	0.1065	0.0017
7	99.4392	0.4894	0.0712	0.0002
8	98.9953	0.8750	0.1276	0.0021
9	98.9997	0.8706	0.1276	0.0021
10	99.4790	0.4566	0.0641	0.0003

Gráfica #1  
 PARTICIPACIÓN DE LAS ENERGÍAS EN %  
 Sistema con transferencia de calor.



g

$W'$

$\frac{g \Delta T}{g_c}$

Tipo de energía

(Cada 1)

53

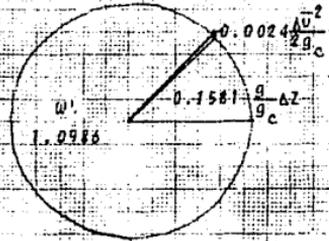
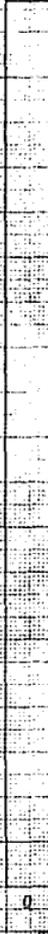
Gráfica #2

PARTICIPACION DE LAS ENERGÍAS EN %  
 Sistema con transferencia de calor

100

50

0



0'

$\frac{g \Delta Z}{g_c}$

Tipo de energía

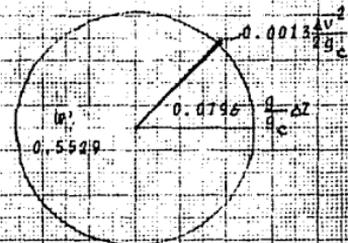
Gráfica #3

PARTICIPACION DE LAS ENERGIAS EN EL SISTEMA con transferencia de calor

100

50

0



W'

$\frac{q}{\rho_r} \Delta T$

$0.0013 \frac{\rho v^2}{g_c}$

Tipo de energía

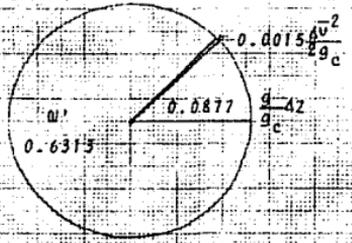
Corrida #3

Gráfica #1  
 PARTICIPACION DE LAS ENERGIAS EN %  
 Sistema con transferencia de calor.

100

50

0



Q

W'

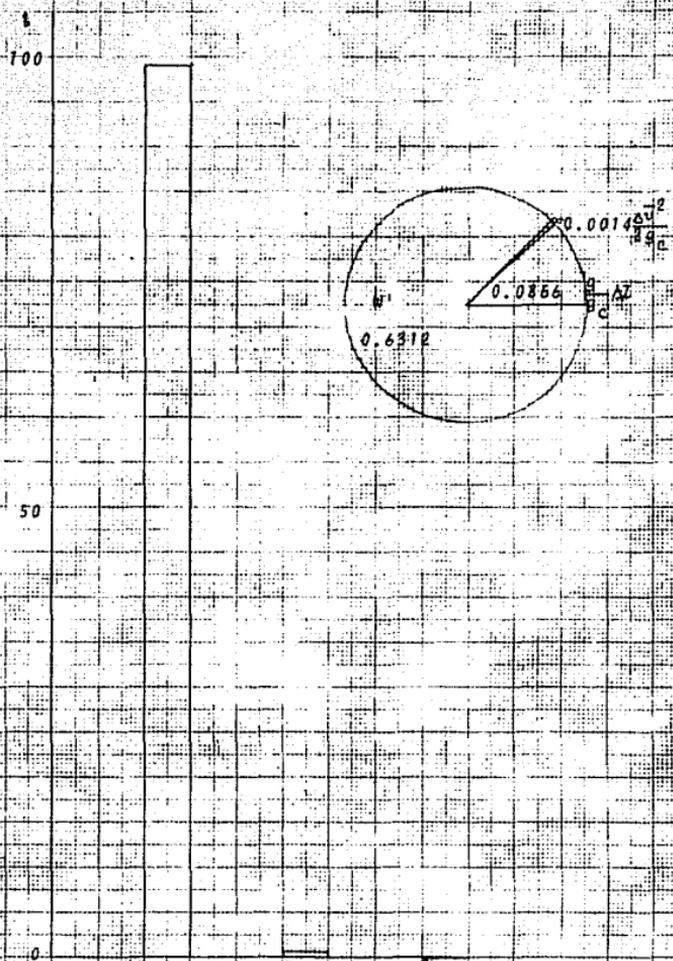
Q - ΔZ

Tipo de energía

Gráfica #1

Gráfico # 1  
 PARTICIPACIÓN DE LAS ENERGÍAS EN W

Sistema con transferencia de calor



0

h'

$\frac{h}{B-C}$

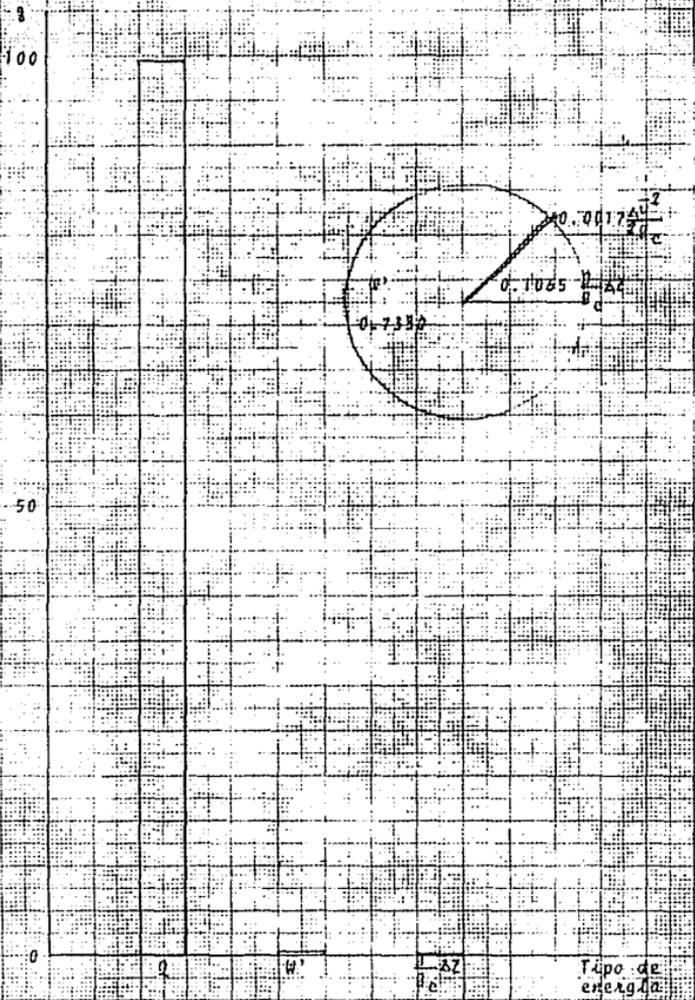
Tipo de energía

Continúa # 5

Gráfica #6

PARTICIPACION DE LAS ENERGIAS EN %

Sistema con transferencia de calor.



Gráfica #6

Gráfica #7  
PARTICIPACION DE LAS ENERGÍAS EN I

Sistema con transferencia de calor

100

50

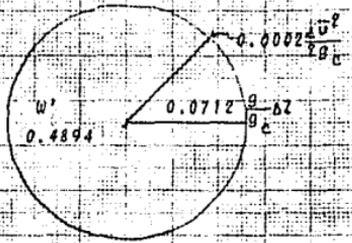
0

Q

W'

$\frac{1}{c} \Delta Z$

Tipo de energía

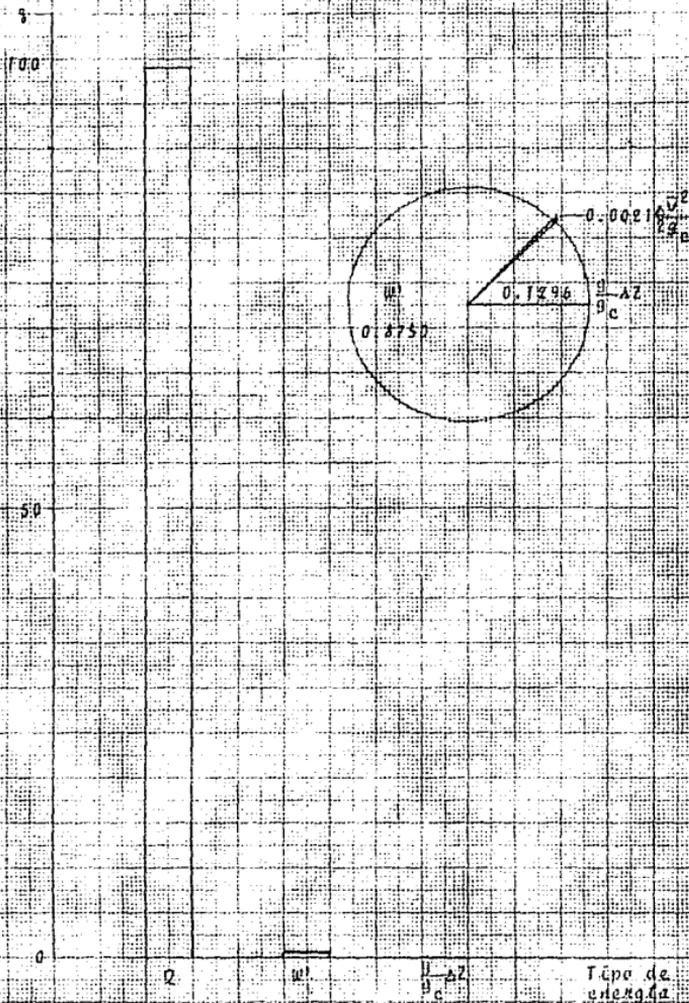


Gráfica #7

Gráfica #8

PARTICIPACION DE LAS ENERGIAS EN %

Sistema con transferencia de calor



CONSIDERAR

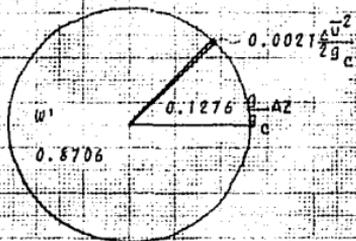
PARTICIPACION DE LAS ENERGIAS EN %

Sistema con transferencia de calor.

100

50

0



Q

$w'$

$w''$

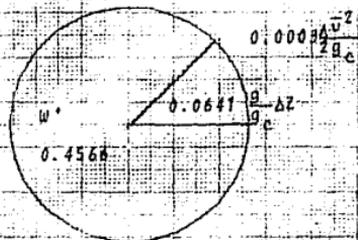
Tipo de energía

Gráfico #10

PARTICIPACIÓN DE LAS ENERGÍAS EN EL  
 SISTEMA CON TRANSFERENCIA DE CALOR.

100

50



0

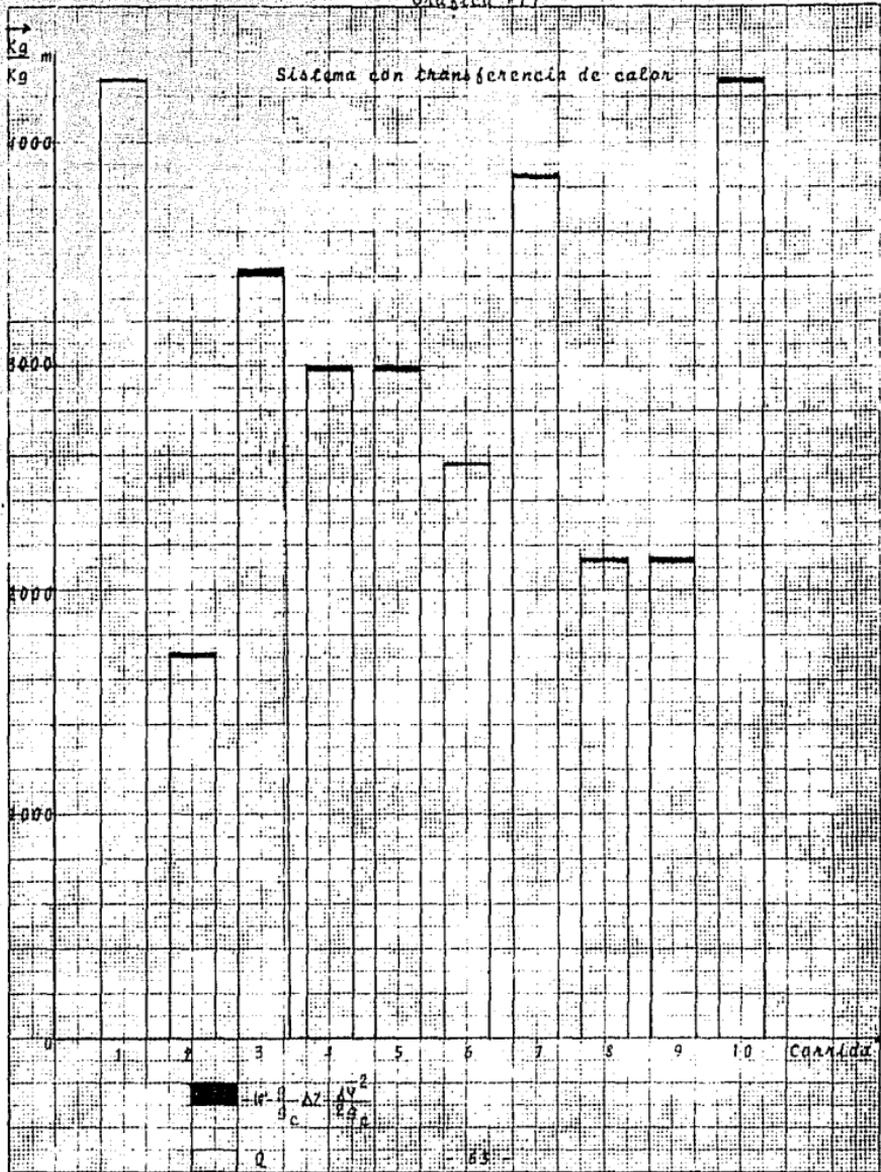
a

a'

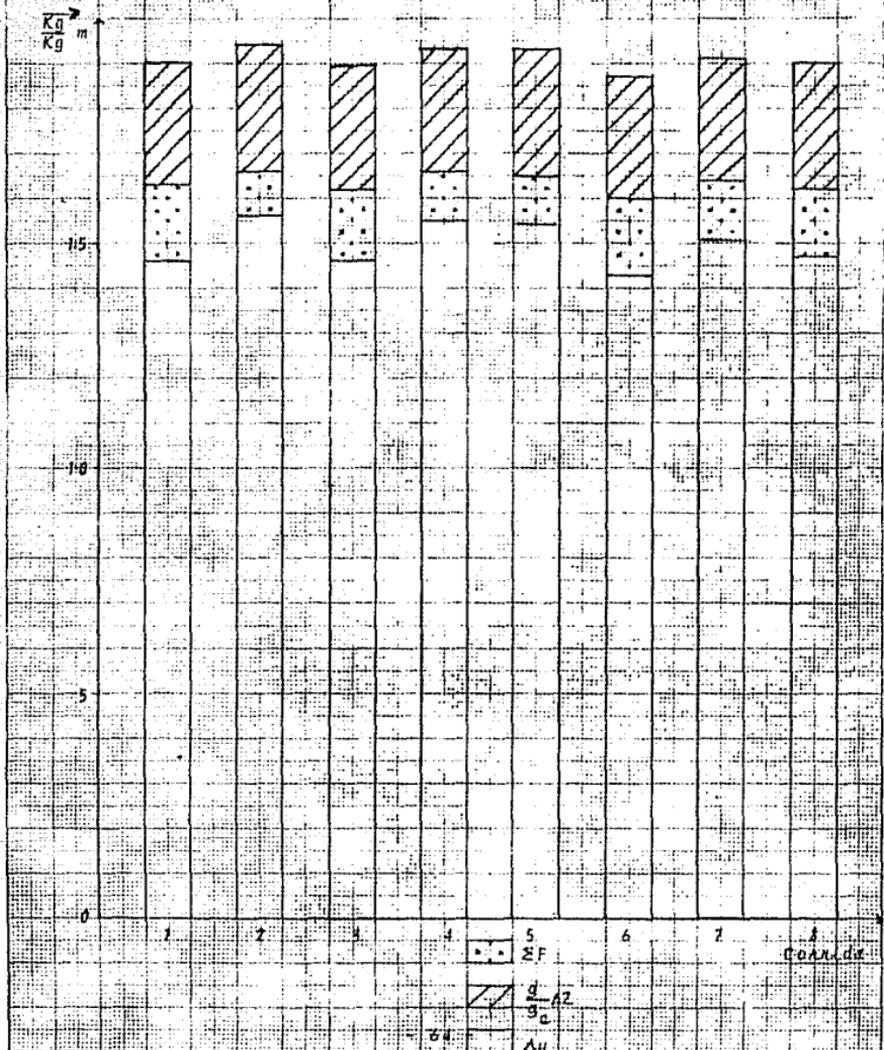
 $\frac{g}{g_c}$ Tipo de  
energía

Continúa #10

Gráfica #11

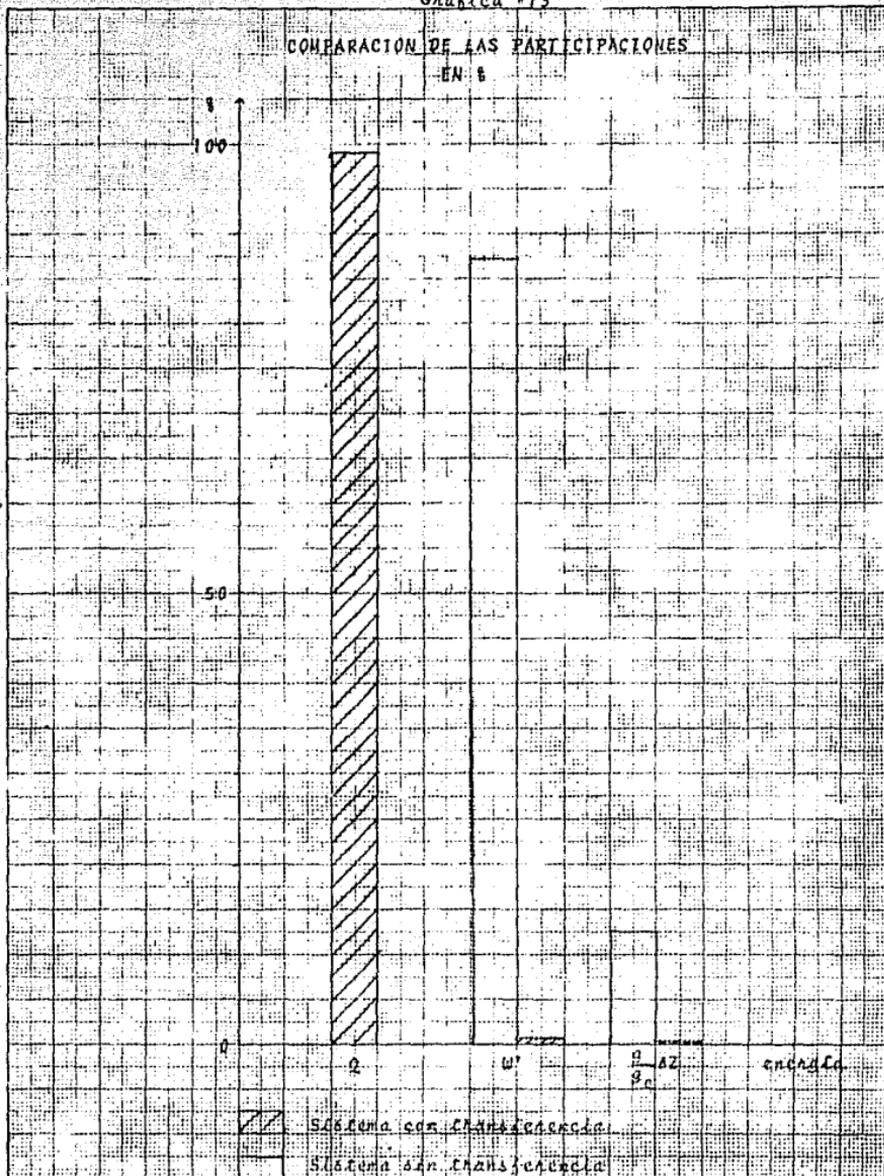


Sistema sin transferencia de calor

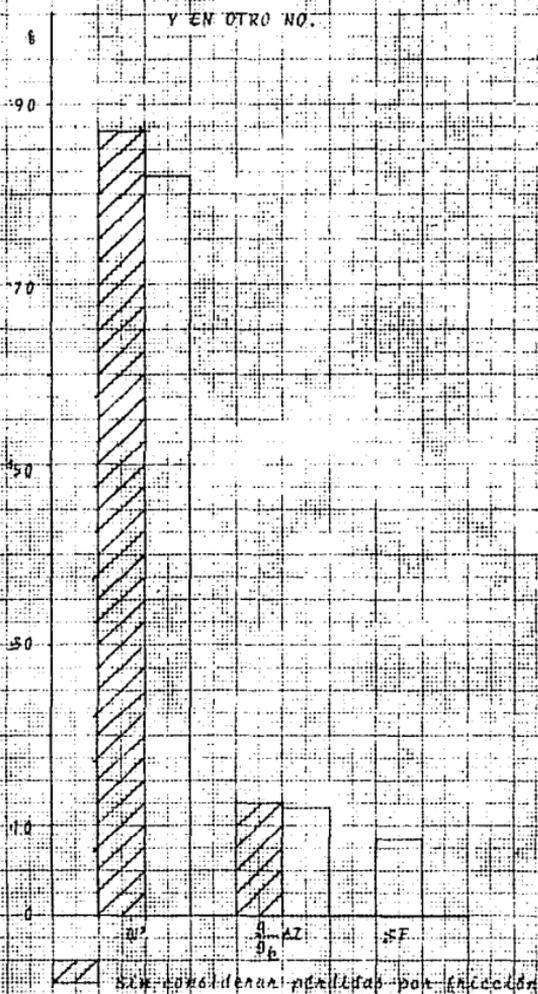


Gráfica #13

COMPARACION DE LAS PARTICIPACIONES  
EN 6



COMPARACION EN  $\delta$  DE LOS SISTEMAS OPERADOS SIN TRANSFERENCIA DE CALOR, UNA CONSIDERANDO LAS PERDIDAS POR Fricción Y EN OTRO NO.

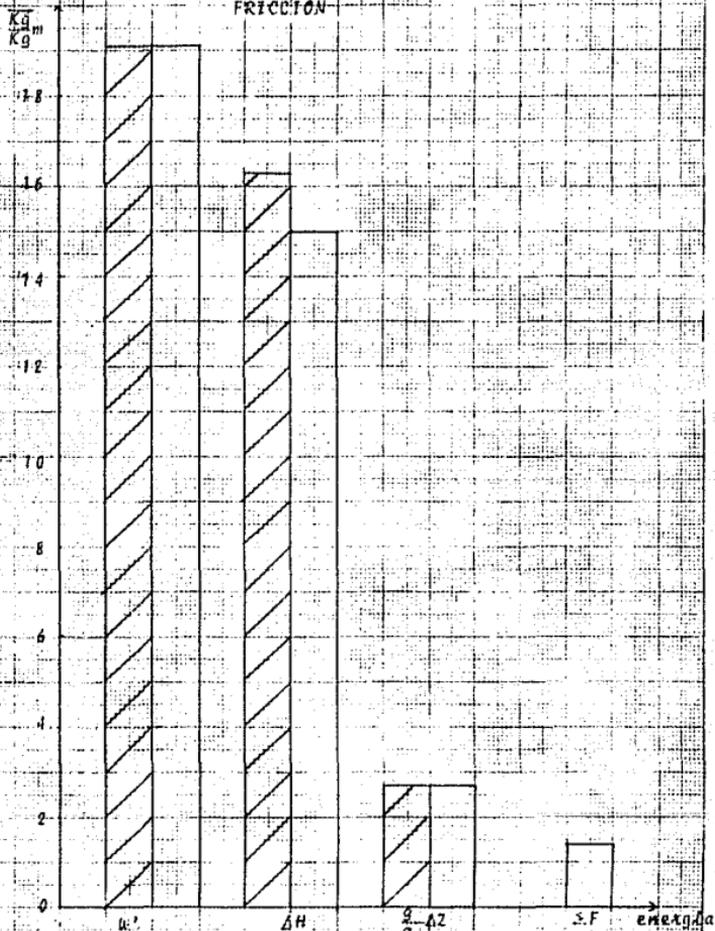


Sin considerar pérdidas por fricción

Considerando las pérdidas por fricción

Gráfica #15

COMPARACION EN  $\frac{KJ}{Kg \cdot m}$  DE LOS SISTEMAS OPERADOS SIN TRANSFERENCIA DE CALOR, CONSIDERANDO Y NO LAS PERDIDAS POR FRICCION



 No se consideran las pérdidas por fricción  
 Si se consideran las pérdidas por fricción

## 5 CONCLUSIONES

Como se puede observar en los resultados, (tabla 4.7 y 4.8) - cuando se trabaja con un sistema en el cual hay transferencia de calor  $Q$ , el calor es el tipo de energía predominante sobre las demás, haciendo que los demás tipos de energía presentes sean despreciables.

Comparando este sistema con un sistema operado sin transferencia de calor, (gráfica #12) se observa que en este caso el trabajo del fluido sobre el sistema,  $W'$ , es el predominante, en gran ventaja sobre la sumatoria de fricciones y la energía cinética.

Ahora comparando los dos sistemas (gráfica #13) la diferencia de entalpía de los dos sistemas es bastante considerable. Siendo el primero el que presenta un cambio de entalpía, casi numéricamente igual al calor suministrado  $Q$  habiendo una diferencia del 0.58% entre  $H$  y  $Q$  mientras en el segundo caso el trabajo del fluido sobre el sistema  $W'$  es el predominante habiendo una diferencia entre  $H$  y  $W'$  de 27% siendo mayor numéricamente el trabajo que el cambio de entalpía.

Las participaciones de las energías en cada caso (con transferencia y sin transferencia) son diferentes como se muestra en el siguiente cuadro resumen:

Energía	Con transferencia de calor %	Sin transferencia de calor %	
Calor	99.22	-----	-----
Transferencia	0.68	82.29	87.39
Potencial	0.10	11.86	12.59
Cinética	0.00	0.02	0.02
$\Sigma F$	94.16	5.84	-----

Se consideraron los % promedio en cada caso.

Para la corrida sin transferencia de calor se consideraron -- las pérdidas por fricción. Como se hizo no<sup>o</sup> r, la intervención de este dato es solo con el fin de que los resultados sean más reales e ilustrativos, ya que en la práctica diseñada no se hará este cálculo.

Para este caso la intervención de las pérdidas por fricción -- es de 5.84% y en los cálculos si este dato se desprecia habrá un error del 9.05% sobre el valor de la entalpia (gráfica #15).

Por lo que el alumno al realizar esta práctica podrá despreciar las pérdidas por fricción sin que merme en forma considerable la realidad de las participaciones de las energías y su importancia.

Diseño de la Práctica de:

**BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA EN UN SISTEMA CON FLUJO Y  
TRANSPERENCIA DE CALOR**

## BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA EN UN SISTEMA CON FLUJO Y

### TRANSFERENCIA DE CALOR

#### 1) OBJETIVOS:

Al finalizar la práctica, el estudiante deberá estar capacitado para:

- Comprender el significado e importancia de los diferentes tipos de energía, como de los conceptos de balance de materia y energía.
- Comprender las ventajas que ofrece la elección de un buen sistema de referencia.
- Resolver problemas de balance de materia y energía.

#### 2) INTRODUCCION:

Hoy en día se considera que el balance de energía es en conjunción con el balance de materia de gran importancia en problemas de diseño y operación de procesos.

El balance de materia es simplemente una contabilidad de masa. Las leyes de la conservación de la masa establece que en un sistema aislado dado, la masa del sistema permanece constante, a pesar de los cambios que se lleven a cabo en el sistema, esta es la base de los llamados balances de materia de un proceso.

La ley de la conservación de la masa puede escribirse de la siguiente manera:

Para operaciones de estados estacionarios, la acumulaci3n es cero.



Fig. 1.

La ecuaci3n (1) se puede expresar de la siguiente manera, considerando el estado estacionario. La expresi3n para un balance es:

$$w_1 = w_2 = \frac{\bar{v}_1 S_1}{V_1} = \frac{\bar{v}_2 S_2}{V_2} = G_1 S_1 = G_2 S_2 \quad (2)$$

Donde,

$w$  = Gasto m3sico

$\bar{v}$  = Velocidad promedio

$S$  = Secci3n transversal del 3rea de flujo

$V$  = Volumen espec3fico del material

$G$  = Masa velocidad

La ecuaci3n (2) establece que la suma de masas que entran es igual a la suma de las que salen. A esta ecuaci3n se le conoce con el nombre de ecuaci3n de continuidad.

Balances de energ3a.- De acuerdo con el principio de la con-

servación de la energía, también llamada la primera ley de la termodinámica, la energía es indestructible y la cantidad total de energía que entra a un sistema debe ser igual a la que sale más cualquier acumulación dentro del sistema.

Una expresión matemática o numérica de este principio se llama un balance de energía.

La definición de un sistema de flujo abierto bajo las condiciones del estado estacionario requiere que:

1. El flujo que fluye al sistema como el que sale del sistema sean uniformes en cuanto a propiedades y velocidad. Además que sean invariantes con el tiempo. Las condiciones de entrada y de salida no tendrán que ser idénticas.

2. Las propiedades físicas del fluido en cualquier punto del sistema sean constantes con respecto al tiempo.

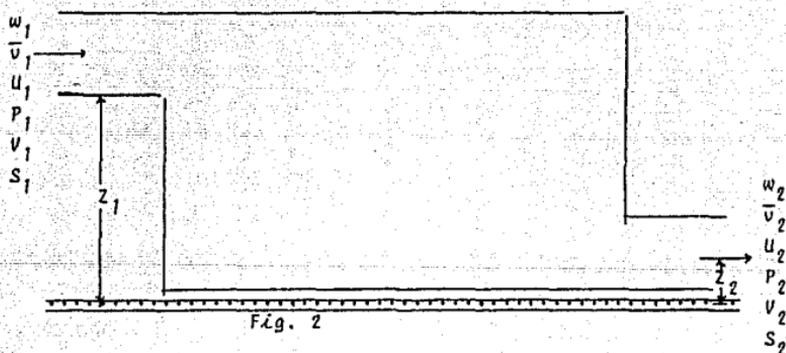
3. La cantidad de masa que entra y que sale del sistema sea constante.

4. El calor añadido y el trabajo dado sean constantes.

Para el balance de energía, se desprecian las energías electrostáticas y magnéticas.

Las energías que se consideran son.

- 1) La energía que depende del fluido.
  - a) La energía interna.
- 2) La energía llevada por el fluido debido a su estado de movimiento.
  - a) La energía de movimiento o cinética externa
  - b) La energía de posición o potencial externa
  - c) La energía de presión
- 3) La energía transmitida entre un fluido o sistema en movimiento y su entorno.
  - a) Calor
  - b) Trabajo



Efectuando un balance de energía en el sistema de flujo de la figura 2, tenemos:

$$u_1 + \frac{\bar{v}_1^2}{2g_c \alpha} + z_1 \frac{g}{g_c} + P_1 V_1 + Q' = u_2 + \frac{\bar{v}_2^2}{2g_c \alpha} + z_2 \frac{g}{g_c} + P_2 V_2 + W' \quad (3)$$

Donde:

$u$  = energía interna

$\bar{v}$  = velocidad promedio

$z$  = altura

$P$  = presión absoluta

$V$  = volumen específico del fluido

$Q'$  = calor

$W'$  = trabajo

$\alpha$  = factor de corrección

Alfa [ $\alpha$ ] es un factor de corrección debido a que la distribución de velocidades en un ducto tiene efecto sobre la energía cinética promedio. Para flujos completamente turbulentos puede considerarse uno.

Estos balances están hechos por unidad de masa. La suma de los términos de la izquierda representan la energía transferida al sistema, y los términos de la derecha significan la energía transferida del sistema o por el sistema a los alrededores.

La validez de la ecuación es rigurosa para el estado estacionario. Escribiéndola en forma diferencial, quedarla:

$$dU + d(PV) + dz \frac{g}{g_c} + \frac{\bar{v}d\bar{v}}{2g_c} = Q - W' \quad (4)$$

En forma integral, tendríamos:

$$\Delta U + \Delta(PV) + \Delta z \frac{g}{g_c} + \Delta \left( \frac{\bar{v}^2}{2g_c} \right) = Q - W' \quad (5)$$

$$\text{Como sabemos } \Delta H = \Delta U + \Delta(PV) \quad (6)$$

Si sustituimos en (5) nos quedaría:

$$\Delta H + \Delta z \frac{g}{g_c} + \Delta \left( \frac{\bar{v}^2}{2g_c} \right) = Q - W' \quad (7)$$

Para el cálculo del trabajo que da el fluido a su entorno se efectúa por medio de la siguiente ecuación:



$$-W' = \frac{P}{g_c} + \Delta z \frac{g}{g_c} + \Delta \frac{\bar{v}^2}{2g_c} \quad (8)$$

Cabe señalar que los diámetros utilizados en los cálculos se refieren a los diámetros internos.

### 3) DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El equipo está diseñado para realizar diferentes prácticas de Ingeniería.

El sistema consta de:

Tanque de alimentación de poliuretano con salida de borda con capacidad de

Tanque de poliuretano con capacidad de

Sistema motor-bomba. Consta con un motor de 1 hp. - 50/60 c, 2850/3450 rpm, 127/220 V; la bomba es de tipo turbina marca Sentinel.

Intercambiador de calor de un solo tubo concéntrico en forma de U.

Tanque receptor de condensados.

Además consta de :

1 Medidor de nivel en el tanque de condensados.

3 Medidores de temperatura. Uno a la entrada y otro a la salida del intercambiador, así como en la parte media del intercambiador.

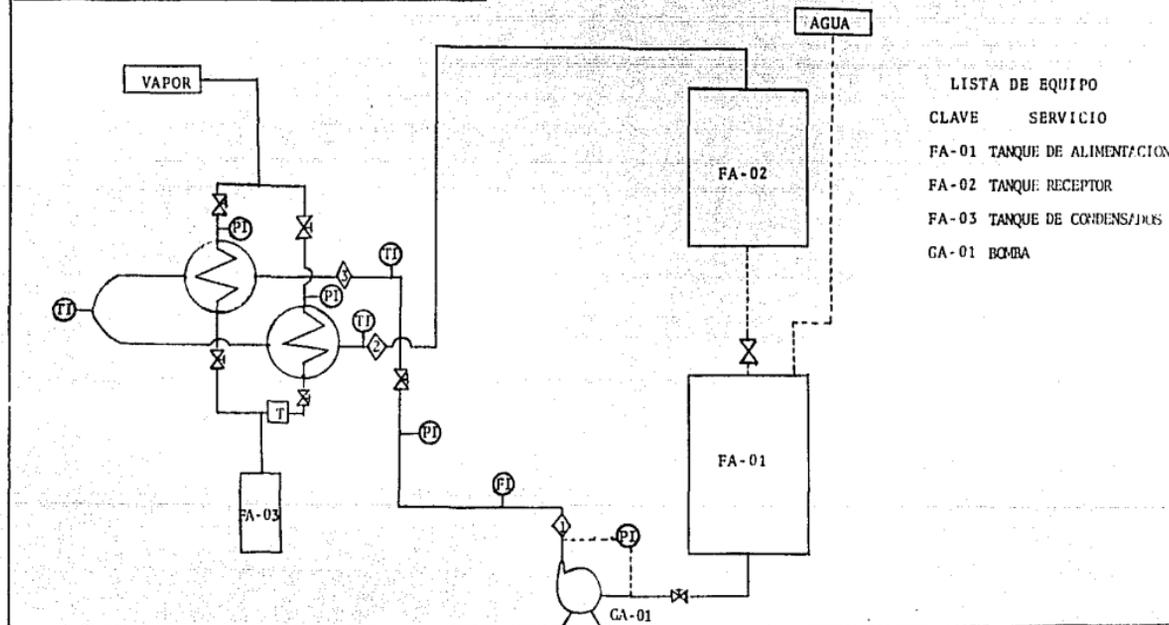
3 Medidores de presión. Se encuentran colocados unos a la entrada y la salida del intercambiador por el lado del vapor, así como uno colocado antes de la entrada del intercambiador.

1 Medidor de flujo tipo doméstico. Colocado después del sistema motor-bomba

1 Trampa de vapor. A la salida de los condensados del intercambiador.

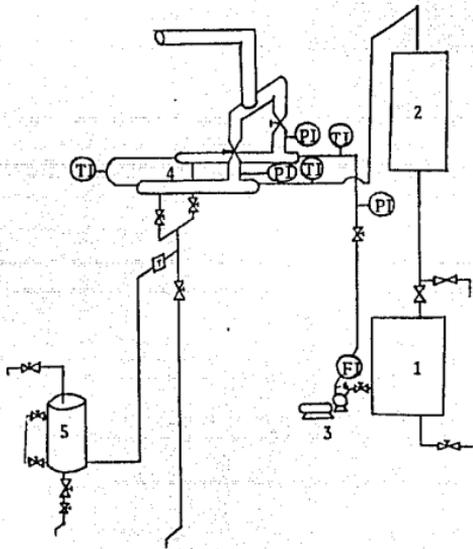
1 Manómetro de mercurio de tipo diferencial. Se encuentra colocado en el sistema motor-bomba, a la entrada y salida.

Corriente	1	2	3	
Componente				
Agua				
Presión				
Temperatura				



Clave

- 1 Tanque de alimentación
- 2 Tanque receptor
- 3 Sistema Motor-Bomba
- 4 Intercambiador de calor
- 5 Tanque receptor de condensados
- 6 Medidor de caída de presión en la bomba



## 4) Técnica de operación

### 4.1 Operación sin el intercambiador

1. Verificar se cuente con los servicios necesarios.
2. Se llena el tanque de alimentación a un máximo de 3/4 de tanque.
3. Se alinea la tubería para tener recirculación en el sistema.
4. Se mantiene el fluido a un nivel constante de líquido en el tanque de alimentación
5. Se alinea el sistema y se abren las llaves de paso que se encuentran en el manómetro diferencial de la bomba.
6. Se opera el sistema por aproximadamente 10 minutos para la toma de datos.

### 4.2 Operación con el intercambiador

1. Se alinea la tubería para mantener un nivel constante y que no haya recirculación.
2. Se pasa vapor al intercambiador abriendo las válvulas correspondientes y se dejan salir los condensados.
3. Se opera el sistema por aproximadamente 10 minutos para la toma de datos.

## 5. Trabajo posterior a la realización de la práctica.

- 1) Balance de materia y energía
- 2) El valor de cada una de las variables
- 3) Así como, la participación en % de cada una de las energías
- 4) Conclusiones de un sistema operado con transferencia de calor y sin ésta.
- 5) Hoja de datos obtenida en la práctica.
- 6) El cuestionario de la práctica

## 6. Bibliografía.

- VALIENTE, BARDERAS A., STIVALET, PRIMO R, Problemas de Balance de Energía. 1a. ed. Ed. Alhambra Mexicana, México 1982.
- WHITWELL, JOHN C., TONER, RICHARD K., Conservation of Mass and Energy. Mc Graw-Hill Book Co., Nueva York, 1973.

## CUESTIONARIO

### BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA EN UN SISTEMA CON FLUJO Y TRANSFERENCIA DE CALOR

Nombre del alumno: \_\_\_\_\_

Grupo: \_\_\_\_\_

- 1) *¿Qué principios rigen al balance de materia y energía?*
- 2) *Indique la importancia de los balances de materia y energía.  
De ejemplos.*
- 3) *Indique las energías involucradas en el sistema*
- 4) *¿Bajo que condiciones se fijan los puntos de referencia?*
- 5) *¿Con cuál de las válvulas se debe controlar al flujo y porque?*
- 6) *Explique la diferencia en las distribuciones en las energías  
en un sistema sin transferencia de calor y con transferencia de  
calor.*

Datos obtenidos en Balances de Materia y Energía en un Sistema con Flujo y Transferencia de Calor

Corrida No.	Volumen ℓ	Tiempo min.	Flujo $\frac{m^3}{seg}$	Bomba $\Delta P$ cm Hg	Altura m.	Intercambiador	
						Entrada	Salida

- 83 -

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**APENDICES**

## NOMENCLATURA

Símbolo	Nombre	Unidades
C	cabeza total	$\overline{\text{Kg}}/\text{Kg}$
C <sub>p</sub>	calor específico	Kcal/Kg °C
D	diámetro interno	m
E <sub>c</sub>	energía cinética	$\overline{\text{Kg}}/\text{Kg}$
E <sub>z</sub>	energía potencial	$\overline{\text{Kg}}/\text{Kg}$
f'	factor de fricción (Fanning)	Adimensional
G	masa velocidad	Kg/seg m <sup>2</sup>
g	aceleración debida a la gravedad	m/seg <sup>2</sup>
g <sub>c</sub>	factor de transformación de unidades	$9.81 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{seg}^2 \cdot \overline{\text{Kg}}}$
H	entalpía	Kcal/Kg
L <sub>eq</sub>	longitud equivalente	m
P	presión	$\overline{\text{Kg}}/\text{m}^2$
Q	calor absorbido por el flujo	Kcal
Q <sub>p, C, R, Co</sub>	calor perdido en una tubería por conducción, radiación y convección	Kcal
S	sección transversal del área de flujo	m <sup>2</sup>
T	temperatura	°C
U	energía interna	Kcal/Kg
$\bar{v}$	velocidad promedio	m/seg
V	volumen específico	m <sup>3</sup>

**simbolo**

W	trabajo total hecho por el fluido	$\overline{Kg}/Kg$
w	gasto másico	Kg/seg
Z	altura o nivel	m
$\alpha$	factor de corrección de la energía cinética	Adimensional
$\rho$	densidad	$Kg/m^3$

## Distinción entre Kilogramo-masa y Kilogramo-fuerza, [5.7.10]

No suele ser frecuente hallar escrita la distinción conceptual entre kilogramo-masa y kilogramo-fuerza, sino que ambas magnitudes - se suelen designar por el mismo nombre: kilogramo (o libra, según el sistema que se este usando).

Por lo que , sino se analizan suficientemente las expresiones que contienen fuerzas y masas, pudiera haber confusión entre uno y otro concepto.

Por ejemplo en el sistema MKS, la unidad de fuerza se define como la cantidad de fuerza que es capaz de imprimir al kilogramo (masa) un incremento en su velocidad de 1m. por segundo en cada segundo. Esta cantidad de fuerza es lo que se llama un newton.

Si el kilogramo, bajo la acción exclusiva de la gravedad se deja caer a la altitud del nivel medio del mar en una latitud de 45°, la velocidad del movimiento de descenso experimenta una variación de 9.81 m/seg. (en cada segundo). A la fuerza de tipo gravitatorio, que actúa en tal caso se le llama "kilogramo-fuerza" y es evidente que - vale 9.81 newtones. Esa fuerza es el peso del kilogramo masa al nivel del mar.

Si nos basamos en la segunda ley de Newton, tenemos:

$$F = m a$$

Donde:

F= fuerza

m= masa

a= aceleración

Pero necesitamos que el valor numérico de la fuerza y la masa sean esencialmente la misma en la superficie de la tierra. Por lo tanto si consideramos que 1 Kg es acelerado a  $g \text{ m/seg}^2$ , donde  $g$  es la aceleración de la gravedad ( $9,81 \text{ m/seg}^2$ , dependiendo de la localización de la masa) se puede hacer que la fuerza sea 1 Kg<sub>fuerza</sub>, introduciendo un factor de conversión C, el cual tenga el valor numérico apropiado.

Ahora si,

$$F = C \times 1 \text{ Kg}_{\text{masa}} \times g \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} = 1 \text{ Kg}_{\text{fuerza}}$$

del cual obtenemos,

$$C = \frac{\text{Kg}_{\text{fuerza}}}{\frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \text{Kg}_{\text{masa}}}$$

Por lo anteriormente expuesto, el valor escogido para la constante C será,  $1/9,81$ , porque  $g$  es igual al valor numérico de la aceleración media de la gravedad al nivel del mar a una latitud de  $45^\circ$  cuando esta última es expresada en  $\text{m/seg}^2$ .

La aceleración de la gravedad varía de lugar en lugar en la su-

perficie de la tierra y cambia considerablemente de acuerdo como se eleva sobre la superficie. Con la selección de unidades y con el número 9.81 empleado en la denominación del factor de conversión, el inverso de C da el símbolo especial de  $g_c$ .

$$g_c = 9.81 \frac{\text{m Kg masa}}{\text{Kg fuerza seg}^2}$$

Con esto obtendremos que en la mayoría de los casos  $g/g_c$  es -- la unidad.

por ejemplo, si tenemos una masa de 100 Kg bajo la influencia de la gravedad y al nivel del mar, se ejerce una fuerza dirigida hacia el centro de la tierra de,

$$F = \frac{m a}{g_c}$$

$$F = \frac{100 \text{ Kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}{9.81 \frac{\text{Kg masa m}}{\text{seg}^2 \text{Kg fuerza}}} = 100 \text{ Kg fuerza}$$

Entonces se dice que esa cantidad de masa "pesa" 100 Kg.

Pero si esa misma masa se llevara a la cima de una montaña donde la gravedad solo valiera  $8 \text{ m/seg}^2$ , la fuerza ejercida hacia abajo

serla,

$$F = \frac{100 \text{ Kg} \times 8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}}{9.81 \frac{\text{Kg}_{\text{masa}} \text{ m}}{\text{seg}^2 \text{ Kg}_{\text{fuerza}}}} = 81.55 \text{ Kg}_{\text{fuerza}}$$

Si la citada masa se pesara en la cima de la montaña con un dinamómetro de resorte, se obtendría un peso de 81.55 Kg (fuerza); pero si se utilizara una báscula o romana con su correspondiente equipo de "pesas" la masa de 100 Kg "pesarla" 100 Kg ya que con este último tipo de aparato se comparan fuerzas que son proporcionales a las masas respectivas, e iguales para masas iguales.

Las dimensiones de diversas cantidades en tres sistemas de unidades fundamentales. [1]

Sistema I :		Sistema II :		Sistema III :	
Masa	m	Fuerza	F	Fuerza	F
Longitud	L	Longitud	L	Energía	E
Tiempo	t	Tiempo	t	Tiempo	t
Temperatura	T	Temperatura	T	Temperatura	T

Magnitud	Sistema I	Sistema II	Sistema III
Temperatura (T)	T	T	T
Tiempo (t)	t	t	t
Longitud (x, y, z, D, L)	L	L	E/F
Masa (m)	m	$Ft^2/L$	$F^2t^2/E$
Fuerza (F)	$mL/t^2$	F	F
Energía (E)	$mL^2/t^2$	FL	E
Velocidad (v)	L/t	L/t	E/Ft
Aceleración (a)	$L/t^2$	$L/t^2$	$E/Ft^2$
Densidad ( )	$m/L^2$	$Ft^2/L^4$	$F^5t^2/E^4$
Presión (P)	$m/Lt^2$	$F/L^2$	$F^3/E^2$
Tensión Superficial ( )	$m/t^2$	F/L	$F^2/E$
Caudal de masa (W)	m/t	Ft/L	$F^2t/E$
Velocidad másica (G)	$m/L^2t$	$Ft/L^2$	$F^3t/E^3$
Viscosidad (U)	m/Lt	$Ft/L^2$	$F^3t/E^2$
Capacidad calorífica	$mL^2/t^2T$	FL/T	E/T

Magnitud	Sistema I	Sistema II	Sistema III
Calor específico (C)	$L^2/t^2T$	$L^2/t^2T$	$E^2/F^2t^2T$
Conductividad calorífica (k)	$mL/t^3T$	$F/tT$	$F/tT$
Velocidad de transmisión de calor (q)	$mL^2/t^3$	$FL/t$	$E/t$
Coefficiente de transmisión de calor (h)	$m/t^3T$	$F/LtT$	$F^2/EtT$

## BIBLIOGRAFIA

1. Perfil del Ingeniero Químico. U.N.A.M., México.
2. VALIENTE BARDERAS, ANTONIO, ET AL., Prácticas de Laboratorio de Momentum y Calor. 5a. Impresión. U.N.A.M., México, 1985.
3. Documentos prestados por el M.C. Antonio Valiente B. sobre la elaboración del nuevo programa de estudios.
4. FOUST, A.S., ET. AL., Principios de Operaciones Unitarias. 13a. Impresión. C.E.C.S.A., México, 1983.
5. HOUGEN, O.A., WATSON K.M. Y RAGATZ R.A., Chemical Process Principles, Part I. Wiley & Sons Inc., Nueva York, 1966
6. HIMMELBLAU, DAVID M., Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering. 3th. ed. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1962.
7. BROWN, G.G., Unit Operation, John Wiley & Sons Inc., Nueva York 1953.
8. VALIENTE BARDERAS, ANTONIO; STIVALET PRIMO RUDI. Problemas de Balance de Energía. 1a. ed. Ed. Azhambra, México, 1982.
9. BAPTISTA, ET AL., Flujo de Fluidos. Tesis 1969, México.
10. WHITWELL, J.C., TONER, R.K., Conservation of Mass and Energy. Mc Graw-Hill Book Co., Nueva York, 1973.

11. Mc CABE, W., SMITH, J.C., *Unit Operations of Chemical Engineering*, 3th. ed. Mc Graw-Hill Book Co., Nueva York, 1976.
12. KERN, DONALD Q., *Procesos de Transferencia de Calor*. 15a. impresión. C.E.C.S.A., México, 1984.
13. BADGER & BANCHERO., *Introducción a la Ingeniería Química*. Mc Graw Hill Book Co., Nueva York, 1962.
14. CRANE, *Flow of Fluids Through Valves, Fittings, and Pipe*, Technical Paper No. 410.