

24/71

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

T E S I S

CRITERIOS TECNICOS  
PARA LA INSPECCION Y EL MANTENIMIENTO  
DE CAMBIADORES DE CALOR

RANGEL MARTINEZ FRANCISCO JAVIER DE JESUS  
INGENIERO QUIMICO

México, D.F.

1987



## **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.

## I N D I C E .

	PAGINA.
PROLOGO.	6
SIGNIFICADO DE CARACTERES O SIGNOS USADOS EN ESTE TRABAJO.	9
INTRODUCCION.	10
CAPITULO I. PRINCIPIOS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR.	11
MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR	11
MECANISMO POR CONDUCCION.	12
MECANISMO POR CONVECCION.	15
MECANISMO POR RADIACION.	17
ECUACION BASICA DE DISEÑO.	19
CAPITULO II. TIPOS DE EQUIPO DE TRANSFERENCIA DE CALOR.	24
DE ACUERDO AL PROCESO DE LA TRANSFERENCIA	24
DE ACUERDO A LA TRAYECTORIA DE FLUJOS	26
DE ACUERDO A SU APLICACION.	27
DE ACUERDO A SU CONSTRUCCION.	29
CAPITULO III. GENERALIDADES DE DISEÑO DE LOS CAMBIADORES DE CALOR.	38
COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR.	43
CAPITULO IV. CRITERIOS PARA LA INSPECCION Y EL MANTENIMIENTO.	47
MANTENIMIENTO.	47

	PAGINA-
INSPECCION.	53
POLITICAS DE MANTENIMIENTO.	55
RECOPIACION DE DATOS.	58
FALLAS EN LOS CAMBIADORES DE CALOR.	64
INSTALACION.	77
OPERACION.	78
LIMPIEZA.	80
<b>CAPITULO V. TECNICAS Y HERRAMIENTAS EN LA INS-</b>	
<b>PECCION.</b>	<b>84</b>
MÉTODOS DESTRUCTIVOS DE INSPECCION.	
PRUEBA DE IMPACTO.	86
COLOCACION DE TALADROS DE PRUEBA.	88
DESEMBRIDADO.	88
TREPIDACION.	88
MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS DE INSPECCION.	88
MÉTODOS ELECTROMAGNETICOS.	
RADIACION.	89
METODO DE PARTICULAS MAGNETICAS.	91
METODO DE CORRIENTES EN REMOLINO (EDDY)	92
TERMOGRAFIA.	93
LIQUIDOS PENETRANTES.	94
ULTRASONIDO.	94
ANALISIS DE VIBRACIONES.	96
CONCLUSIONES.	98

## PAGINA •

## APENDICES •

APENDICE A. 100

APENDICE B. 104

APENDICE C. 109

APENDICE D. 111

BIBLIOGRAFIA. 131

## P R O L O G O .

EN LA PRESENTE TESIS SE TRATA EL MANTENIMIENTO COMO UN SISTEMA ADMINISTRATIVO CON EL OBJETIVO PRIMORDIAL DE ASEGURAR LA CONTINUIDAD DE LOS PROCESOS EN FORMA EFICIENTE AL MAS BAJO COSTO POSIBLE, CON UN MAXIMO DE SEGURIDAD Y A LA INSPECCION COMO UNA ACTIVIDAD PREVENTIVA DE LAS CONDICIONES FISICAS DE LOS EQUIPOS; QUE SE PRESENTAN COMO UNA SOLUCION PARA PREVENIR E INCLUSO EVITAR LOS PROBLEMAS CON LOS QUE NOS ENCONTRAMOS CUANDO SE ENCUENTRAN EN OPERACION.

DE AQUI QUE LOS ESFUERZOS QUE SE REALIZAN EN EL DISEÑO Y OPERACION DE LOS EQUIPOS REDUCEN EL PELIGRO DE CAER EN LOS ACCIDENTES, RECORDANDO QUE LA VIDA UTIL DE UNA PLANTA DEPENDE EN GRAN PARTE DEL NUMERO Y NATURALEZA DE LOS MISMOS, QUE OCURREN CUANDO LAS DESVIACIONES DEL ESTADO DE LAS CONDICIONES DE OPERACION DE LOS EQUIPOS SE DESENCADENAN DEBIDO A INTERACCIONES ENTRE HOMBRE Y EQUIPO QUE DEBEMOS TRATAR CONJUNTAMENTE COMO UNA COMBINACION, POR LO QUE EL ANALISIS DE LAS DESVIACIONES Y EL SEÑALAMIENTO DEL ORIGEN DEL ERROR SE DEBEN LLEVAR A CABO. LO CUAL EVIDENTEMENTE, NO ES TAREA SIMPLE; PROCEDIMIENTO QUE DEBE CONSIDERAR LAS DESVIACIONES UNA POR UNA, EN DONDE, PARA UNA DESVIACION DADA SE CONSIDERAN TODAS LAS CAUSAS QUE PODRIAN CONDUCCIRNOS A ELLA Y CONTRA CADA CAUSA ENCONTRAR LA ACCION MAS ADECUADA PARA ELIMINAR O PREVENIRLA EN EL FUTURO.

SE DESCRIBEN LOS PROBLEMAS QUE ACARREA LA FALTA DE CUIDADO

EN EL MONTAJE Y LA OPERACION DE LOS CAMBIADORES DE CALOR, ASI COMO LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DETERIORO Y DESGASTE DE LOS MISMOS.

ASI MISMO, SE SEÑALA LA IMPORTANCIA QUE TIENE EFECTUAR EL MANTENIMIENTO E INSPECCION; CUYA BASE FUNDAMENTAL ES EL CONOCIMIENTO DEL DISEÑO Y LOS PRINCIPIOS DE OPERACION DE LOS EQUIPOS, INDISPENSABLE PARA ESTABLECER LOS CRITERIOS Y LINEAMIENTOS ADECUADOS PARA LA CONSECUION DE LOS OBJETIVOS, ES DECIR, ORDENAR EL CONJUNTO DE ACCIONES GENERADAS QUE DEBERIAN SER EL PROCEDIMIENTO DE OPERACION DE LOS MISMOS.

ASI ES COMO EN LA PRESENTE TESIS, SE PROPORCIONAN ELEMENTOS Y CONDICIONES NECESARIAS PARA COORDINAR EL DESARROLLO DE LOS PROGRAMAS DE CONSERVACION Y USO EFICIENTE DE LOS RECURSOS DE LA ENERGIA; EL CUAL, JUNTO CON LA INFORMACION Y ANALISIS DE LOS DATOS DE OPERACION, NOS PERMITE ORGANIZAR LAS DIFERENTES ACTIVIDADES Y RECURSOS HUMANOS INVOLUCRANDO A PERSONAL DE DIFERENTES ESPECIALIDADES, CON UN SOLO FIN, EL AHORRO DE ENERGIA, PARTIENDO DESDE EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA ORGANIZATIVA, EL ANALISIS Y LA ASIGNACION DE RESPONSABILIDADES, AL ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA ADMINISTRATIVO Y DE ACCION QUE PRESENTE PROYECTOS Y RESULTADOS, PARA CUMPLIR CON LA MISION DE COADYUVAR AL DESARROLLO DE NUESTRO PAIS.

INICIAREMOS EL PRESENTE TRABAJO CON LOS PRINCIPIOS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR, MECANISMOS Y ECUACIONES DE DISEÑO; CLASIFICACION Y TIPOS BASICOS DE LOS CAMBIADORES, PARA CONTINUAR CON GENERALIDADES DE DISEÑO Y COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE

**CALOR.**

SE ANALIZAN LOS CONCEPTOS DE MANTENIMIENTO E INSPECCION, SU IMPORTANCIA Y POLITICAS DE MANTENIMIENTO, LA RECOPIACION DE DATOS NECESARIOS PARA LA ELABORACION DE PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO, ASI COMO LAS FALLAS EN LOS CAMBIADORES DE CALOR, SU INSTALACION, OPERACION Y LIMPIEZA COMO CRITERIOS QUE AFECTAN AL DISEÑO Y OPERACION DE LOS MISMOS.

Y FINALMENTE SE DAN LAS CONCLUSIONES CON ALGUNAS RECOMENDACIONES A TOMAR EN CUENTA TANTO EN OPERACION, COMO EN DISEÑO Y MANTENIMIENTO A LOS CAMBIADORES DE CALOR.

## SIGNIFICADO DE CARACTERES O SIGNOS USADOS EN ESTE TRABAJO

- \* EN LAS ECUACIONES SE UTILIZA COMO SIGNO DE MULTIPLICACION.
- \*\* EN LAS ECUACIONES SE UTILIZA COMO SIGNO EXPONENCIAL; - ASI POR EJEMPLO,  $X^{*2}$  SIGNIFICA: "X ELEVADO A LA POTENCIA DCS-
- REPRESENTA A LA LETRA GRIEGA DELTA, QUE TIENE COMO SIGNIFICADO: DIFERENCIA O INTERVALO.

## I N T R O D U C C I O N .

LA TRANSFERENCIA DE CALOR ES UNA OPERACION UTILIZADA AMPLIAMENTE EN LAS PLANTAS INDUSTRIALES DE TRANSFORMACION QUIMICA Y DE PROCESO PARA ALCANZAR CONDICIONES ESPECIFICAS REQUERIDAS DE INTERCAMBIO DE ENERGIA CALORIFICA ENTRE CORRIENTES DE PROCESO Y SERVICIOS AUXILIARES; DE GRAN IMPORTANCIA PARA LOS INGENIEROS Y CIENTIFICOS OCUPADOS EN EL ESTUDIO, PROYECCION, ADMINISTRACION Y APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA A TRAVES DEL INTERCAMBIO DE CALOR; Y, QUE DEBIDO A LAS CARACTERISTICAS DE LOS FLUIDOS QUE INTERVIENEN, LAS CONDICIONES DE OPERACION, ASI COMO LA MAGNITUD DE INVERSION EN EQUIPO DE INTERCAMBIO TERMICO, HAN IMPULSADO EL DESARROLLO DE UNA GRAN DIVERSIDAD DE TIPOS DE EQUIPOS, DE TAL MANERA QUE SE HACE INDISPENSABLE ESTAR DEBIDAMENTE FAMILIARIZADOS CON LOS DIFERENTES ASPECTOS RELATIVOS A DICHS EQUIPOS QUE PERMITAN SELECCIONAR, DISEÑAR O ANALIZAR AL MAS ADECUADO Y EFICIENTE PARA CADA NECESIDAD, UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE CALCULO Y CONOCIMIENTOS TECNICOS QUE PERMITAN HACER CONSIDERACIONES AUN DE FACTORES NO RELACIONADOS AL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD MISMA, COMO SON:

LA FACILIDAD DE LIMPIEZA, LA COMPLEJIDAD DE FABRICACION, EL MANTENIMIENTO Y LA INSPECCION; FACTORES IGUALMENTE IMPORTANTES EN LOS QUE SE DEBE PONER ATENCION CUIDADOSA, LO CUAL HA CRECIDO EN INTERES DEBIDO A LA IMPORTANCIA QUE TIENE LA CONSERVACION Y REDUCCION EN EL CONSUMO DE ENERGIA, PROVOCADO POR EL AUMENTO TAN ACELERADO QUE HOY EN DIA HAN TENIDO LOS COSTOS DE LA MISMA.

## CAPITULO I.

PRINCIPIOS DE LA TRANSFERENCIA  
DE CALOR.

LA TRANSFERENCIA DE CALOR QUE SE DEFINE COMO LA TRANSMISION DE ENERGIA DE UNA REGION A OTRA DEBIDO A LA PRESENCIA DE UN GRADIENTE DE TEMPERATURA EXISTENTE ENTRE ELLAS, ESTA RELACIONADA -- CON LA RAZON DE INTERCAMBIO DE CALOR ENTRE CUERPOS O SUSTANCIAS CALIENTES Y FRIAS LLAMADOS FUENTE Y RECEPTOR RESPECTIVAMENTE, TENIENDO COMO CARACTERISTICA UNICA LA DE MANTENER EL FLUJO TERMICO EN EL SENTIDO DE MAYOR A MENOR TEMPERATURA; PROPIEDAD QUE APROVECHA LA TECNOLOGIA INDUSTRIAL, UTILIZANDO PARA ELLO A LOS CAMBIADORES DE CALOR, CUYO DISEÑO TERMICO ESTA RELACIONADO CON LOS MECANISMOS DE FLUJO, EN VIRTUD DE LOS CUALES PUEDE FLUIR EL CALOR.

MECANISMOS DE TRANSFERENCIA  
DE CALOR.

LA ENERGIA TERMICA SE TRANSFERIRA SIEMPRE QUE EXISTA UNA DIFERENCIA DE NIVEL ENERGETICO, ES DECIR, CUALQUIER DIFERENCIA DE TEMPERATURA SERA SUFICIENTE PARA GENERAR UN FLUJO DE CALOR DEL -- MEDIO DE MAYOR A MENOR TEMPERATURA, DEPENDIENDO DEL MEDIO POR EL QUE SE TRANSFIERE.

EXISTEN TRES MECANISMOS DIFERENTES EN LOS QUE EL CALOR PUEDE INTERACCIONAR AUN CUANDO EN GRAN PARTE DE LAS APLICACIONES DE LA INGENIERIA SON COMBINACIONES DE ESTOS, A SABER: CONDUCCION, -

## CONVECCION Y RADIACION.

### M E C A N I S M O P O R C O N D U C C I O N .

LA CONDUCCION TIENE LUGAR A ESCALA MOLECULAR Y EL MECANISMO CORRESPONDE A UN TRANSPORTE DE LA CANTIDAD DE ENERGIA TERMICA DE LAS MOLECULAS INDIVIDUALES DEBIDO A UN GRADIENTE DE TEMPERATURA, ASI COMO TAMBIEN DE LAS CARACTERISTICAS DEL MEDIO, PORQUE ESTE PRESENTA CIERTA RESISTENCIA A LA TRANSMISION DEL CALOR, LA CUAL, SE HA DEMOSTRADO QUE ES INVERSAMENTE PROPORCIONAL AL AREA DE LA SUPERFICIE NORMAL AL FLUJO DE CALOR, ES DECIR, A MAYOR SECCION MENOR RESISTENCIA; PROPORCIONAL A LA DISTANCIA RECORRIDA Y COMO NO SE TIENEN MAS DATOS, SE RECURRE A VALORES ESPECIFICOS DE LA CONDUCTIVIDAD TERMICA "K", PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL PASO DEL CALOR QUE OFRECE UN MATERIAL SUPUESTO HOMOGENEO, COMO:

$$R = L / K \cdot A \quad (1.1)$$

CORRESPONDE A J. B. J. FOURIER EL ESTABLECIMIENTO DE LAS RELACIONES BASICAS PARA DICHO MECANISMO, EN EL CUAL EL FLUJO DE ENERGIA TERMICA, EVALUADO POR EL NUMERO DE CALORIAS QUE CIRCULAN POR UNIDAD DE TIEMPO A TRAVES DE UNA SECCION DETERMINADA, SE LLEVA A CABO A CONSECUENCIA DE LA PRESENCIA DEL GRADIENTE DE TEMPERATURA SIN QUE SE PRODUZCA UN DESPLAZAMIENTO OBSERVABLE DE LA MATERIA; GENERALIZACION QUE PUEDE REPRESENTARSE COMO:

$$Q / A = - K [ (T' - T) / X ] \quad (1.2)$$

QUE ES LA ECUACION DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCION, EN LA QUE:

EL SIGNO MENOS ES CONVENCIONAL, DE ACUERDO AL FLUJO DE CA--

LOR CON EL QUE SE REFLEJA EL HECHO FISICO DE QUE EL FLUJO -  
SE PRODUCE DE MAYOR A MENOR TEMPERATURA; (FIGURAS 1.1 Y 1.2)

$Q/A$  = ES EL FLUJO DE CALOR POR CONDUCCION.

$(T_1 - T_2)/X$ : ES EL GRADIENTE DE TEMPERATURA CON RESPECTO A LA --  
DISTANCIA RECORRIDA EN DIRECCION NORMAL AL AREA DE LA SUPER-  
FICIE.

$Q$  : LA VELOCIDAD DE FLUJO DE CALOR A TRAVES DE LA SUPERFICIE EN  
DIRECCION NORMAL A LA MISMA, DADA EN UNIDADES DE ENERGIA --  
TERMICA POR UNIDAD DE TIEMPO. (p.e. CALORIAS/TIEMPO )

$A$  : EL AREA DE LA SUPERFICIE DE LA SECCION DE PASO.

$T_2$  : LA TEMPERATURA DEL LADO FRIO DEL MATERIAL.

$T_1$  : LA TEMPERATURA DEL LADO CALIENTE.

$K$  = UNA CONSTANTE DE PROPORCIONALIDAD, VALOR ESPECIFICO DE LA -  
CONDUCTIVIDAD TERMICA, CARACTERISTICA DEL FLUJO DE CALOR --  
POR CONDUCCION PARA CADA MATERIAL.

$X$  = LA DISTANCIA MEDIDA EN DIRECCION NORMAL A LA SUPERFICIE, --  
QUE PARA EL CASO DE UNA PARED O DE UN TUBO SERA EL ESPESOR.  
DE ESTA MANERA LA ECUACION (1) EXPRESADA EN FORMA DIFEREN-  
CIAL, RECIBE EL NOMBRE DE LEY DE FOURIER =

$$dq / dA = - K ( dT / dx ) \quad (1.3)$$

ECUACION EN LA QUE LA DERIVADA PARCIAL  $(dx)$ , PONE DE MANI-  
FIESTO EL HECHO DE QUE LA TEMPERATURA PUEDE VARIAR TANTO CON LA  
LOCALIZACION, COMO CON EL TIEMPO Y ES APLICABLE PARA EL FLUJO DE  
CALOR A TRAVES DE UNA SUPERFICIE CUALQUIERA, NO NECESARIAMENTE -  
ISOTERMICA.

LA LEY DE FOURIER ESTABLECE QUE LA CONDUCTIVIDAD TERMICA, -

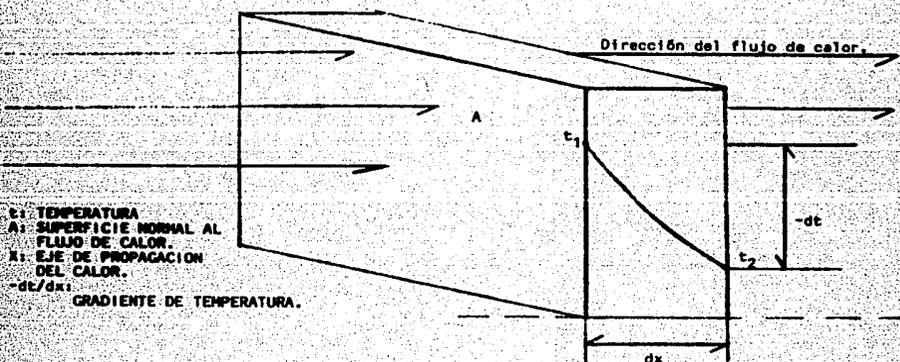


FIG. 1.1.- FLUJO DE CALOR POR CONDUCCION A TRAVES DE UNA PARED

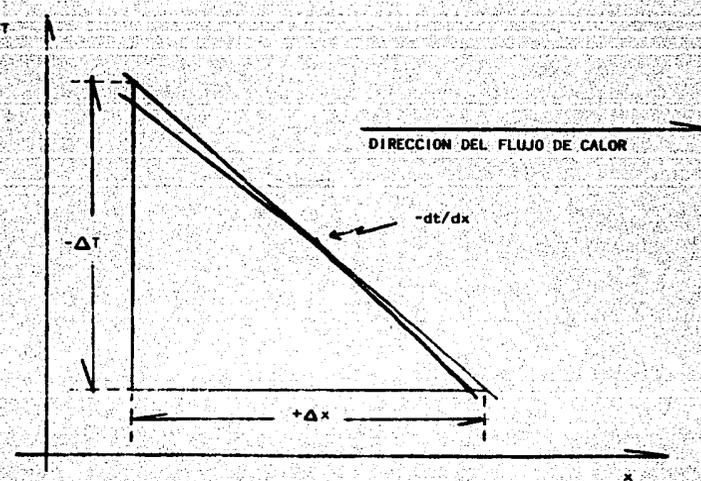


FIG. 1.2.- CONVENCIÓN DEL SIGNO PARA EL FLUJO DE CALOR

( LA CUAL SE DETERMINA EXPERIMENTALMENTE PARA CADA MATERIAL EN PARTICULAR ) ES INDEPENDIENTE DEL GRADIENTE DE TEMPERATURA, PERO NO NECESARIAMENTE DE LA TEMPERATURA MISMA. LA EXPERIENCIA CONFIRMA SU INDEPENDENCIA EN UN AMPLIO INTERVALO DE TEMPERATURAS, EXCEPTO PARA SOLIDOS POROSOS; SIN EMBARGO, PARA EL DISEÑO DE CAMBIADORES DE CALOR ES CASI SIEMPRE SUFICIENTE EVALUAR A LA TEMPERATURA PROMEDIO DEL MATERIAL Y SUPONER QUE ES CONSTANTE; SUS VALORES SE PUEDEN ENCONTRAR MEDIANTE TABLAS, GRAFICAS O NOMOGRAMAS QUE EXISTEN EN LA LITERATURA ABIERTA.

#### M E C A N I S M O P O R C O N V E C C I O N .

LA CONVECCION ES LA TRANSFERENCIA DE CALOR ENTRE LAS MOLECULAS RELATIVAMENTE CALIENTES Y FRIAS DE UN FLUIDO, QUE SE PUEDE DEFINIR COMO EL TRANSPORTE DE CALOR DE UN PUNTO A OTRO DENTRO DEL MISMO, COMO RESULTADO QUE OPERA A NIVEL MACROMOLECULAR, PRESENTANDOSE EN LOS FLUIDOS POR DESPLAZAMIENTO DE MASAS DEBIDO AL CAMBIO DE DENSIDAD OCACIONADO POR EL FLUJO DE CALOR. ASI SI A UN LIQUIDO CONTENIDO EN UN RECIPIENTE SE LE COLOCA SOBRE UNA FUENTE DE CALOR, ES EVIDENTE QUE LA PORCION DE LIQUIDO QUE SE HAYA EN EL FONDO DEL RECIPIENTE ELEVA SU TEMPERATURA, SU DENSIDAD SE ABATE DEBIDO A SU EXPANSION TERMICA Y DESPUES ASCIENDE A LAS REGIONES SUPERIORES FRIAS OCACIONANDO CORRIENTES EN CUYO MOVIMIENTO SE ORIGINA LA TRANSMISION DE CALOR POR MEZCLADO. A ESTE TIPO DE TRANSPORTE DE ENERGIA SE LE DENOMINA CONVECCION LIBRE, EL CUAL FAVORECERA NOTABLEMENTE EL FENOMENO DE MEZCLADO SI SE LE APLICA AGITACION MECANICA, Y EN ESTE CASO LA TRANSFERENCIA DE CALOR SE-

LE CONOCE COMO CONVECCION FORZADA.

LA CONVECCION ES UN MECANISMO BASTANTE COMPLEJO QUE SE PRESENTA TÍPICAMENTE EN LA INTERFASE DE UN SÓLIDO Y UN FLUIDO EN EL QUE LA RESISTENCIA ENCONTRADA ES CASI EXCLUSIVAMENTE DEBIDA A UNA PELÍCULA ESTACIONARIA, DE TAL MANERA QUE SI SUPIERAMOS EL ESPESOR DE DICHA PELÍCULA, PRÁCTICAMENTE TENDRIAMOS RESUELTO EL PROBLEMA, PERO COMO DEPENDE DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL FLUIDO, DE LAS DE LA CIRCULACION Y DE LA GEOMETRIA DEL SISTEMA; SU DETERMINACION ES MAS COMPLICADA.

SIN EMBARGO, TENIENDO EN CUENTA LO QUE SE MENCIONO PARA LA CONDUCCION Y DESDE UN PUNTO DE VISTA ESTRICTAMENTE LOGICO, EL FLUJO DE CALOR A TRAVES DE UN MEDIO ES DIRECTAMENTE PROPORCIONAL A UN POTENCIAL TERMICO E INVERSAMENTE PROPORCIONAL A LA RESISTENCIA QUE PRESENTA EL MEDIO A DICHO FLUJO, CUYA SOLUCION INVOLUCRA AL CONCEPTO DE COEFICIENTE INDIVIDUAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR, CONCLUYENDO QUE LA RESISTENCIA TERMICA QUE PRESENTA UN MEDIO PARA EL CASO DE CONVECCION ES:

$$R = 1 / (h * A) \quad (1.4)$$

EN DONDE ES IMPORTANTE ACLARAR QUE EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR "H" ES LA FACILIDAD QUE UN MEDIO PRESENTA AL FLUJO DE CALOR Y EN NINGUN CASO DEBE CONSIDERARSE COMO UNA RESISTENCIA. DE ESTA MANERA TENEMOS QUE LA ECUACION DE TRANSFERENCIA DE CALOR QUE EXPRESA EL EFECTO DE CONVECCION, SE REPRESENTA POR LA LEY DE ENFRIAMIENTO DE NEWTON COMO:

$$Q = h * A * \Delta T \quad (1.5)$$

ESTA ECUACION ES APLICABLE A LOS DIFERENTES CASOS DE TRANS-

FERENCIA DE CALOR POR CONVECCION; EN DONDE LA FORMA DE ESTABLE--  
 CER EL VALOR DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR " $h$ ", ES A  
 TRAVES DE CONSIDERACIONES DE CORRELACIONES DE ANALISIS DIMENSIONAL E INVESTIGACION EXPERIMENTAL O DE ANALOGIAS HECHAS ENTRE LA  
 TRANSFERENCIA DE CALOR Y LA DE MOMENTUM, CON LO QUE SE HAN DEDU--  
 CIDO ECUACIONES A EMPLEAR EN CADA CASO PARA DETERMINARLO Y, SE --  
 HA RECURRIDO A PRESENTAR LAS ECUACIONES MEDIANTE NOMOGRAMAS O SE --  
 HAN DESARROLLADO PROGRAMAS DE COMPUTACION ESPECIFICOS PARA OBTEN--  
 ER RAPIDAS SOLUCIONES.

CON FRECUENCIA ES CONVENIENTE EN EL TRABAJO DEL DISEÑO DE --  
 CAMBIADORES DE CALOR COMBINAR LOS DOS COEFICIENTES DE TRANSFEREN--  
 CIA DE CALOR DE SUPERFICIE " $h$ " (ESTO ES, PARA LAS CORRIENTES DEL  
 FLUIDO CALIENTE Y DEL FLUIDO FRIO) Y LA RESISTENCIA TERMICA DE --  
 LA PARED DEL DUCTO PARA DAR UN SOLO PARAMETRO, EL COEFICIENTE --  
 GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR " $U$ ".

#### M E C A N I S M O P O R R A D I A C I O N .

EL MECANISMO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACION SE --  
 EFECTUA ENTRE DOS PUNTOS DISTANTES DE DIFERENTE NIVEL ENERGETICO,  
 SIN NECESIDAD DE UN MEDIO FISICO DE TRANSPORTE Y SIN QUE SE ELE--  
 VE NECESARIAMENTE LA TEMPERATURA DEL ESPACIO ENTRE LOS DOS PUN--  
 TOS. ESTE MECANISMO OPERA EN VIRTUD DE UN MOVIMIENTO ONDULATORIO  
 EN FORMA SEMEJANTE A LA RADIACION LUMINOSA, QUE DESDE EL PUNTO --  
 DE VISTA MICROSCOPICO, ESTA INTIMAMENTE LIGADO CON LA TEORIA DE  
 LA MECANICA CUANTICA, PUESTO QUE LA ENERGIA QUE UN CUERPO CALIEN--  
 TE EMITE, DEPENDE DEL ESTADO DE EXITACION MOLECULAR Y ATOMICO --

QUE SE TENGA; Y DICHA ENERGIA SE EMITE EN FORMA DE RADIACIONES - ELECTROMAGNETICAS. NO OBSTANTE, NO SE HA ESTABLECIDO TOTALMENTE CUAL ES EL AGENTE PORTADOR DE LA ENERGIA RADIANTE, NI LA VERDADERA NATURALEZA DE LA RADIACION.

LA RADIACION QUE INCIDE SOBRE LA SUPERFICIE DE UN SOLIDO --- PUEDE ABSORBERSE O REFLEJARSE Y DEPENDE COMPLETAMENTE DE LA NATURALEZA DE SU FUENTE, ASI PARA UN SOLIDO REAL, LA FRACCION DE LA ENERGIA INCIDENTE QUE ABSORBE SE LE DA EL NOMBRE DE COEFICIENTE DE ABSORCION Y, ESTA FRACCION VARIA PARA DIFERENTES FRECUENCIAS.

J. STEFAN Y L. BOLTZMANN ESTABLECIERON LA LEY QUE RIGE A ESTE MECANISMO, DE ACUERDO A LA CUAL PUEDE DECIRSE QUE LA ECUACION DE LA VELOCIDAD A LA CUAL UN CUERPO DA CALOR, ES COMO SIGUE:

$$dq = S * E * F * dA * T ** 4 \quad (1.6)$$

DEFINIDA COMO LA LEY DE LA CUARTA POTENCIA, EN DONDE:

Q : ES EL CALOR TRANSFERIDO.

S : SE DENOMINA COMO LA CONSTANTE DE STEFAN-BOLTZMANN.

E : ES UN FACTOR DE LA RADIACION QUE ESTA EN FUNCION DE LA EMISIVIDAD DEL CUERPO CON RESPECTO A LA DE UN CUERPO - NEGRO.

F : ES UN FACTOR GEOMETRICO QUE TOMA EN CONSIDERACION EL - HECHO DE QUE NO TODA LA RADIACION EMITIDA POR UN CUERPO ES RECIBIDA POR EL OTRO.

A : ES LA SUPERFICIE DE TRANSFERENCIA Y

T : ES LA TEMPERATURA DE LOS CUERPOS.

PARA EL CASO HIPOTETICO EN EL QUE EL COEFICIENTE DE ABSOR--- CION DE UN CUERPO ES CONSTANTE E INDEPENDIENTE DE LA FRECUENCIA

DE LA RADIACION INCIDENTE, SE LE DENOMINA CUERPO GRIS, CUYO CASO LIMITANTE ES EL CUERPO NEGRO QUE POSEE UN COEFICIENTE DE ABSORCION IGUAL A UNO, ES DECIR, ABSORBE TODA LA ENERGIA QUE INCIDE SOBRE EL.

RESPECTO A LA ENERGIA RADIANTE, TODAS LAS SUPERFICIES SOLIDAS LA EMITEN; SIN EMBARGO, SI SE TIENE QUE PARA UNA TEMPERATURA DADA, LA MAXIMA ENERGIA EMITIDA CORRESPONDE AL CUERPO NEGRO, ENTONCES LA FRACCION DE ENERGIA EMITIDA POR UN CUERPO REAL CONSTITUYE LA EMISIVIDAD DEL MISMO.

LA APLICACION DEL MECANISMO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACION LA ENCONTRAMOS EN EL DISEÑO DE HORNOS Y CALDERAS DONDE LA SECCION DE RADIACION EN AMBOS CASOS TIENE UN PAPEL DE GRAN IMPORTANCIA EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS.

#### E C U A C I O N B A S I C A D E D I S E Ñ O .

LAS ECUACIONES PARA LOS DIFERENTES MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, NOS RELACIONAN LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA CON LA DIFERENCIA DE TEMPERATURAS, EL AREA Y EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR; SIN EMBARGO, EN LA MAYORIA DE LAS APLICACIONES EN CAMBIADORES DE CALOR, UNA O AMBAS TEMPERATURAS DE LAS CORRIENTES INVOLUCRADAS CAMBIAN DE PUNTO A PUNTO A LO LARGO DE LA TRAYECTORIA DEL FLUJO EN EL EQUIPO. POR TANTO SE TRATA DE DETERMINAR LA RELACION QUE EXISTE ENTRE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURAS DE LAS CORRIENTES Y LA CANTIDAD DE CALOR QUE SE TRANSFIERE.

LA ECUACION DE DISEÑO APLICADA A CAMBIADORES DE CALOR SE PUEDE EXPRESAR EN FORMA DIFERENCIAL, CON LA DIFERENCIA DE TEMPE-

RATURAS ENTRE LAS CORRIENTES COMO VARIABLE. POR LO TANTO LA ECUACION INTEGRADA PARA LA CARGA TERMICA COMPLETA:

$$A = dq / [ U * (T - T) ] \quad (1.7)$$

ES LA ECUACION BASICA DE DISEÑO PARA CAMBIADORES DE CALOR, DONDE "U" : ES EL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR, DADO EN FUNCION DE LAS RESISTENCIAS A LA TRANSFERENCIA DE CALOR: (FIG. 1.3) - (TABLA 1.1)

$$1 / U = 1 / h' + 1 / h'' + R_D + K / L \quad (1.8)$$

ECUACION EN LA QUE:

$h'$  : ES EL COEFICIENTE DE PELICULA INTERNO Y,

$h''$  : ES EL COEFICIENTE DE PELICULA EXTERNO;

LOS CUALES A SU VEZ ESTAN INTEGRADOS POR DIFERENTES PARAMETROS Y PROPIEDADES FISICAS DE LOS FLUIDOS A UNA TEMPERATURA DETERMINADA LO MAS REPRESENTATIVAS PARA EL PROCESO INTERNO Y PARA EL PROCESO EXTERNO RESPECTIVAMENTE.

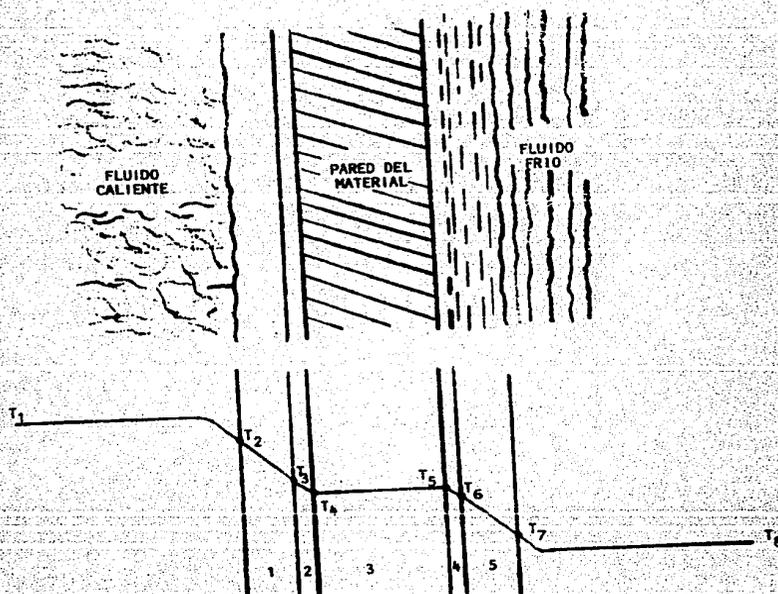
$K/L$ : LA CONDUCTIVIDAD DE CALOR DEL MATERIAL DE LA PARED QUE EN MUCHAS CONSIDERACIONES SE TOMA COMO DESPRECIABLE, PERO QUE SIN EMBARGO Y DEBIDO A LA VARIEDAD DE METALES EXISTENTES, ESTO NO PUEDE SER CIERTO; SU VALOR SERA SIGNIFICATIVO CUANDO SE TENGAN GRANDES ESPESORES Y/O BAJA CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL METAL Y/O BAJAS RESISTENCIAS EN LOS FLUIDOS, POR LO TANTO DEBE CONSIDERARSE AUN CUANDO SU VALOR QUEDA FIJO CON EL MATERIAL Y EL ESPESOR.

$R_D$  : ES EL FACTOR DE ENSUCIAMIENTO QUE USUALMENTE NO PUEDE ESTIMARSE CON CERTIDUMBRE SIN TENER UNA EXPERIENCIA CONSIDERABLE DE LAS CORRIENTES DE LOS FLUIDOS BAJO INVESTIGACION. -

ES UNA MEDIDA DE LA ACUMULACION DE PARTICULAS EXTRAÑAS EN LA SUPERFICIE DE TRANSFERENCIA Y, AUNQUE DEPENDE DE LA VELOCIDAD, GENERALMENTE SE CONSIDERA CONSTANTE.



RESISTENCIA A LA TRANSFERENCIA  
DE CALOR



RESISTENCIAS:

1. POR PELICULA DEL FLUIDO INTERNO.
2. POR INCRUSTACION DENTRO DE TUBOS
3. POR MATERIAL DEL TUBO.
4. POR INCRUSTACION FUERA DE TUBOS.
5. POR PELICULA DEL FLUIDO EXTERNO.

FIG. 1.3

PERFIL DE TEMPERATURAS A TRAVES DE LAS RESISTENCIAS  
ENTRE AMBOS FLUIDOS EN EQUIPOS DE TRANSFERENCIA DE  
CALOR.

TABLA 1.1

INTERVALOS DE COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR "U"  
(BTU/HR ft<sup>2</sup> °F)

REFERENCIA: MANUAL DE POTENCIA. PUBLICACIONES MCGRAW-HILL

TIPO DE INTERCAMBIO DE CALOR	U CONVECCION LIBRE	U CONVECCION FORZADA	FLUIDO TIPICO	EQUIPO TYPICO
LIQUIDO A LIQUIDO	25-60	150-300	AGUA	INTERCAMBIADOR LIQUIDO A LIQUIDO.
LIQUIDO A LIQUIDO	5-10	20-50	ACEITE	
LIQUIDO A GAS (PRESION ATM.)	1-3	2-10		RADIADORES DE AGUA CALIENTE.
LIQUIDO A LIQUIDO EN EBULLICION	20-60	50-150	AGUA	ENFRIADORES DE SALMUERA
LIQUIDO A LIQUIDO EN EBULLICION	5-20	25-60	ACEITE	
GAS (PRESION ATM) A LIQUIDO	1-3	2-10		ECONOMIZADORES, ENFRIADORES DE AIRE.
GAS (PRESION ATM) A GAS	0.6-2	2-6		SOBRECALENTADORES DE AGUA.
GAS (PRESION ATM) A LIQ. EN EBULLICION.	1-3	2-10		CALDERAS DE VAPOR.
VAPOR DE CONDENSACION A LIQUIDO	50-200	150-800	VAPOR-AGUA	CALENTADORES DE LIQUIDO Y CONDENSADORES.
VAPOR DE CONDENSACION A LIQUIDO	10-30	20-60	VAPOR-ACEITE	
VAPOR DE CONDENSACION A LIQUIDO	40-80	60-150	VAPOR ORGANICO-AGUA	
VAPOR DE CONDENSACION A LIQUIDO		15-300	VAPOR-MEZCLA GASEOSA	
VAPOR DE CONDENSACION A GAS (PRESION ATM).	1-2	2-10		TUBERIAS DE VAPOR EN AIRE. CALENTADORES DE AIRE.
VAPOR DE CONDENSACION A LIQUIDO EN EBULLICION.	40-100			EVAPORADORES CON FORMACION DE INCRUSTACIONES.
VAPOR DE CONDENSACION A LIQUIDO EN EBULLICION.	300-800		VAPOR-AGUA.	
VAPOR DE CONDENSACION A LIQUIDO EN EBULLICION.	50-150		VAPOR-ACEITE	

## C A P I T U L O   I I .

## TIPOS DE EQUIPO DE TRANSFERENCIA DE CALOR .

LOS CAMBIADORES DE CALOR SON EQUIPOS DE PRIMORDIAL IMPORTANCIA EN LAS PLANTAS DE PROCESOS INDUSTRIALES. EN LOS QUE EL CALOR SE TRANSFIERE DE UNA A OTRA CORRIENTE, NORMALMENTE POR PROCESOS COMBINADOS DE CONDUCCION Y CONVECCION, SIENDO SU PRINCIPAL OBJETIVO EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA CALORIFICA, LO CUAL REPRESENTA UN GRAN AHORRO EN COMBUSTIBLES Y SERVICIOS.

POR CONSIGUIENTE, EL DISEÑO Y APLICACION DE LOS CAMBIADORES DE CALOR HAN SIDO OBJETO DE CONSIDERACIONES IMPORTANTES PARA LAS PLANTAS INDUSTRIALES.

AHORA BIEN, LA CLASIFICACION DE LOS CAMBIADORES DE CALOR SE DA DE MUY VARIADAS FORMAS, DE LAS CUALES TENEMOS LAS SIGUIENTES, A SABER: (TABLA 2.1)

## DE ACUERDO AL PROCESO DE LA TRANSFERENCIA.

DE ACUERDO AL PROCESO DE TRANSFERENCIA LOS CAMBIADORES DE CALOR SE PUEDEN DIVIDIR EN EQUIPO DE CONTACTO DIRECTO, EN DONDE LA TRANSFERENCIA SE EFECTUA POR CONTACTO DIRECTO ENTRE DOS CORRIENTES GENERALMENTE DE FLUIDOS INMISIBLES ENTRE SI, DE TAL MANERA QUE PUEDAN SEPARARSE FACILMENTE DESPUES DEL INTERCAMBIO TERMICO, SIN QUE LA CONTAMINACION ENTRE SI REPRESENTE UN PROBLEMA, Y CON LA VENTAJA DE LOGRAR BUENOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA COMO SUCEDE CON LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO, CAMBIADORES ATMOSFE-

TABLA 2.1

## CLASIFICACION DE LOS CAMBIADORES DE CALOR

## DE ACUERDO AL PROCESO DE TRANSFERENCIA:

- De contacto directo.
- De contacto indirecto.

## DE ACUERDO A LA TRAYECTORIA DE FLUJOS:

- Flujo concurrente o paralelo.
- Flujo a contracorriente.
- Flujo cruzado simple y multicruzado.

## DE ACUERDO A SU APLICACION:

- Congelador o Chiller.
- Condensadores.
- Enfriadores.
- Cambiador.
- Calentador.
- Hervidor o reboiler.
- Radiadores.
- Generador de vapor.
- Vaporizador.
- Enfriador de guarnición.
- Recuperador.
- Torres de enfriamiento.

## DE ACUERDO A SU CONSTRUCCION:

- De tubo y coraza.
  - .. De espejos fijos.
  - De tubos en U.
  - De cabezal flotante.
- De doble tubo y multitubos.
- Enfriados por aire.
- De platos y espirales.
- De construcción especial.

**RICOS, CONDENSADORES EVAPORATIVOS O DESAERADORES, ETC.**

**Y, LOS DE CONTACTO INDIRECTO EN LOS CUALES LA TRANSFERENCIA DE UNA A OTRA CORRIENTE SE HACE A TRAVES DE UNA PARED QUE LAS SEPARA PARA PREVENIR SU CONTAMINACION, CON LA DESVENTAJA INHERENTE DE FORMACION DE INCRUSTACIONES QUE CONSTITUYEN UNA MAYOR RESISTENCIA A LA TRANSFERENCIA DE CALOR.**

**DE ACUERDO A LA TRAYECTORIA DE FLUJOS.**

**LA MAYORIA DE LOS CAMBIADORES DE CALOR SE PUEDEN CLASIFICAR DE ACUERDO A LA CONFIGURACION DE LAS TRAYECTORIAS DE LOS FLUIDOS A TRAVES DEL EQUIPO, EN DONDE TENEMOS QUE LOS TIPOS MAS COMUNES SON COMO SIGUE:**

**FLUJO CONCURRENTE; UNIDADES DE DOS CORRIENTES DE FLUIDOS -- QUE ENTRAN POR EL MISMO LADO, FLUYEN EN LA MISMA DIRECCION Y SALLEN TAMBIEN JUNTOS POR EL OTRO LADO.**

**FLUJO A CONTRACORRIENTE O FLUJO CONTRARIO; UNIDADES DE DOS CORRIENTES FLUIDAS QUE SE MUEVEN EN DIRECCIONES OPUESTAS.**

**FLUJO CRUZADO DE SIMPLE PASO; UNIDADES EN LAS QUE UN FLUIDO SE MUEVE A TRAVES DEL EQUIPO EN FORMA PERPENDICULAR A LA TRAYECTORIA DEL OTRO FLUIDO.**

**FLUJO CRUZADO DE MULTIPASOS; UNIDADES EN QUE UNO DE LOS -- FLUIDOS VA Y VIENE, REGRESA Y ADELANTA CRUZANDO LA TRAYECTORIA -- DE FLUJO DE LA OTRA CORRIENTE FLUIDA.**

**LA DIFERENCIA MAS IMPORTANTE ENTRE ESTOS CUATRO TIPOS BASICOS, CONSISTE EN LA CANTIDAD RELATIVA REQUERIDA DE AREA DE SUPERFICIE DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA PRODUCIR UNA VARIACION DE --**

TEMPERATURA DADA, PARA UNA DIFERENCIA DE TEMPERATURA REQUERIDA -  
ENTRE LAS DOS CORRIENTES DE FLUIDOS.

DE ACUERDO A SU APLICACION.

EN BASE A LAS MUCHAS APLICACIONES INDUSTRIALES PARA LAS CUA-  
LES SE DISEÑAN Y CONSTRUYEN LOS CAMBIADORES DE CALOR RECIBEN VA-  
RIOS NOMBRES DE ACUERDO AL TIPO DE SERVICIO QUE DESEMPEÑAN, TA-  
LES COMO:

#### CONGELADOR O CHILLER-

EQUIPO QUE ENFRIA UN FLUIDO A UNA TEMPERATURA INFERIOR A LA  
QUE SE PODRIA LOGRAR CON ENFRIAMIENTO HECHO CON AGUA; EL CUAL --  
UTILIZA COMO MEDIO ENFRIANTE A ALGUN REFRIGERANTE; PROPILENO, --  
FREON, ETC.

#### CONDENSADORES.

COMO SU NOMBRE LO DICE, SE UTILIZA PARA CONDENSAR. ASI TENE-  
MOS QUE CUANDO ES "PARCIAL"; CONDENSA LOS VAPORES A UN GRADO TAL  
DE LOGRAR TEMPERATURAS ARRIBA DE LA TEMPERATURA DE BURBUJA DE --  
LOS VAPORES QUE SE TRATAN, DE TAL MANERA QUE EL FLUIDO QUE SALE,  
ES UNA MEZCLA DE VAPOR Y LIQUIDOS.

O COMO CONDENSADOR TOTAL, QUE CONDENSA A UNA TEMPERATURA FI-  
NAL DE ALMACENAMIENTO.

#### ENFRIADOR.

EL CUAL ENFRIA LIQUIDOS O GASES POR MEDIO DE AGUA.

#### CAMBIADORES.

PROPIAMENTE LOS CAMBIADORES TIENEN UNA DOBLE FUNCION, QUE --  
CONSISTE EN CALENTAR UNA CORRIENTE DE PROCESO, UTILIZANDO UNA CO-

ORRIENTE DE UN FLUIDO CALIENTE QUE SE ENFRIA, A LA VEZ QUE SE TIENE UNA ECONOMIA DE ENERGIA.

#### CALENTADOR.

EL CUAL IMPARTE CALOR SENSIBLE A UN FLUIDO.

#### HERVIDOR O REBOILER.

CONECTADO AL FONDO DE UNA COLUMNA DE FRACCIONAMIENTO. PROVEE EL CALOR NECESARIO PARA LA DESTILACION. EL MEDIO DE CALENTAMIENTO PUEDE SER VAPOR O ALGUN FLUIDO CALIENTE.

#### RADIADORES.

CAMBIADOR DE CALOR QUE SE UTILIZA PARA DISIPAR EL CALOR DE LOS ALREDEDORES.

#### GENERADOR DE VAPOR.

GENERA VAPOR DE AGUA PARA USO EN LA PLANTA, UTILIZANDO EL CALOR DISPONIBLE DE UN ACEITE PESADO.

#### VAPORIZADOR.

EL CUAL ES UN CALENTADOR QUE VAPORIZA PARTE DE UNA CORRIENTE LIQUIDA DEL PROCESO.

#### ENFRIADOR DE GUARNICION (TRIM COOLER).

ESTE EQUIPO ENFRIA UNA CORRIENTE DE PROCESO PROVENIENTE DE ALGUN ENFRIADOR CON AIRE, PARA BAJAR LA TEMPERATURA DEL FLUIDO DE PROCESO A UNA TEMPERATURA CERCANA A LA DE ALIMENTACION DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO.

#### RECUPERADORES (WASTE HEAT BOILER).

EQUIPO QUE SIRVE PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA TOTAL DE UNA PLANTA, PRODUCIENDO VAPOR, USANDO EL EFLUENTE CALIENTE. AUNQUE LAS UNIDADES QUE GENERAN VAPOR DE BAJA NO PRESENTAN PROBLEMAS EN

SU DISEÑO, LOS EQUIPOS PARA ALTA PRESION PRESENTAN DIFICULTADES EN SU DISEÑO MECANICO.

#### TORRES DE ENFRIAMIENTO.

EN LAS CUALES EL CALOR SE DISIPA A LA ATMOSFERA POR EVAPORACION DEL FLUIDO QUE SE DIFUNDE POR ROCIAMIENTO.

#### DE ACUERDO A SU CONSTRUCCION.

EN GENERAL LOS CAMBIADORES DE CALOR DE ACUERDO A SU CONSTRUCCION SE PUEDEN AGRUPAR EN LA SIGUIENTE CLASIFICACION, A SABER:

- \* CAMBIADORES DE CALOR DE TUBO Y CORAZA.
- \* CAMBIADORES DE CALOR DE DOBLE TUBO Y MULTI-TUBOS.
- \* CAMBIADORES DE CALOR ENFRIADOS POR AIRE.
- \* CAMBIADORES DE CALOR DE PLATOS Y ESPIRALES.
- \* CAMBIADORES DE CALOR ESPECIALES.

DE LOS CUALES, LOS DE TUBO Y CORAZA (FIG. 2.1) SON LOS QUE CON MAS FRECUENCIA SE USAN, DE TAL MANERA QUE SE CONSIDERAN COMO UN ESTANDAR CONTRA EL QUE PUEDEN COMPARARSE OTROS TIPOS DE CAMBIADORES DE CALOR, HABIENDO TRES TIPOS BASICOS DE CONSTRUCCION, A SABER: (FIG. 2.2)

- \* CAMBIADORES DE CALOR DE ESPEJOS FIJOS.
- \* CAMBIADORES DE CALOR DE TUBOS EN "U".
- \* CAMBIADORES DE CALOR DE CABEZAL FLOTANTE.

TENIENDO ESTOS CAMBIADORES DE CALOR LA POSIBILIDAD DE DISPONER DE UNA AMPLIA VARIEDAD DE TAMAOS Y FORMAS EN SUS PARTES

CONSTITUTIVAS QUE LOS HACEN CAPACES DE MANEJAR ADECUADAMENTE CUALQUIER FLUJO, CARGA TERMICA Y CAIDAS DE PRESION REQUERIDAS POR EL SERVICIO. (TABLA 2-2)

LOS CAMBIADORES DE DOBLE TUBO SE HAN USADO AMPLIAMENTE EN SERVICIOS CON FLUJOS PEQUEÑOS Y CON DIFERENCIAS DE TEMPERATURA GRANDES. CUANDO SE TIENEN FLUIDOS A PRESIONES Y TEMPERATURAS ALTAS, SIENDO EXTREMADAMENTE UTILES PORQUE SE PUEDEN FABRICAR Y ENSAMBLAR FACILMENTE A PARTIR DE ELEMENTOS PREFABRICADOS, PROPORCIONANDO SUPERFICIE DE TRANSFERENCIA DE CALOR A BAJO COSTO, CON LA DESVENTAJA DE REQUERIR UNA CANTIDAD CONSIDERABLE DE ESPACIO Y PRESENTAR LA POSIBILIDAD DE FUGAS EN LAS HORQUILLAS. (FIGURA 2-3).

LOS CAMBIADORES DE CALOR ENFRIADOS POR AIRE HAN SIDO DISEÑADOS PRINCIPALMENTE POR LA DIFICULTAD DE DISPOSICION DE AGUA DE ENFRIAMIENTO, PRESENTANDO LA VENTAJA DE SER EL AIRE FISICAMENTE ESTABLE Y NO CORROSIVO, EXEPTO EN AREAS EN QUE EL AIRE ESTA CONTAMINADO, Y ADEMAS NO EXISTE NINGUN LIMITE SUPERIOR PARA LA TEMPERATURA DE SALIDA, MIENTRAS QUE EL AGUA SI PRESENTA ESTA LIMITACION EN SU PUNTO DE EVAPORACION. (FIGURA 2-4).

EL HECHO DE QUE PARA LA MAYORIA DE LOS SERVICIOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EL PASAJE CON FORMAS RECTANGULARES SEA MAS EFECTIVO QUE EL TUBULAR, HACE QUE LOS CAMBIADORES DE CALOR DE PLACAS SEAN UNA DE LAS PRINCIPALES ALTERNATIVAS. (FIGURA 2-5).

AUNQUE SE TIENEN LIMITACIONES PARA PRESIONES DE OPERACION ALTAS, PUEDE DECIRSE QUE PARA SERVICIOS LIQUIDO-LIQUIDO O CUANDO SE REQUIEREN MATERIALES DE CONSTRUCCION RESISTENTES A LA CORRO-

SION, LOS CAMBIADORES DE CALOR DE PLACAS TIENEN UNA POSICION VENTAJOSA SOBRE OTROS TIPOS.

EXISTEN ALGUNOS TIPOS ESPECIALES DE CAMBIADORES DE CALOR, COMO EL DESCRITO POR SU FABRICANTE BAVEX, COMO UN CAMBIADOR DE CALOR HIBRIDO, QUE SE DICE COMBINA LA EFICIENCIA TERMICA, EL TAMAÑO COMPACTO Y LA FACILIDAD DE LIMPIEZA DE LOS DEL TIPO DE PLATOS CON LAS VARIACIONES DE PRESION Y TEMPERATURA DE LOS DE TUBO Y CORAZA. LO CUAL OFRECE GRANDES VENTAJAS SOBRE LOS DEMAS TIPOS, Y OTROS COMO EL DE LA FIGURA 2-6.

SIN EMBARGO LA SELECCION DEL TIPO DE EQUIPO DEPENDE PRINCIPALMENTE DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS FLUIDOS, SUS PROPIEDADES, TEMPERATURAS Y DE LA PRESION DE TRABAJO, SIENDO LA ESPECIFICACION E INGENIERIA APROPIADA DE LOS CAMBIADORES DE CALOR LA QUE CONTRIBUYA A LA SEGURIDAD Y OPERACION PROVECHOSA DE LA PLANTA.

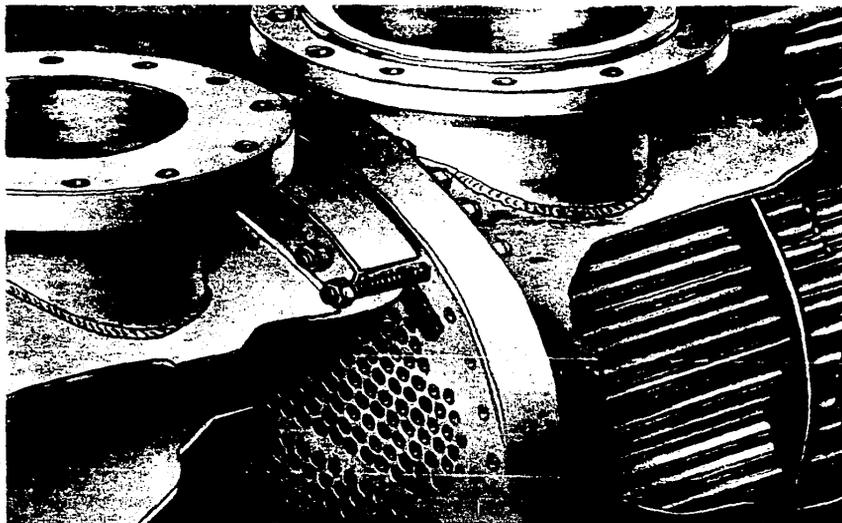
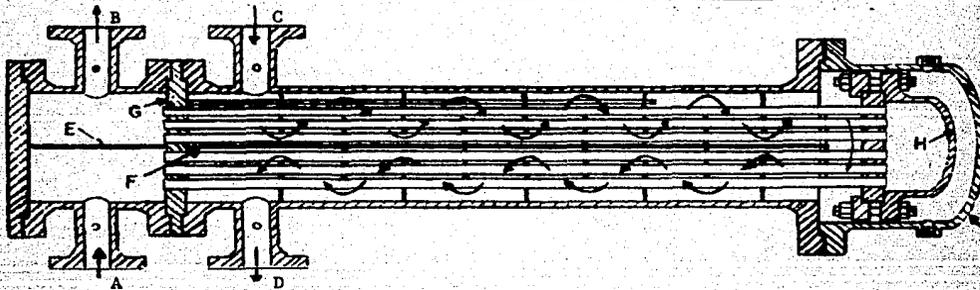


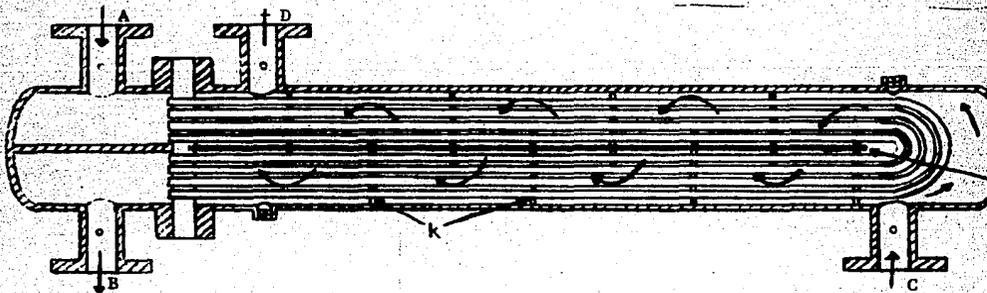
FIG. 2.1 CAMBIADORES DE CALOR DE TUBO Y CORAZA



## CAMBIADOR DE HAZ DE TUBOS CONCABEZAL FLOTANTE



## CAMBIADOR DE HAZ DE TUBOS EN "U"



- A y C: ENTRADA DEL FLUIDO DENTRO DE TUBOS Y POR CORAZA RESPECTIVAMENTE.  
 B y D: SALIDA DEL FLUIDO;  
 E y F: PLACA DIVISORIA DE PASOS EN CABEZAL Y CORAZA RESPECTIVAMENTE.  
 G : PLACA FIJA DE UNION DE TUBOS  
 H : CABEZAL FLOTANTE  
 I : CABEZAL  
 K : MAMPARAS

FIG. 2.2 DIFERENTES TIPOS DE CAMBIADORES DE CALOR DE TUBO Y CORAZA

TABLA 2.2 POSIBILIDADES DE DISPOSICION DE LOS CAMBIADORES DE TUBO Y CORAZA

REFERENCIA: CURSO PARA INGENIEROS EN EL DEPARTAMENTO DE INSPECCION Y SEGURIDAD. IMP.

TIPO DE DISEÑO	Tubos en U	Espejos Fijos	Cabezal Flotante	Cabezal Flotante "T" Flotante "W"	Cabezal Flotante "S"	Cabezal Flotante "P"
	1	2	3	3	4	5
Aumento en el costo de 1 el más económico a 5.						
Previsión para expansión Diferencial.	Tubos libres para expandirse	Junta de expansión en la envolvente.	Cabezal flotante	Cabezal flotante	Cabezal flotante	Cabezal flotante
Haz removible	Si	No	Si	Si	Si	Si
Cambio de haz factible	Si	No práctico	Si	Si	Si	Si
Posibilidad de reemplazar tubos.	Unicamente los externos.	Si	Si	Si	Si	Si
Limpieza interna de tubos.	Dificultad en lim pieza mecánica, puede realizarse químicamente.	Si, mecánica o química.	Si, mecánica o química.	Si, mecánica o química.	Si, mecánica o química.	Si, mecánica o química.
Arreglo de tubos en pitch triangular. Posibilidad de limpieza.	Unicamente química.	Unicamente química.	Unicamente química.	Unicamente química.	Unicamente química.	Unicamente química.
Arreglo de tubos en pitch cuadrado, posibilidad de limpieza.	Mecánica o química.	Unicamente química.	Mecánica o química.	Mecánica o química.	Mecánica o química.	Mecánica o química.
Posibilidad de utilizar espejos dobles.	Si	Si	No	No	No	Si
Número de pasos en los tubos.	Uno o cualquier número par.	Sin limitaciones	Sin limitaciones (para un solo paso el cabezal flotante requiere junta especial)	Limitado a uno o dos pasos.	Sin limitaciones (para un paso el cabezal flotante junta especial).	Sin limitaciones
Eliminación de empaques.	Si	Si	No	Si	No	Si

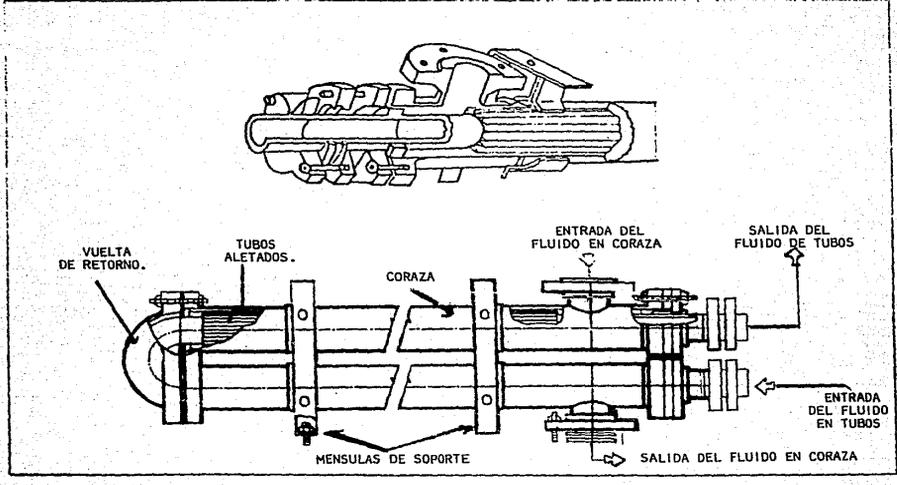


FIG. 2.3 CAMBIADOR DE DOBLE TUBO

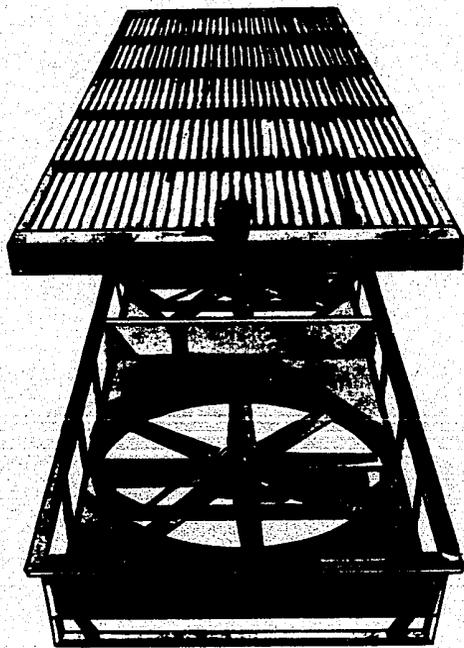
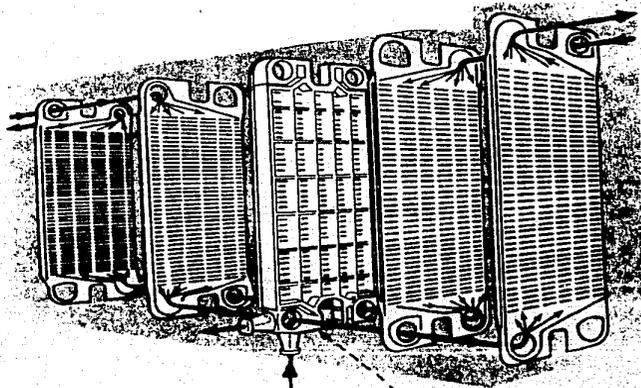


FIG.- 2.4 CAMBIADOR DE CALOR ENFRIADO POR AIRE



PLATO DE CONEXION.

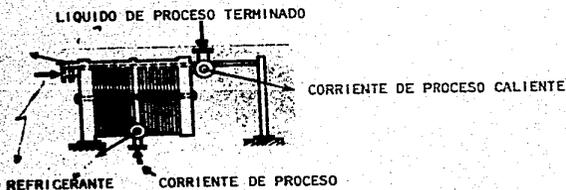


FIG. 2.5 CAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS

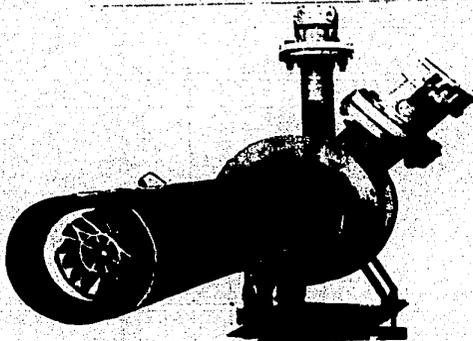


FIG. 2.6 TIPO DE CAMBIADOR DOBLE DE CORRIENTE DE AIRE DE CONSTRUCCION ESPECIAL

## CAPITULO III .

GENERALIDADES DE DISEÑO DE LOS  
CAMBIADORES DE CALOR .

EL PROCESO DE DISEÑO DE LOS CAMBIADORES DE CALOR INVOLUCRA ACTIVIDADES DE CÁLCULO, QUE EN SENTIDO GENERAL, ES LA EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CAMBIADORES COMPLETAMENTE ESPECIFICADOS; MIENTRAS QUE EL DISEÑO COMPRENDE LA DETERMINACION DE TODOS LOS PARAMETROS DE CONSTRUCCION PARA UN CAMBIADOR NUEVO A PARTIR DE LAS CONDICIONES DE PROCESO.

PARA EL DISEÑO ES NECESARIO DETERMINAR LA GEOMETRIA OPTIMA DEL CAMBIADOR, TOMANDO COMO BASE LAS ESPECIFICACIONES DE LAS CONDICIONES DE PROCESO: CARGA TERMICA, FLUJOS, TEMPERATURAS, PRESIONES, FACTORES DE ENSUCIAMIENTO Y CAIDAS DE PRESION PRINCIPALMENTE.

LO CUAL SIGNIFICA QUE EL DISEÑADOR TENDRA QUE ESPECIFICAR -- TOTALMENTE LA GEOMETRIA Y LOS MATERIALES DEL CAMBIADOR DE TAL -- FORMA QUE LOS PARAMETROS CUMPLAN TANTO TERMICA COMO HIDRAULICA -- MENTE CON EL SERVICIO DESEADO EN LA FORMA MAS ACEPTABLE, TENIENDO EN CUENTA FACTORES DE ORDEN ECONOMICO, ENERGETICO Y DE SEGURIDAD.

EL INGENIERO QUE SE OCUPA DEL DISEÑO TERMICO DE LOS CAMBIADORES DE CALOR PONE ESPECIAL CUIDADO EN LOS CALCULOS DE LOS COEFICIENTES DE CALOR Y EL GRADIENTE DE TEMPERATURA DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR PARA QUE LOS REQUERIMIENTOS DE PROCESO LOS CUMPLA EL EQUIPO, ES DECIR, EFECTUE EL CAMBIO DESEADO DE TEMPERATU-

RAS EN LAS CORRIENTES DE PROCESO INVOLUCRADAS, DENTRO DE VALORES DE CAIDAS DE PRESION DISPONIBLES Y A LA VEZ CUMPLA CON LOS PERIODOS DE OPERACION CONTINUOS; RESISTA LAS CONDICIONES DE OPERACION DE LA PLANTA, LO CUAL INCLUYE ESFUERZOS MECANICOS EN LA INSTALACION, ARRANQUES, PAROS, OPERACION NORMAL, EMERGENCIAS, MANTENIMIENTO, ESFUERZOS TERMICOS Y VIBRACIONES; RESISTA LA CORROSION ORIGINADA POR LAS CORRIENTES DE PROCESO, SERVICIO Y AMBIENTALES.

OTRO FACTOR QUE TAMBIEN ES IMPORTANTE, CONSISTE EN LA ELECCION DE LAS VELOCIDADES Y MATERIALES ADECUADOS QUE GARANTICEN EL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD BAJO LAS CONDICIONES EN QUE SE IDEALIZO, YA QUE DE UNA BUENA SELECCION DE MATERIALES SE EVITAN PROBLEMAS DURANTE EL PROCESO, TALES COMO: CORROSION, EROSION, INCrustaciones, ETC.

LOS CAMBIADORES DEBEN SER DE FACIL MANTENIMIENTO, LO CUAL IMPLICA SELECCIONAR UNA CONFIGURACION QUE PERMITA LA LIMPIEZA Y REEMPLAZO DE PARTES CONSTITUTIVAS DE ACUERDO CON LA DISPONIBILIDAD DE ESPACIO Y ACCESO A LA UNIDAD; ASI COMO RESPETAR LAS ESPECIFICACIONES DE INGENIERIA, CODIGOS Y NORMAS DE DISEÑO ESTIPULADOS ( APENDICE A ), PUESTO QUE LA APLICACION CORRECTA DE LOS CRITERIOS GARANTIZA LA APLICACION DE UNA BUENA PRACTICA DE INGENIERIA.

AHORA BIEN, ESTUDIANDO LAS ECUACIONES Y PARTIENDO DE LA BASE DE QUE AL DISEÑAR UN EQUIPO, EN LA MAYORIA DE LOS CASOS, LAS CONDICIONES DE TEMPERATURA Y GASTO ESTAN DEFINIDAS, GENERALMENTE EL CALOR A TRANSFERIR PERMANECERA COMO UNA CANTIDAD CONOCIDA Y FIJA DURANTE TODO EL CALCULO, YA QUE LA MASA Y LAS TEMPERATURAS

ESTAN DEFINIDAS Y LA CAPACIDAD CALORIFICA ES FUNCION DEL FLUIDO A UNA TEMPERATURA DADA.

POR TANTO, EN LA ECUACION DE DISEÑO:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (3.1)$$

NOS DAMOS CUENTA QUE UNICAMENTE PODREMOS MODIFICAR DOS VARIABLES: EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR "U" Y EL AREA "A"; UNA EN FUNCION DE LA OTRA. PUESTO QUE LA CONDUCTIVIDAD Y EL FACTOR DE ENSUCIAMIENTO PERMANECEN PROPIAMENTE CONSTANTES, ENTONCES DE ACUERDO A LA ECUACION 1.8;

$$1 / U = 1 / h' + 1 / h'' + RD + K / L \quad (1.8)$$

"U" QUEDA EN FUNCION DE  $h'$  Y  $h''$ , ES DECIR:

$$U = F(h', h'') \quad (3.2)$$

ASI TENEMOS QUE:

$$U = h' \cdot h'' / (h' + h'') \quad (3.3)$$

AHORA BIEN, COMO PARA TRANSFERENCIA DE CALOR SENSIBLE, ES DECIR, CUANDO NO EXISTE CAMBIO DE FASE; TENEMOS QUE:

$$h' = j' \cdot k / D \cdot [(CC \cdot M / K) \cdot 1/3] + [(M / M') \cdot 0.14] \quad (3.4)$$

$$Y \quad h'' = j'' \cdot k / D' \cdot [(CC \cdot M / K) \cdot 1/3] + [(M / M'') \cdot 0.14] \quad (3.5)$$

EN DONDE:

LA CONDUCTIVIDAD TERMICA "K", LAS VISCOSIDADES (M Y M') Y LA CAPACIDAD CALORIFICA "CC", DEPENDEN BASICAMENTE DE LAS TEMPERATURAS SELECCIONADAS POR LO QUE SE MANTIENEN CONSTANTES EN EL CALCULO.

ENTONCES  $h'$  ES FUNCION BASICAMENTE DEL DIAMETRO INTERNO DE TUBOS (D) Y DEL FACTOR ADIMENSIONAL PARA TRANSFERENCIA DE CALOR ( $j'$ ); DE IGUAL MANERA QUE  $h''$  ES FUNCION DEL DIAMETRO EQUIVALENTE

(D') Y EL FACTOR (J'). ASI TENEMOS QUE "U" ES FUNCION DE LOS DIAMETROS Y DEL FACTOR DE TRANSFERENCIA DE CALOR COMO SIGUE:

$$U = F(D, D', J', J'') \quad (3.6)$$

PERO COMO LOS FACTORES J' Y J'' SON FUNCIONES DEL NUMERO DE REYNOLDS, ES DECIR:

$$J' = F(RE = D * G / \mu) \quad (3.7)$$

$$Y \quad J'' = F(RE' = D' * G' / \mu') \quad (3.8)$$

ENTONCES:

$$U = F(D, D', G, G') \quad (3.9)$$

Y PUESTO QUE:

$$G = W / A \quad (3.10)$$

$$Y \quad G' = W' / A' \quad (3.11)$$

POR TANTO:

$$U = F(D, D', A, A') \quad (3.12)$$

DE DONDE CONCLUIMOS QUE EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR ES PROPORCIONAL AL AREA DE FLUJO Y A LOS DIAMETROS; AUNQUE DESDE LUEGO, NO SE PUEDE HABLAR DE LAS VARIABLES SIN PENSAR EN SU INTERRELACION.

LA OPTIMIZACION DE CUALQUIER CAMBIADOR DEPENDERA ENTONCES DE LA CORRECTA UTILIZACION Y/O SELECCION DE LAS VARIABLES DE QUE DEPENDEN LAS AREAS DE FLUJO, DE LOS DIAMETROS Y DEL APROVECHAMIENTO DE TODA LA CAIDA DE PRESION DISPONIBLE. LA TABLA 3.1 NOS DA UNA IDEA DEL EFECTO DE CADA VARIABLE.

AHORA BIEN, PARA EL CALCULO EN EL DISEÑO DE CUALQUIER CAMBIADOR DE CALOR:

PARTIMOS DE SUPONER UN COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA,

TABLA 3.1

REFERENCIA: I. SEMINARIO DE ING. MEC. PETROLERA. CAMBIADORES DE CALOR.

SI AUMENTA	AUMENTARAN	DISMINUIRAN	Y POR TANTO "U"
NT / NP	A	G, RE, J', H', P	DISMINUYE
A'	A, D	G, RE, J', H', P	DISMINUYE
NP	G, RE, J', H' A	A'	AUMENTA
D	A', RE, J', H' A	G, P	AUMENTA
D'	RE', J', H''	P'	AUMENTA
DI	A''	G', RE', J'', H'', P'	DISMINUYE
PTI (C')	A''	G', RE', J'', H'', P'	DISMINUYE
B	A''	G', RE', J'', H'', P'	DISMINUYE

## NOMENCLATURA

NT Y NP	NUMERO TOTAL DE TUBOS Y NUMERO DE PASOS POR LA CORAZA
A Y A'	AREA DE FLUJO EN TUBOS Y CORAZA RESPECTIVAMENTE.
A''	AREA DE FLUJO EQUIVALENTE.
G Y G'	MASA VELOCIDAD EN TUBOS Y CORAZA RESPECTIVAMENTE.
RE Y RE'	NUMERO DE REYNOLDS EN TUBOS Y CORAZA RESPECTIVAMENTE.
P Y P'	CAIDA DE PRESION EN TUBOS Y CORAZA RESPECTIVAMENTE.
H' Y H''	COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR DE PELICULA INTERNO Y EXTERNO RESPECTIVAMENTE.
J' Y J''	FACTOR ADIMENSIONAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA TUBOS Y EN BASE AL DIAMETRO EQUIVALENTE RESPECTIVAMENTE.
D Y D'	DIAMETRO INTERNO DE LOS TUBOS Y DIAMETRO EQUIVALENTE.
DI	DIAMETRO INTERNO DE LA ENVOLVENTE.
B	ESPACIO ENTRE BAFLES.
PT	DISTANCIA ENTRE CENTROS DE TUBOS (PITCH).

•CALCULAMOS EL AREA.

•SELECCIONAMOS CON ESTA UN EQUIPO DADO Y

•VERIFICAMOS SI NUESTRA SELECCION HA SIDO LA MAS ADECUADA AL COM-  
PARAR LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR SUPUESTO Y CAL-  
CULADO.

POR TANTO, CORRESPONDE AL DISEZADOR TRATAR DE LLEGAR AL COE-  
FICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR MAS GRANDE POSIBLE PARA OBTEN-  
ER EL AREA MAS PEQUEZA REQUERIDA.

#### C O E F I C I E N T E S     D E     T R A N S F E R E N C I A D E     C A L O R .

DEBIDO A LA COMPLEJIDAD DE LOS MODELOS REQUERIDOS PARA DE--  
TERMINAR LOS PERFILES DE TEMPERATURA, SE HA RECURRIDO A UNA SIM-  
PLIFICACION PARA RESOLVER EL PROBLEMA. LA SOLUCION INVOLUCRA EL  
CONCEPTO DE COEFICIENTE INDIVIDUAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR, AL  
TRATAR DE CUANTIFICAR LA HABILIDAD DE LOS FLUIDOS PARA TRANSFE--  
RIR CALOR.

EL VALOR DE LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR COMO  
YA SE HA ESTADO MENCIONANDO, DEPENDEN DE LA GEOMETRIA DEL SISTE-  
MA, LAS PROPIEDADES FISICAS Y LA VELOCIDAD DEL FLUIDO. NO OBSTAN-  
TE, EL CONCEPTO DE COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR SOLO ES  
UTIL CUANDO EXISTE ALGUNA RELACION CUANTITATIVA ENTRE LAS VARIA-  
BLES Y EL COEFICIENTE, RAZONABLEMENTE VALIDA PARA LAS CONDICIO--  
NES EXISTENTES EN LA APLICACION QUE SE PRESENTE.

SIN EMBARGO, EXISTE LA TECNICA CONOCIDA CON EL NOMBRE DE --  
ANALISIS DIMENSIONAL, QUE NOS PERMITE EFECTUAR CORRELACIONES UTI-

LES Y REPRESENTATIVAS ENTRE LAS VARIABLES QUE AFECTAN UN PROCESO FISICO; POR LO CUAL RESULTA UNA GRAN HERRAMIENTA, DE MUCHA UTILIDAD PARA INDICAR LA FORMA DE CORRELACIONAR LOS DATOS EXPERIMENTALES EN FORMA ADECUADA PARA SU UTILIZACION ( METODO INTERMEDIO ENTRE EL DESARROLLO MATEMATICO FORMAL Y EL ESTUDIO EMPIRICO ), QUE HACE POSIBLE COMBINAR LOS ASPECTOS TEORICOS Y EXPERIMENTALES PARA LA OBTENCION DE MODELOS DIMENSIONALMENTE HOMOGENEOS; POR MEDIO DEL CUAL SE HAN OBTENIDO ALGUNOS NUMEROS ADIMENSIONALES -- TABLA 3.2- (APENDICE B), COMO LOS QUE RELACIONAN AL COEFICIENTE DE PELICULA DE TRANSFERENCIA DE CALOR "H", CON LAS PROPIEDADES DEL FLUIDO Y EL DIAMETRO DEL TUBO POR UNA ECUACION DEL TIPO SIGUIENTE:

$$(h \cdot D) / K = Z \cdot RE^{**A} \cdot PR^{**B} \cdot (L / D)^{**C} \quad (3.13)$$

DONDE; D = DIAMETRO INTERNO

K = CONDUCTIVIDAD TERMICA.

L = LONGITUD DEL TUBO.

RE = NUMERO ADIMENSIONAL DE REYNOLDS.

PR = NUMERO ADIMENSIONAL DE PRANDTL.

Z, A, B Y C = CONSTANTES DETERMINADAS EXPERIMENTALMENTE.

EN LA QUE LOS VALORES DE LAS CONSTANTES MAS AMPLIAMENTE USADOS SON LOS ENCONTRADOS POR SIEDER Y TATE, QUE ADEMAS INTRODUCIERON UN FACTOR DE CORRECCION POR LA DIFERENCIA DE VISCOSIDADES ENTRE EL FLUIDO QUE ESTA EN CONTACTO DIRECTO CON LA PARED DEL TUBO AFECTANDO SIGNIFICATIVAMENTE LA DISTRIBUCION DE VELOCIDADES Y EL QUE NO LO ESTA; EL CUAL TOMA EN CONSIDERACION LOS EFECTOS DEL ESPESOR DE LA PELICULA DEL FLUIDO QUE SE ADHIERE A LA SUPERFICIE --

TABLA 3.2

## NUMEROS ADIMENSIONALES

REFERENCIA: INTERNATIONAL STANDARDS 150 31 12-1981(E)

NOMBRE	SIMBOLO	DEFINICION
NUMERO DE NUSSELT	NU	$NU = H*L/K$
NUMERO DE PRANDTL	PR	$PR = M*CP/K = V/A.$
NUMERO DE REYNOLDS	RE	$RE = R*U*L/M = U*L/V$
NUMERO DE EULER	EU	$EU = P/(R*U^2)$
NUMERO DE PECLET	PE	$PE = R*CP*U*L/K = U*L/A$
NUMERO DE GRASHOF	GR	$GR = L^3*G*Y* T/U^2$
NUMERO DE GRAETZ	GZ	$GZ = RE*PR*D/L*A/D^2$
		$GZ = W * CP / (K * L)$
NUMERO DE STANTON	ST	$ST = H/R*V*CP$

ST = NU/PE ALGUNAS VECES LLAMADO DE MARGOULIS.  
 J = ST\*PR<sup>2/3</sup> SE LLAMA FACTOR DE TRANSFENCIA DE CALOR.

## SIMBOLOS USADOS EN LAS DEFINICIONES

A.- DIFUSIVIDAD TERMICA  
 CP.- CAPACIDAD CALORIFICA A -  
 PRESION CONSTANTE.  
 H.- COEFICIENTE DE TRANSFE--  
 RENCIA DE CALOR  
 L.- LONGITUD CARACTERISTICA.  
 M.- VISCOSIDAD ABSOLUTA.  
 Y.- COEFICIENTE DE EXPANSION  
 CUBICO.

W.- VELOCIDAD MASICA.  
 P.- DIFERENCIA DE PRESION.  
 T.- DIFERENCIA DE TEMPERATURAS.  
 G.- ACELERACION DE CAIDA LIBRE.  
 K.- CONDUCTIVIDAD TERMICA.  
 D.- DIAMETRO INTERNO  
 V.- VISCOSIDAD CINEMATICA.  
 R.- DENSIDAD.  
 U.- VELOCIDAD CARACTERISTICA

DE TRANSFERENCIA, DEBIDO AL GRADIENTE DE TEMPERATURAS ENTRE EL FLUIDO Y LA SUPERFICIE, CALCULANDOSE A LAS CONDICIONES DEL SENO DEL FLUIDO Y DE LA PARED, REPRESENTADO POR:

$$\left( \frac{h}{k_w} \right) = 0.14 \quad (3.14)$$

DONDE:  $\mu$  Y  $\mu_w$  SON VISCOSIDADES ABSOLUTAS A LA TEMPERATURA DEL FLUIDO EN EL MISMO Y A LA DE LA PARED RESPECTIVAMENTE.

DEL MISMO MODO, EL ESTUDIO DE LAS RELACIONES ENTRE DENSIDADES DE FLUJO DE CALOR Y DE CANTIDAD DE MOVIMIENTO PARA TODO EL ESPECTRO DE FLUJO TURBULENTO DE LOS FLUIDOS, CONDUCE A LA DENOMINADA TEORIA DE LAS ANALOGIAS QUE SON UN ENFOQUE TEORICO; COMO UN MEDIO PARA PREDECIR LA CONDUCTA DE LOS SISTEMAS PARA LOS CUALES SE DISPONE DE DATOS CUANTITATIVOS LIMITADOS; ECUACIONES ASI OBTENIDAS QUE RECIBEN EL NOMBRE DE ECUACIONES ANALOGICAS, LAS CUALES SON VALIDAS PARA PREDECIR LA CONDUCTA PERO NO REPRESENTAN DE UNA MANERA CONFIABLE EL MECANISMO DE UNA CONDUCTA. DICHAS ANALOGIAS ESTAN EXPRESADAS EN FUNCION DE LOS NUMEROS ADIMENSIONALES. ASI TENEMOS: (APENDICE C)

- LA ANALOGIA DE REYNOLDS.
- LA DE COLBURN.
- LA DE MARTINELLI.

AUN CUANDO LAS ANALOGIAS TIENEN UNA DEFINIDA UTILIDAD EN LA PREDICION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS FLUIDOS MAS ALLA DE INTERVALOS CONOCIDOS, LAS ECUACIONES EMPIRICAS PROBADAS POR LA EXPERIENCIA, SON AUN LAS FUENTES MAS VALIOSAS PARA EL DISEÑO.

LOS PROCEDIMIENTOS PARA EL CALCULO DE COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR SE PRESENTAN EN EL APENDICE D.

## CAPITULO IV .

CRITERIOS TECNICOS PARA  
LA INSPECCION Y EL MANTENIMIENTO

EL AUMENTO DE INTERES EN LOS PROGRAMAS DE CONSERVACION DE ENERGIA REQUIERE DE ESFUERZOS A CORTO Y LARGO PLAZO, INCLUYENDO EN ESTOS ULTIMOS, ACTIVIDADES PARA MEJORAR LOS DATOS DE DISEÑO Y DE MEJORES PROCESOS; SIN EMBARGO, LOS PROGRAMAS INICIALES ESTAN DIRECTAMENTE ENCAMINADOS A OPERACIONES PARA: MEJORAR LA EFICIENCIA Y FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS, REDUCIR EL TIEMPO EN LA REALIZACION DE OPERACIONES DE CONSERVACION Y REPARACION DE LOS COMPONENTES QUE LO REQUIEREN, ELIMINACION DE FUGAS, CONTROL DEL ENSUCIAMIENTO EN EL EQUIPO, ASI COMO CAPACITACION Y CONCIENCIACION AL PERSONAL SOBRE EL CONCEPTO DE "ENERGIA"; RAZONES SUFICIENTES PARA REALIZAR UN BUEN DISEÑO DE LOS EQUIPOS DE PROCESO Y POSTERIORMENTE CUIDAR Y CONTROLAR SU BUEN FUNCIONAMIENTO Y EFICIENCIA COMO UN MEDIO PARA MINIMIZAR EL CONSUMO DE ENERGIA, EXTENDER EL TIEMPO DE SERVICIO DE LA UNIDAD Y REDUCIR LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO.

## MANTENIMIENTO .

MANTENIMIENTO SE DEFINE COMO EL CONJUNTO DE ACTIVIDADES QUE SE DESARROLLAN PARA CONSERVAR UN EQUIPO O UNA PLANTA EN OPERACION, DENTRO DE UNA SUFICIENCIA DE DISEÑO, OBSERVANDO CONCEPTOS DE SEGURIDAD Y DE ECONOMIA PARA EL CUAL EXISTE O SE ELABORA UN

PLAN PRACTICO, CONCRETO Y COMPLETO, PARA OBTENER. COORDINAR Y --  
 CONTROLAR DICHAS ACTIVIDADES; ES DECIR UN SISTEMA DE ORGANIZA--  
 CION EN DONDE SE LLEVAN:

- REGISTROS.
- PROGRAMAS DE REVISIONES.
- PROGRAMAS DE OBSERVACIONES RUTINARIAS.
- CARACTERISTICAS O ESPECIFICACIONES.
- CONOCIMIENTO EXACTO DE LO QUE SE PRODUCE.
- DE COMO ES EL FUNCIONAMIENTO.
- DE QUE PARTES SON MAS SUCEPTIBLES DE DETERIORO.
- DE QUE ES LO QUE SE CONSUME, ETC.

EL CUAL TIENE COMO FUNCION ESPECIFICA LA DE:

- PROVEER INFORMACION.
- GENERAR ACCION.
- ESTABLECER UNA MEMORIA DE LA ACCION.
- CONTROLAR A TRAVES DE REPORTE.
- FIJAR PROCEDIMIENTOS, METODOS Y NORMAS.
- USAR EFICIENTEMENTE TODOS LOS RECURSOS DISPONIBLES.
- FILTRAR INFORMACION ADECUADA.
- DECIDIR.
- Y TOMAR UNA DECISION A NIVEL DIRECTIVO PARA NORMATIVAR LA ACCION  
 O PARA CASOS DE EXEPCION; ES DECIR, EL MANTENIMIENTO ES UN CON--  
 JUNTO DE REGLAS O NORMAS QUE ESTABLECEN UN ORDEN PREDEFINIDO PA--  
 RA EL MANEJO DE RESPONSABILIDADES Y DE DECISIONES. A TOMAR POR EL  
 EJECUTIVO U OPERATIVO EN LA ORGANIZACION; ESTABLECER DECISIONES  
 CONSISTENTES; AYUDAR EN LA FAMILIARIZACION DE LA UNIDAD EN FORMA

SEPARADA DE LAS INSPECCIONES CONFORME A LOS SISTEMAS ESPECIFICOS Y, DONDE SEA APROPIADO DESCRIBIR BREVEMENTE LA RAZON PARA LA INSPECCION Y LA ACCION A TOMAR.

IDENTIFICAR AQUELLOS COMPONENTES Y PARTES QUE DEBERIAN EXAMINARSE PERIODICAMENTE ENTRE LAS PRUEBAS DE ARRANQUE Y LA INSPECCION DESIGNADA.

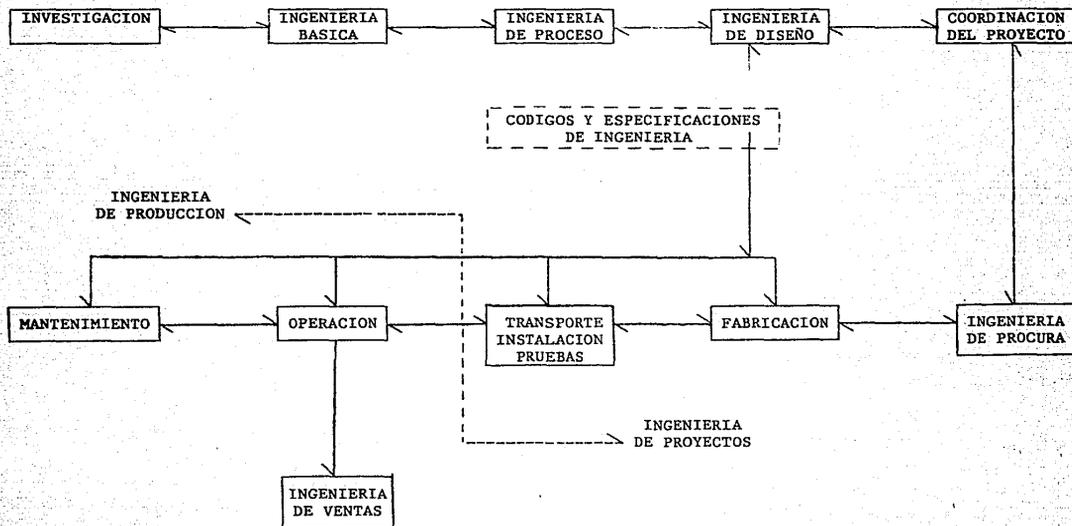
RECOMENDAR UN INTERVALO DE TIEMPO RAZONABLE ENTRE LAS INSPECCIONES, AUN CUANDO CIERTOS INTERVALOS NO ESTEN DE ACUERDO CON LAS INSTRUCCIONES DEL MANUAL DEL FABRICANTE, PERO QUE ESTEN BASADAS EN LA PRACTICA, POR LA EXPERIENCIA DE OPERACION Y LAS CONDICIONES AMBIENTALES.

EL MANTENIMIENTO ES UN CONJUNTO DE ACTIVIDADES QUE ES NECESARIO DESARROLLAR PARA CONSERVAR EDIFICIOS, EQUIPOS, INSTALACIONES, ETC. EN CONDICIONES OPTIMAS DE SERVICIO PARA PROLONGAR LA VIDA UTIL Y OPERACION A UN MAXIMO NIVEL DE EFICACIA.

SIN EMBARGO Y COMO UNA RESPUESTA A LOS AVANCES TECNOLOGICOS, TENEMOS QUE DESDE LA INGENIERIA DE PROYECTO, DE PROCESO, DISEÑO, PROCURA, INSTALACION, HASTA LA OPERACION DE LAS PLANTAS, SE REQUIERE LA INTERVENCION DE ESPECIALISTAS EN CASI TODAS LAS AREAS DE LA INGENIERIA, COMO SE ILUSTRA EN LA FIGURA 4.1.

POR TANTO, PARA LA ELABORACION DE LOS PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO, AL ESTABLECER LOS DETALLES DE INSPECCION QUE DEBE ENTENDERSE CLARAMENTE DEBEN ESTAR INCLUIDOS EN DICHS PROGRAMAS; ES INDISPENSABLE INVOLUCRAR A LA DIRECCION, CON LO QUE SE GANARA EL CONTROL DIRECTIVO NECESARIO PARA QUE EL SISTEMA TRABAJE; ASI COMO INVOLUCRAR A PERSONAL DE DIFERENTES DISCIPLINAS, TALES COMO:

FIG. 4.1. INTERRELACION ENTRE LAS DIFERENTES  
AREAS DE INGENIERIA



SEGURIDAD, CUYO REPRESENTANTE VE POR LA POTENCIALIDAD DE FALLAS MASIVAS QUE CAUSEN PELIGRO AL PERSONAL, AL EQUIPO U OTRAS SECCIONES DE LA PLANTA.

TECNOLOGIA DE MATERIALES, QUE ESTA INTERESADO EN LA APLICACION CORRECTA DE LOS MATERIALES, FABRICACION, REPARACION E INSPECCION DEL EQUIPO.

MANUFACTURA, CUYO REPRESENTANTE ES CAPAZ DE PROPORCIONAR INFORMACION SOBRE LAS CONDICIONES DE OPERACION Y SOBRE CAMBIOS EN EL PROCESO (AMBOS DEL PASADO Y RECIENTES).

MANTENIMIENTO, EL CUAL APORTARA INFORMACION ACERCA DE LA HISTORIA DEL MANTENIMIENTO DEL EQUIPO Y DE LAS MODIFICACIONES HECHAS AL MISMO.

TECNOLOGIA DE PROCESO, QUE TIENE CONOCIMIENTOS ESPECIALIZADOS DE INDICIOS DE CONCENTRACIONES DE CONSTITUYENTES PROBLEMA EN LAS CORRIENTES DE PROCESO QUE PUEDAN DAÑAR AL EQUIPO.

DISEÑO MECANICO QUE SABE ACERCA DE LOS PARAMETROS DEL DISEÑO DEL EQUIPO, COMO CUMPLE EL EQUIPO CON LOS CODIGOS Y ESTANDARES; LO CUAL ES IMPORTANTISIMO EN LA DETERMINACION DE LAS CONDICIONES DEL EQUIPO.

EL OBJETIVO ES DAR MANTENIMIENTO A LOS CAMBIADORES DE CALOR SIN QUE INTERRUMPAN SU PROCESO POR DEFICIENCIA O FALLAS. SIN EMBARGO, PARA TOMAR LA DECISION DE LA POLITICA QUE SE DEBA DE ADOPTAR, LA SOLUCION DE PROBLEMAS, LA PLANEACION; SE UTILIZAN LOS RECURSOS DE LA "INFORMACION", QUE ES LA BASE DEL PENSAMIENTO CREATIVO QUE IMPULSA PARA BUSCAR MEJORES FORMAS DE HACER, INVENTAR O DESCUBRIR NUEVAS TECNICAS Y CONCEPTOS.

LA INFORMACION ES UN RECURSO ECONOMICO DE LA EMPRESA-ORGANIZACION, ELEMENTO VITAL QUE LOGRA LA INTEGRACION DE LOS RECURSOS HUMANO CON EL FISICG, PARA LOGRAR EL OBJETIVO PROPUESTO QUE LE PERMITE EN SU APLICACION, ADMINISTRAR CON EFICIENCIA Y ALTA PRODUCTIVIDAD; ES EL ELEMENTO QUE FACILITA LA LABOR ADMINISTRATIVA EN:

- LA DETERMINACION DE LA MEJOR FUENTE DE INFORMACION.
- DESARROLLO DE LAS ESTRATEGIAS DE INVESTIGACION Y ANALISIS.
- RECUPERACION DE DATOS EN FORMA SINTETIZADA.
- ANALISIS Y SINTESIS DE DATOS, PARA CONVERTIRLOS EN INFORMACION.
- CONSERVACION, MODIFICACION Y DISEMINACION DE LA MISMA.

DE TAL MANERA QUE EN LAS PLANTAS INDUSTRIALES NORMALMENTE EXISTE UN DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO CON LA TAREA DE ATENDER LAS REPARACIONES NECESARIAS, CON EL OBJETIVO PRINCIPAL DE CONSERVAR AL EQUIPO EN BUENAS CONDICIONES DE TRABAJO; ACTIVIDAD QUE ES MUY IMPORTANTE YA QUE ES POSIBLE MEJORAR SUSTANCIALMENTE LA VIDA UTIL DEL EQUIPO Y CONSECUENTEMENTE LA PRODUCTIVIDAD, CON UNA OPERACION CORRECTA Y UN MANTENIMIENTO ADECUADO BASADO EN INSPECCIONES PREVENTIVAS DE RIESGOS, CONSERVACION CONTRA LA INTEMPERIE, ELEMENTOS ALTAMENTE AGRESIVOS, ATMOSFERAS, IMPACTOS CONSTANTES DE PARTICULAS, TEMPERATURAS, VIBRACIONES, CORROSION, EROSION, ETC.; CUIDANDO QUE NO SE AFECTE LO QUE DESEAMOS TENER EN BUENAS CONDICIONES PARA EVITAR GASTOS EN REPARACIONES, REFACCIONES, MANO DE OBRA, MATERIALES; EN DETENER LA PRODUCCION Y PODER CONTINUAR CON UN PLAN PREDETERMINADO SIN CONSUMIR INNECESARIAMENTE ENERGETICOS, ELECTRICIDAD O COMBUSTIBLES.

PORQUE ES UNA BASE DE ECONOMIA ABSOLUTAMENTE FUNDAMENTAL, PUESTO QUE NADIE DESEA RIESGOS DE NINGUNA ESPECIE, NI EN SUS INVERSIONES, NI EN SU PERSONA PARA PODER TENER TRANQUILIDAD.

#### I N S P E C C I O N .

ES LA INSPECCION UNA ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO CUYA RAZON PRINCIPAL ES LA DETERMINACION POR COMPARACION CON LAS ESPECIFICACIONES ORIGINALES O DE DISEÑO DE LAS CONDICIONES FISICAS, ASI COMO DE LA RAPIDEZ Y CAUSAS DE DETERIORO DEL EQUIPO, CON EL PROPOSITO DE PROPORCIONAR ELEMENTOS PARA LA EJECUCION DE UN SEGUIMIENTO ADECUADO DE MANTENIMIENTO; POR LO QUE SE DEBE CONSIDERAR UNA ESTRATEGIA DE COMO ESTRUCTURAR LAS INSPECCIONES DE LOS CAMBIADORES DE CALOR, PARA LO CUAL SE RECOMIENDA QUE EL GRUPO DE INSPECCION PREPARE, PLANEE Y programe sus actividades, INDEPENDIENTE DE LA DE LOS GRUPOS DE MANUFACTURADORES, MANTENIMIENTO O DE CONTROL DE CALIDAD, YA QUE LA RESPONSABILIDAD DE LA OPERACION DEL PROGRAMA CAE EN DICHAS AREAS, DE TAL MANERA QUE:

EL DEPARTAMENTO DE MANUFACTURA ES RESPONSABLE DE LA OPERACION, OBSERVACION Y REPORTES DE CUALQUIER CONDICION O EVENTO NO USUAL DE PRODUCCION, QUE REQUIERE DE UNA CAPACIDAD EN EXESO SUFICIENTES PARA MANEJAR LAS MAXIMAS CARGAS POSIBLES QUE LE PERMITAN AUMENTAR LAS CUOTAS DE PRODUCCION.

EL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO ES RESPONSABLE DE PROGRAMAR LOS RECURSOS PARA PREPARAR EL EQUIPO PARA LAS INSPECCIONES Y HACER LAS REPARACIONES Y AJUSTES NECESARIOS.

EL DEPARTAMENTO DE INSPECCION ES RESPONSABLE DE CONDUCIR --

LAS INSPECCIONES CON LAS TECNICAS APROPIADAS Y REPORTAR LOS RESULTADOS EN FORMATOS PREVIAMENTE ESTABLECIDOS; EN DONDE EFECTUAR LA INSPECCION SOLO ES PARTE DEL TRABAJO, SIN LIMITARSE A ENCONTRAR LAS CONDICIONES DE PELIGRO DE LOS EQUIPOS ANTES QUE OCACIONEN ACCIDENTES O INTERRUPCIONES EN LA PRODUCCION.

LA OPERACION DE LOS CAMBIADORES DE CALOR DEBE INCLUIR UN PROGRAMA BIEN PLANEADO DE INSPECCIONES PERIODICAS, QUE REQUIERE DE DOCUMENTACION ( ACOMPAÑANDO LAS REPARACIONES Y REEMPLAZO DE PARTES ) PARA ASEGURAR EL MAXIMO APROVECHAMIENTO E INTEGRIDAD DE LA UNIDAD, DE TAL MANERA QUE SE PUEDAN PREVENIR CONDICIONES INSEGURAS Y APORTACIONES ADICIONALES DE COSTOS NO PLANEADOS. DE ESTA MANERA, LOS PROBLEMAS QUE SE ENCUENTRAN EN LAS INSPECCIONES PUEDEN CORREGIRSE MAS FACILMENTE QUE DESPUES DE UN MAL FUNCIONAMIENTO. OFRECIENDO DE LA MISMA MANERA LA VENTAJA DE DESCUBRIR EL PROBLEMA DURANTE TIEMPOS MUERTOS PROGRAMADOS, MEJOR QUE DURANTE UNA EMERGENCIA.

ES DECIR, SE DEBE DEFINIR EN QUE MOMENTO SE VA A INSPECCIONAR EL EQUIPO:

- ANTES DE QUE SE PRESENTE LA FALLA -
- CUANDO SE PRESENTE LA FALLA.
- O ANTICIPARSE PARA QUE NO OCURRA LA FALLA.

LO CUAL SE LOGRA MEDIANTE BUENOS PROGRAMAS DE INSPECCION.

SIENDO FACTORES QUE JUSTIFICAN PLENAMENTE LA APLICACION DE DICHO PLANES: LA PELIGROSIDAD DE MATERIALES QUE SE MANEJAN, LA NECESIDAD DE ASEGURAR EN LO POSIBLE LA CONTINUIDAD DE LOS PROCESOS, LAS RIGIDAS CONDICIONES DE OPERACION, LA GRAN INVERSION -

QUE REPRESENTAN LOS CAMBIADORES DE CALOR, ASI COMO TAMBIEN LA SEGURIDAD.

#### P O L I T I C A S   D E   M A N T E N I M I E N T O .

LOS CAMBIOS QUE SE EFECTUAN EN LA OPERACION DE UNA PLANTA O EQUIPO, SE MODIFICAN POR LA POLITICA DE MANTENIMIENTO QUE SE ADOPTA, DEBIDO A QUE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO TIENEN DOS ASPECTOS TECNICOS, A SABER:

EL ASPECTO PROPIAMENTE TECNICO, CUYO OBJETIVO ES CONSERVAR EN CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO SEGURO, EFICIENTE Y CONFIABLE LAS INSTALACIONES Y EQUIPOS PARA NO TARDAR O INTERRUMPIR SU SERVICIO.

Y EL ECONOMICO, CUYO OBJETIVO BASICO ES CONTRIBUIR POR TODOS LOS MEDIOS DISPONIBLES, A SOSTENER LO MAS BAJO POSIBLE EL COSTO DE LA OPERACION DE LOS EQUIPOS E INSTALACIONES.

EL ANALISIS DE LOS MULTIPLES PROBLEMAS QUE SE HAN PRESENTADO AL PERSONAL DE CONSERVACION EN LAS INSTALACIONES E INDUSTRIAS, HA DETERMINADO LA APLICACION DE LOS SISTEMAS DE MANTENIMIENTO, CLASIFICANDOLOS EN TRES GRUPOS.

MANTENIMIENTO PREDICTIVO, EL CUAL SE HACE BAJO LAS OBSERVACIONES DEL EQUIPO, VALIENDOSE DE SUS INSTRUMENTOS INTEGRALES O UTILIZANDO INSTRUMENTOS DE DIAGNOSTICO Y PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS, CON LOS QUE SE REvisa Y CONFIRMA EL FUNCIONAMIENTO CORRECTO, ES DECIR, UNA POLITICA EN LA QUE SE MONITOREA CONTINUAMENTE AL EQUIPO DURANTE SU OPERACION Y CUALQUIER FALLA SE REPARA DE INMEDIATO, TAN PRONTO COMO SE DETECTA.

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO, EL CUAL SE HACE BAJO UN PROGRAMA ESTABLECIDO EN EL CUAL SE DETERMINAN FRECUENCIAS DE CAMBIOS, AJUSTES, REVISIONES, ETC. POLITICA EN LA QUE EL EQUIPO NO ES MONITOREADO DURANTE SU OPERACION, SINO QUE DESPUES DE UN TIEMPO ESPECIFICO, SE HACE UNA VERIFICACION RIGUROSA, LA CUAL PUEDE CONDUCCIRNOS AL HECHO DE QUE AL FINAL DE UN CICLO DE REPARACION TODO EL EQUIPO HAYA FALLADO O QUE LAS REPARACIONES DEL EQUIPO SE TENGAN QUE PROGRAMAR EN FORMA ESCALONADA.**

**MANTENIMIENTO CORRECTIVO, EL CUAL SE EFECTUA CUANDO SE PRESENTA LA FALLA, YA SEA POR SINTOMAS CLAROS Y AVANZADOS O POR FALLA TOTAL, PROCEDIENDO A:**

**LA DETENCION DE LA OPERACION DEL EQUIPO.**

**SU REVISION EXTERIOR.**

**DESARMADO.**

**REVISION INTERNA.**

**DIAGNOSTICO.**

**REPARACION.**

**Y ARMADO.**

**O UNA POLITICA COMBINADA EN LA QUE LAS FALLAS MAYORES SE REPARAN DE INMEDIATO, PERO LA REPARACION GENERAL SE HACE DESPUES DE UN PERIODO PREDETERMINADO.**

**NO OBTANTE, SE PODRIA PENSAR QUE LO MAS ECONOMICO ES UTILIZAR EL EQUIPO HASTA QUE FISICAMENTE NO PUEDE SOPORTAR YA LAS CONDICIONES DEL TRABAJO. DE ESTE MODO, SE AGOTARIAN SUS POSIBILIDADES Y SE EVITARIAN LOS GASTOS NECESARIOS DE MANTENIMIENTO. PERO ANTES DE DEJARSE IMPRESIONAR POR LAS PERSPECTIVAS Y SUPUESTAS --**

VENTAJAS QUE OFRECE ESTE CAMINO, DEBEN TOMARSE EN CONSIDERACION EN PRIMER LUGAR, EL HECHO DE QUE LA OPERACION DEL EQUIPO HASTA - EL LIMITE FISICO EN QUE YA NO PUEDE SEGUIR OPERANDO, GENERALMENTE IMPLICA EXPONERLO EN SU TOTALIDAD O EN ALGUNA DE SUS PARTES A CONDICIONES EN QUE PUEDE SUFRIR DAÑOS BRUSCOS, INESPERADOS Y SOBRE TODO, PELIGROSOS PARA LA SEGURIDAD DEL PERSONAL QUE LOS MANEJA Y DE LAS INSTALACIONES.

SIN DUDA ALGUNA, EL DESARROLLO DE LOS SISTEMAS DE MANTENIMIENTO E INSPECCION, ASI COMO EL ESFUERZO QUE A ELLO SE HA DEDICADO EN DIVERSAS INDUSTRIAS; PROVIENE DEL HECHO DE QUE EL CRITERIO DE OPERAR EL EQUIPO HASTA QUE YA NO PUEDE TRABAJAR, HA OCASIONADO A ESAS INDUSTRIAS UNA SERIE DE GRAVES ACCIDENTES Y PERDIDAS MUY COSTOSAS. LA MAGNITUD DE ELLO, HA OBLIGADO A ABANDONAR - EL CRITERIO APARENTEMENTE MAS ECONOMICO, QUE REPRESENTARIA UTILIZAR EL EQUIPO HASTA SU DESINTEGRACION FISICA.

LOS ACCIDENTES, APARTE DE LOS DAÑOS QUE CAUSAN EN EL PROPIO EQUIPO Y DEL COSTO CONSIGUIENTE DE SU REPOSICION, ORIGINAN PERDIDAS DE PRESTIGIO. FUERTES INDEMNIZACIONES A TERCEROS AFECTADOS, TRANSTORNOS ADMINISTRATIVOS, ETC. EN PARTICULAR, LAS EMPRESAS -- QUE OCUPAN LUGARES RELATIVAMENTE ELEVADOS EN LA ESCALA DE RIESGOS A CAUSA DE SUS ALTOS INDICES DE FRECUENCIA Y GRAVEDAD DE LOS ACCIDENTES, NO PUEDEN PERMITIRSE UTILIZAR SUS EQUIPOS EN FORMA -- EXHAUSTIVA, PORQUE ARRIESGAN LA POSIBILIDAD DE AUMENTAR TODAVIA MAS EL NUMERO Y LA GRAVEDAD DE LOS SINIESTROS QUE EN ELLAS SE -- PRESENTAN. Y NO SOLO ESO, SINO QUE SE HA DEMOSTRADO LA INEFICIENCIA Y BAJO RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS, LO CUAL SE REFLEJA EN PER-

## DIDAS POR CAPACIDAD PRODUCTIVA Y CALIDAD-

EL MANTENIMIENTO POR TANTO, ES PREVENTIVO EN UN DOBLE SENTIDO: POR UN LADO, PORQUE SE DESEA UTILIZAR LA INFORMACION OBTENIDA DE LAS INSPECCIONES PARA PREVER EL COMPORTAMIENTO FUTURO DE LAS INSTALACIONES; PERO ADEMAS, PORQUE ASI SE PREVIENE LA POSIBLE OCURRENCIA DE FALLAS PELIGROSAS PARA EL PERSONAL Y LA SEGURIDAD EN GENERAL.

## R E C O P I L A C I O N   D E   D A T O S .

LA INSPECCION INICIA CON LA RECOPIACION DE TODOS LOS DATOS TECNICOS DE DISEÑO DEL CAMBIADOR DE CALOR QUE SE TRATE, PARA LO CUAL GENERALMENTE SE ACUDE INICIALMENTE A LOS DIAGRAMAS DE FLUJO DE PROCESO, LOS DIAGRAMAS DE FLUJO MECANICO, LOS DE UTILERIA, -- DIAGRAMAS ELECTRICOS, DIAGRAMAS DE BALANCES DE MATERIA Y ENERGIA, PLANOS DE EQUIPO DE PROCESO Y HOJAS DE DATOS; LOS CUALES NOS PROPORCIONAN: (FIGURA 4.2).

- \* LAS DIMENSIONES FISICAS ORIGINALES.
- \* TIPO DE SERVICIO; CORROSIVO O SUCIO.
- \* COMPOSICION QUIMICA DE LOS MATERIALES.
- \* SI EL FACTOR DE ESCURRIMIENTO ES DE CONSIDERACION.
- \* ESFUERZOS MECANICOS.
- \* CAIDAS DE PRESION MAXIMAS PERMISIBLES.
- \* RESISTENCIA A LA CORROSION.
- \* CONDICIONES FISICAS DE MOVILIDAD O RIGIDEZ DE LOS COMPONENTES DEL CAMBIADOR DE CALOR.
- \* ESPACIOS LIBRES PARA REMOSIONES.



- PROPIEDADES FISICAS DE LOS COMPONENTES DE LAS CORRIENTES.
- COEFICIENTES DE ENSUCIAMIENTO.
- COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR; ETC.

ASI TENEMOS QUE:

LOS DIAGRAMAS DE FLUJO DE PROCESO.- NOS INDICAN EN FORMA SECUENCIAL:

LA MANERA EN QUE LA CARGA INICIAL VA SUFRIENDO LOS CAMBIOS TANTO FISICOS COMO QUIMICOS A TRAVES DE LOS DIVERSOS EQUIPOS, -- ASI COMO LOS PRODUCTOS RESULTANTES.

NOS INDICA EN QUE CANTIDADES INTRODUCIMOS LA CARGA Y LAS -- CANTIDADES DE LOS PRODUCTOS QUE SE OBTIENEN.

LOS CAMBIOS DE PRESION, TEMPERATURA Y FLUJO DE CADA UNA DE LAS CORRIENTES, ASI COMO TAMBIEN SUS PROPIEDADES FISICAS CORRESPONDIENTES.

NOS INDICAN DE MANERA CONCRETA LOS ELEMENTOS FUNDAMENTALES -- DE MEDICION DE LAS VARIABLES, QUE DEFINEN LOS CAMBIOS DE LAS MISMAS QUE EN REALIDAD SON DE INTERES.

LOS DIAGRAMAS DE FLUJO MECANICO.- TAMBIEN CONOCIDOS COMO DE TUBERIA E INSTRUMENTOS; NOS PROPORCIONAN LA TOTALIDAD DEL EQUIPO CON SU NOMENCLATURA, SU TIPO, CAPACIDAD Y DISPOSICION RELATIVA -- CUANDO SE TRATA DE BANCOS DE DOS O MAS CAMBIADORES, DEFINIENDO -- PERFECTAMENTE LAS CORRIENTES QUE VAN DENTRO Y FUERA DE LOS TUBOS.

RESPECTO A LINEAS DE PROCESO Y SERVICIOS AUXILIARES, NOS INDICAN DIAMETROS Y CLASIFICACION CON LA QUE A SU VEZ PODEMOS CONOCER ESPECIFICACION DE MATERIALES, CONDICIONES MAXIMAS DE SERVICIO, TIPO Y CAPACIDAD NOMINAL DE VALVULAS, DE CONECCIONES, TIPOS

DE SOLDADURA, ETC.

SOBRE INSTRUMENTOS DE CONTROL, NOS INDICAN LOCALIZACION DE ELEMENTOS PRIMARIOS DE MEDICION, CONTROLES QUE ACTUAN Y EN GENERAL EL ARREGLO ESQUEMATICO COMPLETO DE LOS APARATOS QUE MIDEN, REGISTRAN Y CONTROLAN LAS VARIABLES DE NUESTROS PROCESOS.

ACERCA DE LOS DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD NOS INDICAN NOMENCLATURA, LOCALIZACION, MEDIDAS Y PRESION DE RELEVO DE TODAS LAS VALVULAS DE RELEVO Y DE SEGURIDAD. ASI MISMO NOS MUESTRAN AQUELLOS INSTRUMENTOS QUE ACTUAN COMO ALARMA CUANDO ALGUNA DE LAS VARIABLES DE OPERACION SE SALE DE LOS LIMITES SEGUROS QUE EN CADA CASO ESTABLECE LA NATURALEZA PROPIA DEL PROCESO.

EN TERMINOS GENERALES, ESTOS DIAGRAMAS CONSTITUYEN LA LLAVE QUE UTILIZAMOS PARA BUSCAR INFORMACION ESPECIFICA ACERCA DE CUALQUIERA DE LOS EQUIPOS CONSTITUYENTES DE UNA PLANTA DE PROCESO.

DIAGRAMAS DE UTILERIA.- LOS CUALES NOS PROPORCIONAN INFORMACION SOBRE LOS SISTEMAS DE SERVICIOS AUXILIARES, LA DISPOSICION EN PLANTA DEL EQUIPO INSTALADO, ASI COMO LA LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES DE UTILERIA EN QUE EXISTEN TOMAS DE AGUA, AIRE Y VAPORES PARA SERVICIOS VARIOS, ASI COMO LA RED DE CONTRAINCENDIO CON LA COLOCACION DE HIDRANTES, MONITORES Y LINEAS GENERALES DE DESFOGUE.

LOS DIAGRAMAS ELECTRICOS.- EN LOS QUE ENCONTRAMOS LAS CONDICIONES DE ACOMETIDA O SUMINISTRO DE LA CORRIENTE ELECTRICA, COMO LO SON EL NUMERO DE FASES, CICLOS Y VOLTAJE; A SU VEZ EL CONSUMO HECHO POR LOS INSTRUMENTOS, ALUMBRADO, MOTORES, ETC.; Y LA LOCALIZACION DE LOS MISMOS, DE INTERRUPTORES, ARRANCADORES, BOBINAS,

**FUSIBLES, ETC.**

**LAS HOJAS DE DATOS.— EN LAS CUALES ESTA RESUMIDO TODO EL DISEÑO TERRICO DEL EQUIPO Y LOS DATOS EN CUESTION COMO:**

**DIAMETRO DEL EQUIPO.**

**LONGITUD, DIAMETRO, CALIBRE Y ARREGLO DE LOS TUBOS.**

**TIPO DE CAMBIADOR.**

**ARREGLO DEL EQUIPO.**

**GASTOS QUE SE MANEJAN TANTO DEL LADO DE TUBOS COMO DE CORAZA.**

**PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS.**

**PRESIONES DE OPERACION Y DE DISEÑO PARA AMBOS FLUJOS.**

**TEMPERATURAS DE OPERACION Y DE DISEÑO PARA AMBOS FLUJOS.**

**DIAMETROS DE BOQUILLAS.**

**NUMERO DE PASOS.**

**MATERIALES DE LA CARCAZA, TUBOS, TAPAS, ESPEJOS, EMPAQUES, ETC.**

**LOS PLANOS DE EQUIPO DE PROCESO.— ESTE TIPO DE PLANOS CON— TIENE UNA AMPLIA INFORMACION CON CIERTO DETALLE, QUE NOS PERMITE CONOCER PARA CUALQUIER EQUIPO ESPECIFICO, LOS SIGUIENTES DATOS:**

- **DIMENSIONES DEL EQUIPO EN GENERAL, ASI COMO DE CADA UNA DE SUS PARTES.**
- **ARREGLO, DETALLES Y ORIENTACION DE LOS INTERIORES DEL EQUIPO.**
- **DISPOSICION DE BOQUILLAS EN ELEVACION.**
- **DISPOSICION Y ORIENTACION DE BOQUILLAS MEDIANTE REPRESENTACIONES EN PLANTA O ELEVACION LATERAL.**
- **NIVELES DE OPERACION.**
- **DATOS DE DISEÑO TALES COMO:**

**I. CODIGOS DE DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION.**

- II. CONDICIONES DE DISEÑO Y OPERACION.
- III. RELEVADO DE ESFUERZOS E INSPECCION RADIOGRAFICA.
- IV. EFICIENCIA DE JUNTAS SOLDADAS.
- IV. TOLERANCIAS NOMINALES PARA CORROSION.
- V. ESPESORES MARGINALES PARA ESTABILIDAD.
- VI. PRESION LIMITANTE DEL EQUIPO EN CUANTO A MAXIMA PRESION PERMISIBLE.
- VII. PRESION DE PRUEBA, YA SEA HIDROSTATICA O NEUMATICA.
- VIII. ESPECIFICACIONES DE MATERIALES DE CADA UNA DE LAS PARTES DEL EQUIPO.
- IX. TIPO DE AISLANTE TERMICO.
- X. PINTURA.
- XI. PESO ESTIMADO DE CONSTRUCCION.
- XII. PESO ESTIMADO DE OPERACION.
- XIII. PESO ESTIMADO LLENO DE AGUA.
- XIV. LISTA DE CONEXIONES CON NOMENCLATURA, CANTIDAD REQUERIDA, MEDIDA, CAPACIDAD NOMINAL, TIPO DE CARA Y DESCRIPCION.
- XV. REVISIONES.
- XVI. OTROS PLANOS DE REFERENCIA PARA LOCALIZAR DETALLES ESPECIALES.

AHORA BIEN, LA ESENCIA DE UNA INSPECCION REPRESENTA UNA COMPARACION ENTRE DOS CLASES DE DATOS CUYA NATURALEZA INTRINSECA ES DISTINTA; SE DEBEN CONOCER TODAS LAS CARACTERISTICAS INICIALES DEL EQUIPO, SU DISEÑO TERMODINAMICO Y DE CONSTRUCCION, ASI COMO PROPIEDADES FISICAS Y DE OPERACION, DATOS DE INSTALACION Y UBICACION POR UN LADO Y, POR OTRO, SE DEBEN CONOCER LOS DATOS DE OPE-

RACION DIARIA DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS CAMBIADORES DE CALOR, DADOS POR EL USUARIO DESDE LOS INICIOS DE SU OPERACION.

ASI TENEMOS, QUE ADEMAS DE UN MANTENIMIENTO PREVENTIVO ADECUADO, LA OPERACION EFICIENTE DE LOS CAMBIADORES DE CALOR, AUN— QUE APARENTEMENTE SENCILLA, REQUIERE DE CUIDADOS PARA EVITAR DA— BOS A LOS MISMOS, POR LO QUE PARA OBTENER UNA OPERACION NORMAL — ES NECESARIO APEGARSE A LAS NORMAS DE TRABAJO ESTABLECIDAS EN LO QUE SE REFIERE AL CONTROL EXACTO DE LA TEMPERATURA Y PRESION DE OPERACION; TENIENDO EN CUENTA QUE UNA CONTINUA Y EFICIENTE OPERACION ES MUY IMPORTANTE PUESTO QUE EL TRABAJO DE LOS CAMBIADORES DE CALOR DEBE SER ININTERRUMPIDO, POR LO CUAL DEBEN ESTAR LIBRES DE FUGAS, RAZONABLEMENTE LIMPIOS E INTERNOS EN BUENAS CONDICIO— NES.

POR TANTO, LA BASE DE UNA OPERACION NORMAL ES EL BUEN FUN— CIONAMIENTO DE LOS INSTRUMENTOS DE CONTROL, POR LO QUE CUALQUIER ANOMALIA POR PEQUEÑA QUE SEA, EN MANOMETROS, TERMOMETROS, MEDIDORES DE FLUJO, ETC., DEBEN REPORTARSE DE INMEDIATO, LO MISMO QUE LAS FUGAS Y VIBRACIONES.

#### F A L L A S   E N   L O S   C A M B I A D O R E S   D E   C A L O R .

CUANDO UN EQUIPO SE INSTALA EN UNA PLANTA, SE REQUIERE QUE FUNCIONE LO MAS APROXIMADO POSIBLE A LAS CONDICIONES DE DISEÑO, PERO PUEDE O NO FUNCIONAR COMO SE DESEA, DE TAL MANERA QUE UNO — DE LOS ASPECTOS MAS IMPORTANTES EN LA OPERACION DE LOS CAMBIADO— RES DE CALOR, ES LA OBSERVACION CONTINUA PARA DETECTAR Y REPOR— TAR CUALQUIER FALLA DESDE EL MOMENTO EN QUE SE PRODUCE YA QUE —

UNA VEZ PUESTOS EN SERVICIO, SE HACEN RARA VEZ PEQUEÑOS AJUSTES EN LOS CONTROLES AUTOMATICOS, LO CUAL SE DEBE A QUE LENTAMENTE - SE VAN ALTERANDO LAS CONDICIONES INTERIORES CON EL TRABAJO CONTINUO O BIEN POR ALTERACIONES BRUSCAS DE LAS CONDICIONES DE OPERACION; EN CUYO CASO, EL ENCARGADO DE MOVER O AJUSTAR LOS CONTROLES PROCEDE DE ACUERDO CON LA COMPARACION DE REPORTES DIARIOS.

SIN EMBARGO, COMO SABEMOS DIFICILMENTE PODEMOS PREDECIR LAS FALLAS POSIBLES POR SER TAN DIVERSAS LAS CAUSAS, NO OBSTANTE PODRIAMOS MENCIONAR ALGUNAS COMO:

CONDICIONES DE OPERACION DIFERENTES PARA LAS QUE FUE DISEÑADO O APLICACIONES IMPROPIAS DEL EQUIPO QUE PUEDEN SER POR FALTA DE ATENCION A LOS PROCEDIMIENTOS DE OPERACION, ASI COMO POR NECESIDADES DE PROCESO, LO CUAL PARA ESTO ULTIMO, COMO SE APRECIA, - ES RESPONSABILIDAD DEL INGENIERO DE OPERACION, QUE DE PRINCIPIO DEBE ESTUDIAR Y ELABORAR LOS CALCULOS ADECUADOS PARA PODER HACER LAS MODIFICACIONES APROPIADAS, APEGADAS SIEMPRE A LOS DATOS DE - DISEÑO TERMICO Y MECANICO DEL CAMBIADOR DE CALOR PARA LO QUE FUE DISEÑADO ORIGINALMENTE.

AIRE O GAS ATRAPADO COMO RESULTADO DE INSTALACIONES IMPROPIAS DE LAS TUBERIAS O CARENCIA DE VENTILAS ADECUADAS.

LAS FUGAS, SOBRE TODO EN LA UNION DE LOS TUBOS CON LAS PLACAS, CAUSADAS POR DEFECTOS EN LA SOLDADURA QUE DEJA PARTES DEBILES, LOS CUALES CON EL USO CONTINUO DURANTE EL CUAL EL CAMBIADOR ESTA SOMETIDO A ESFUERZOS POR CAMBIOS DE TEMPERATURA, EN ESAS PARTES DEBILES, LOS TUBOS PUEDEN AFLOJARSE Y DESOLDARSE CAUSANDO FUGAS DEL CASCO O LOS TUBOS, OCASIONANDO INCLUSO CONTAMINACIONES

ENTRE LAS CORRIENTES, LO CUAL PUEDE SER DE CONSIDERACION E INCLUSO PELIGROSO EN ALGUNOS CASOS EN QUE SE MANEJAN PRODUCTOS QUE SON MUY CAROS; CUANDO LA MEZCLA DE LOS FLUIDOS ES CONSIDERABLEMENTE MAS CORROSIVA QUE CUALQUIERA DE LOS DOS COMPONENTES POR SEPARADO, O QUE PUEDEN REACCIONAR CON RESULTADOS FUNESTOS.

LAS FUGAS DE VAPOR POR PEQUEÑAS QUE SEAN, A TRAVES DE EMPAQUES O ENTRE UN TUBO Y LA PLACA, CAUSAN UNA GRAN EROSION RAPIDA, LO CUAL SOLO PUEDE CONducIR A TENER QUE PONER FUERA DE SERVICIO AL EQUIPO PARA SU REPARACION.

LAS FUGAS A SU VEZ PUEDEN PROVENIR DE FALLAS MECANICAS DE LOS MATERIALES O DEFECTOS DE COSTRUCION QUE CAUSAN FALLAS EN SU OPERACION. ASI TENEMOS POR EJEMPLO QUE LAS CUARTEADURAS EN LA CORAZA PUEDE SER CAUSA DE SOLDADURA DEFECTUOSA, CONTRACCIONES EN ZONAS CERCANAS A LA SOLDADURA, INSUFICIENTE REFUERZO EN LAS BOCAS DE ENTRADA, CONTRACCIONES EN LOS DEFLECTORES, CANALES Y CASQUETES.

PUEDE OCURRIR QUE LOS TUBOS SE SUELTEN EN LA JUNTA DE ROLADO DEBIDO A LA INTRODUCCION DE UN FLUIDO CALIENTE A UN CAMBIADOR FRIJO QUE NO SE CALENTA GRADUALMENTE.

LAS VIBRACIONES GENERALMENTE SON, EN PRIMERA INSTANCIA, RUIDOSAS Y GENERAN ALTERACIONES MECANICAS, ADEMAS DEL MISMO EQUIPO, A LAS TUBERIAS EXTERIORES DEL CAMBIADOR. ESTAS ALTERACIONES MECANICAS PUEDEN LLEGAR A FATIGAR LAS SOLDADURAS Y CON EL TIEMPO PROVOCAR GRIETAS Y FUGAS. EN OTROS CASOS, AFLOJAN EL HAZ DE TUBOS, PRINCIPALMENTE LA PLACA DE CHOQUE (A LOS EQUIPOS QUE LA CONTIENEN), LLEGANDO A OCACIONAR PRECISAMENTE SU DESPRENDIMIENTO, Y AL

NO TENER PROTECCION LOS TUBOS, SE EROSIONAN HASTA TAL PUNTO QUE EL FLUIDO PERFORA LOS TUBOS CERCANOS A LA ENTRADA DE LA BOQUILLA.

EL MARTILLO DEL AGUA, EL CUAL OCURRE CUANDO UNA VALVULA DE ACCION RAPIDA CIERRA RAPIDAMENTE EL SERVICIO DEL LIQUIDO Y GENERA UNA ONDA DE CHOQUE QUE CREA PULSOS DE PRESION QUE EXEDEN EL LIMITE DE LA PRESION DE DISEÑO. USUALMENTE, LA DURACION DE UN SIMPLE PULSO ES TAN CORTO QUE NO ES DE PELIGRO, SIN EMBARGO LA ACCION CICLICA DE LOS PULSOS ES LA QUE PROVOCA LAS FRACTURAS PARA LA CUAL LOS MECANISMOS DE DESFOGUE NO OFRECEN NINGUNA PROTECCION DE TAL MANERA QUE SI NO SE PUEDEN ELIMINAR ESTE TIPO DE VALVULAS DEBERIAN INSTALARSE AMORTIGUADORES DE PULSACIONES.

LA MALA DISTRIBUCION DEL FLUJO EN LA UNIDAD, OCACIONADA POR UNA CONSTRUCCION DEFECTUOSA DEL PROPIO EQUIPO, ASI COMO POR EXESO O FALTA DE VELOCIDAD DE FLUJO, POR EROSION O CORROSION SOBRE TODO EN EL ESPACIO COMPRENDIDO ENTRE LA PLACA DE SOPORTE DEL NAZ Y LOS ESPEJOS ANTERIOR O POSTERIOR, POR SER LA ZONA EN QUE EL FLUIDO SE ESTANCA O SU VELOCIDAD DE PASO ES MINIMA, LO CUAL PROVOCA A SU VEZ, DEMASIADOS ESPACIOS LIBRES ENTRE BAFLES Y CORAZA Y/O TUBOS. NO OBSTANTE, LA CORROSION PUEDE PRESENTARSE EN CUALQUIER PARTE DE UN CAMBIADOR Y LA INTENSIDAD DE LA MISMA ESTA DIRECTAMENTE RELACIONADA CON LA CONCENTRACION DE LOS AGENTES CORROSIVOS DE LOS FLUIDOS, ASI COMO CON LA RESISTENCIA A LA CORROSION DE LOS MATERIALES CON QUE FUERON CONSTRUIDOS.

ENSUCIAMIENTO E INCRUSTACIONES EXESIVAS EN EL EQUIPO, QUE ES OTRO DE LOS ASPECTOS QUE SE DEBE CONSIDERAR PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO DE LOS CAMBIADORES DE CALOR QUE PROVOCA PERDIDAS DE

**ENERGIA Y DETERIORO DE LOS EQUIPOS POR:**

- AUMENTAR EL CONSUMO DE ENERGIA POR SU FORMACION EN TUBOS Y PASOS-
- DESPERDICIA R COMBUSTIBLE POR REDUCCION EN LA PROPORCION DE --- TRANSFERENCIA DE CALOR-
- PRODUCIR AMBIENTES LOCALES QUE CONDUCE N A LA CORROSION POR FORMACION DE BARRERAS EN LAS SUPERFICIES DE LOS METALES-
- POR QUE UNA VEZ FORMADA LA INCRUSTACION, PUEDE DESENCOSTRARSE Y SU REMOSION O MOVIMIENTO PUEDE PROVOCAR EROSION, DAÑAR VALVULAS, BLOQUEAR Y SOBRECIENTAMIENTO QUE CONDUCE N A LA FRACTURA O ROMPIMIENTO DE TUBOS-

EN LA MAYORIA DE LOS CASOS SE CONFUNDE ERRONEAMENTE CON OTRO TIPO DE FALLAS, COMO LO SON FUGAS INTERNAS; POR LO QUE EL INGENIERO DE OPERACION DEBE CONOCER Y ENTENDER ACERCA DE LA FORMACION Y NATURALEZA DEL ENSUCIAMIENTO QUE AFECTA A SU EQUIPO; EN EL QUE LA ESTRUCTURA DE LOS DEPOSITOS DEPENDE DEL TIPO Y CONCENTRACION DE LAS IMPUREZAS QUE ENTRAN A LAS CORRIENTES DEL SISTEMA COMO MINERALES DISUELTOS, MATERIALES ORGANICOS DISUELTOS O EN SUSPENSION Y DIVERSAS CANTIDADES DE GASES DISUELTOS; TEMPERATURAS; VARIACIONES DE FLUJO Y EN CONSECUENCIA DE LA RUGOSIDAD DE LOS MATERIALES; DE EVAPORACIONES DE LOS LIQUIDOS DE PROCESO Y EFECTOS DE DISTRIBUCION DE FLUJO. PUESTO QUE ESTOS FACTORES VARIAN DENTRO DE UN CAMBIADOR, LA MAYORIA DE LAS INCRUSTACIONES NO SON UNIFORMES, SIN EMBARGO, SE PUEDEN CATEGORIZAR YA SEA COMO PRE-OPERACIONALES; CAUSADAS POR LA OXIDACION DE LAS SUPERFICIES METALICAS DURANTE LA FABRICACION DEL ACERO (LLAMADAS INCRUSTACIONES

NES DE FABRICACION) Y, COMO DEPOSITOS OPERACIONALES; DEBIDOS A IMPUREZAS EN LOS PROCESOS LIQUIDOS QUE SON DEPOSITADOS, LA CONSTRUCCION O FORMACION GRADUAL DE LA INCRUSTACION Y LA REACCION DE LAS MISMAS CON LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION DE LOS EQUIPOS (CORROSION) LO CUAL PRODUCE UN AUMENTO DE INCRUSTACION. SIENDO AMBOS MECANISMOS DE DEPOSITACION Y CORROSION, DE OCURRENCIA SIMULTANEA DURANTE LA OPERACION NORMAL DE UNA PLANTA.

LAS INCRUSTACIONES SE PUEDEN CLASIFICAR DE ACUERDO A SU COMPOSICION QUIMICA COMO INORGANICAS Y ORGANICAS, SIENDO LOS DEPOSITOS DE ESTAS ULTIMAS (TABLA 4.1) MUCHO MENOS FACIL DE IDENTIFICAR Y CLASIFICAR QUE LAS INORGANICAS, DE LAS CUALES LAS QUE CON MAYOR FRECUENCIA SE ENCUENTRAN (TABLA 4.2) SON LOS CARBONATOS, FOSFATOS, SULFATOS, SILICATOS Y OXIDOS DE HIERRO (HERRUMBRE) COMO TAL O COMO MAGNETITA (OXIDO NEGRO DE HIERRO).

ASI TENEMOS, QUE MUCHOS EQUIPOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR PIERDEN EFICIENCIA A UNA PROPORCION CONSTANTE, CON LA MISMA RAPIDEZ QUE LOS DEPOSITOS DE ENSUCIAMIENTO SOBRE LAS SUPERFICIES, TAN RAPIDAMENTE AL PRINCIPIO, COMO ES EL CASO DE LOS CONDENSADORES O EN FORMA MUY GRADUAL PERO MUY RAPIDA AL FINAL, COMO LO ES EN LOS RECALENTADORES, ETC. DE TAL MANERA QUE LOS CAMBIADORES DE CALOR SE DISEÑAN PARA TOLERAR ALGO DE ENSUCIAMIENTO O INCRUSTACION, LO CUAL GENERALMENTE INICIA Y SU COMPORTAMIENTO SE DEJA SENTIR (PARTICULARMENTE TOCANTE A LA TRANSFERENCIA DE CALOR) DESDE EL MOMENTO DE ARRANQUE, SIENDO EL MEJOR COMPROMISO EL DE DISEÑARLOS PARA EFECTUAR LA LIMPIEZA DURANTE PAROS PROGRAMADOS, SEGUROS Y POR REFERENCIAS.

TABLA 4.1  
 INCRUSTACIONES ORGANICAS

REFERENCIA: CME ABRIL 77, PAG. 64. I. CHEM. ENG. SYMPOSIUM SERIE 53.

INCRUSTACION	COLOR	APARIENCIA	TEXTURA	DEPOSITACION	OBSERVACIONES
SEMI-SOLIDOS	CAFE OBSCURO	CEROSO, GRASOSO	BLANDO	EQUIPO DETENIDO, HORNOS DE CARBON O CALENTADORES	PUEDE CONTENER AZUFRE NITROGENO U OXIGENO
SOLIDO UNIFORME	BLANCO A NEGRO	UNIFORMEMENTE SOLIDO	DURO Y NO FLEXIBLE	ALAMBIQUE DE ALQUITRAN, QUEMADORES DE ACEITE CRUDO	ALGUNAS FRACTURAS COMO HIELO O VIDRIO ROTO
PARTICULAS SOLIDAS	CAFE A NEGRO	POLVO GRANULADO CEMENTADO	BLANDO A DURO	TORRES FRACCIONADORAS, CAMBIADORES DE CALOR O AGITADORES	PUEDE SER LEVEMENTE POROSO

ASI, EL ORIGEN DE LAS FALLAS LO PODEMOS GENERALIZAR COMO:

- RUPTURA DE LOS MATERIALES POR LO QUE EL EQUIPO SUFRE UNA FALLA MECANICA.
- REDUCCION EN LA FUNCIONALIDAD DEL EQUIPO.
- E INHABILIDAD DEL OPERADOR.

CAUSA ESTA ULTIMA QUE ES UNA FALLA HUMANA CUYA UNICA SOLUCION ES TAL VEZ PROPORCIONAR UN MEJOR ENTRENAMIENTO CON CAPACITACION O SUSTITUIR CON PERSONAL MAS EXPERIMENTADO, LO CUAL NO SIEMPRE ES POSIBLE DEBIDO A CUESTIONES DE TIPO LABORAL Y SINDICAL.

Y LAS OTRAS DOS CAUSAS SE CONSIDERAN COMO INADECUACION MECANICA, EN QUE LAS FALLAS DE LOS MATERIALES SON EVIDENTEMENTE MECANICAS EN NATURALEZA Y PUEDEN OCURRIR POR LAS RAZONES QUE SE MUESTRAN EN LA FIGURA 4.3 EN LA CUAL, LAS FALLAS SE DIVIDEN EN TIPO FRACTURA Y SIN FRACTURA.

SIENDO EL TIPO DE FALLA SIN FRACTURA, NORMALMENTE A CAUSA DE CAMBIOS EN LAS DIMENSIONES, A TAL GRADO QUE EL EQUIPO DETIENE EL TRABAJO.

LOS CAMBIADORES DE CALOR, SOLO PUEDEN SUFRIR EL TIPO DE FALLA SIN FRACTURA, DEBIDO A QUE NO ENVUELVEN PARTES MECANICAS EN MOVIMIENTO.

LA REDUCCION EN LA FUNCIONALIDAD DE UN CAMBIADOR DE CALOR, ES A CAUSA DE DEFECTOS QUE RESULTAN DE DIFERENTES RAZONES, NORMALMENTES INTRODUCIDOS DURANTE SU PROCESO DE FABRICACION. LA FIGURA 4.4 DA ALGUNAS DE LAS RAZONES DE DEFECTOS EN UN EQUIPO, LOS CUALES PUEDEN OCURRIR YA SEA POR DISEÑO, FABRICACION, ENSAMBLE O A NIVEL OPERACIONAL. NO OBSTANTE QUE LAS FALLAS NO PUEDEN ELIMI-

FIG. 4.3 CAUSAS PRINCIPALES DE FALLAS EN LOS MATERIALES

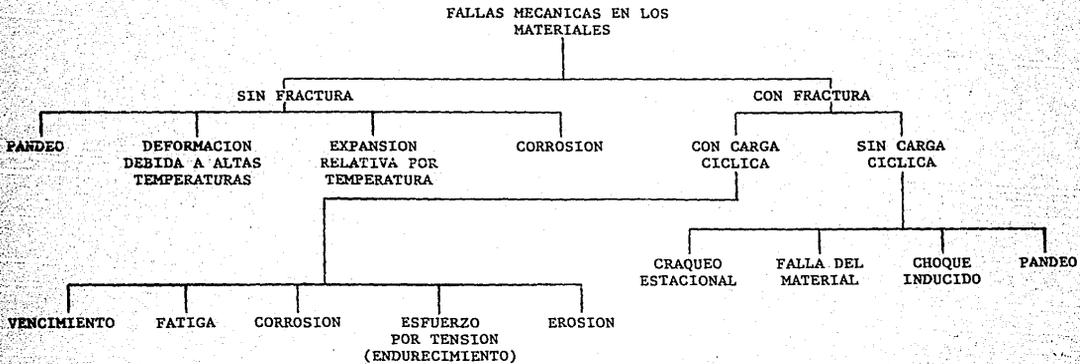
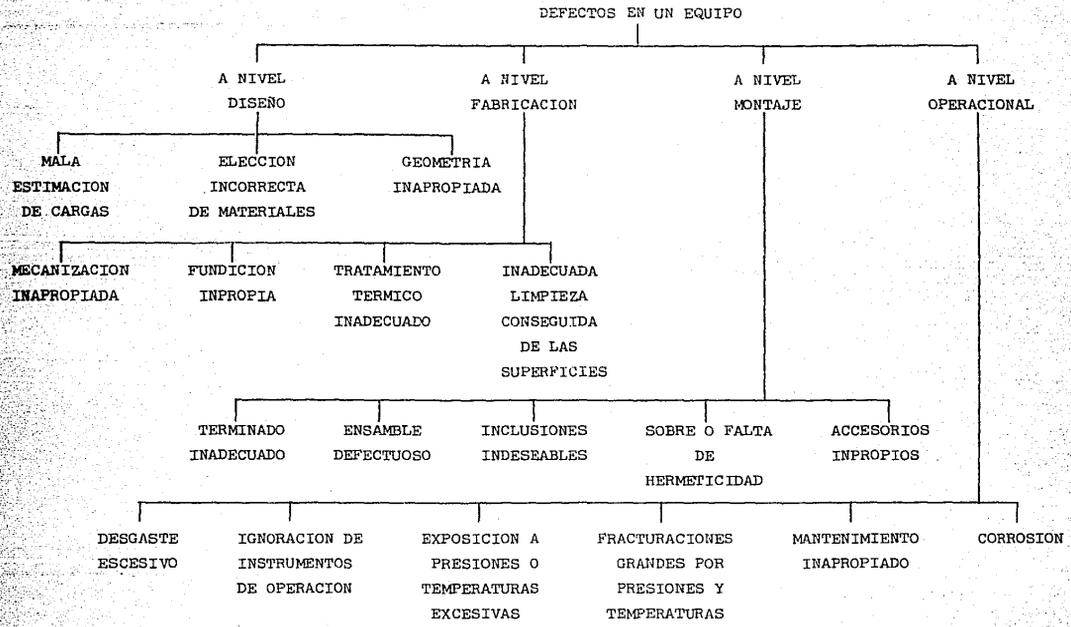


FIG. 4.4 GENERALIZACION DE DEFECTOS EN UN EQUIPO



NARSE COMPLETAMENTE, SI PUEDEN MINIMIZARSE POR ESTRICTA INSPECCION Y CONTROL DE CALIDAD DESDE SU FABRICACION.

ASI NOS DAMOS CUENTA QUE EL EXITO EN EL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DE TRANSFERENCIA DE CALOR, LA DURACION EN SERVICIO Y LA LIBERTAD SOBRE LAS DIFICULTADES DE OPERACION, DEPENDEN GRANDEMENTE DE:

- \* UN DISEÑO TERMICO Y MECANICO APROPIADO.
- \* LA MANERA DE INSTALACION, INCLUYENDO LAS BASES DE PROYECTO Y TUBERIAS.
- \* LOS METODOS DE OPERACION.
- \* LA RUGOSIDAD Y FRECUENCIA DE LIMPIEZA.
- \* LOS MATERIALES, OPERADORES, HERRAMIENTAS USADAS EN EL MANTENIMIENTO Y LA FORMA DE HACER LAS REPARACIONES Y REEMPLAZOS.

EN CONSECUENCIA, LA DETERMINACION DEL BUEN FUNCIONAMIENTO DE LOS CAMBIADORES DE CALOR NOS LO DAN PRIMERAMENTE LAS LECTURAS Y RECORDS DE LOS INSTRUMENTOS DE CONTROL QUE NOS INDICAN LAS DESVIACIONES A LAS NECESIDADES REQUERIDAS DE PROCESO DEL DISEÑO CON LAS CONDICIONES DE OPERACION ACTUALES, LO CUAL NOS CONDUCE A LA BUSQUEDA DE LOS TRANSTORNOS Y REGIMENES DE FLUJO QUE SE DESVIAN DE LAS CONDICIONES ANTICIPADAS, PARA LO CUAL ANTES DE CONCLUIR ACERCA DE UN SOBRE-DISEÑO O MAL DISEÑO SE DEBERA DETERMINAR SI LAS TUBERIAS Y ARRÉGLOS MECANICOS SON APROPIADOS, LAS FUGAS, ETC. AYUDADOS CON LOS INSTRUMENTOS Y TECNICAS DE PRUEBA NO DESTRUCTIVOS PARA DETECTAR LAS CAUSAS DE LOS PROBLEMAS.

ASI, EL COMPORTAMIENTO DE UN CAMBIADOR DE CALOR SE RIGE POR:  
1.- EL BALANCE DE CALOR ENTRE LAS CORRIENTES QUE INTERVIENEN,

$$Q = WH * CH * (TI - TO)$$

$$Q = WC * CC * (TI - TO)$$

DONDE CH Y CC SON LAS CAPACIDADES CALORIFICAS ESPECIFICAS DE UNA CORRIENTE DE UNA FASE A LA TEMPERATURA PROMEDIO, QUE PARA CONDENSAACION Y EVAPORACION SE UTILIZAN VALORES MEDIOS DE LAS PENDIENTES DE LAS CURVAS DE CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO RESPECTIVAMENTE, TOMANDO EN CUENTA LOS CALORES LATENTES Y SENSIBLES.

2.- LA ECUACION GENERAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

$$Q = A * U * \Delta T$$

3.- Y LAS ECUACIONES LIMITANTES DE CAIDA DE PRESION.

DE AQUI QUE EL RESULTADO DE UN CALCULO SEA MERAMENTE LA EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO TERMO-HIDRAULICO DEL CAMBIADOR DE CALOR PARA UNA GEOMETRIA Y CONDICIONES DE PROCESO ESTABLECIDAS; ES DECIR, EL CALCULO DE LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR Y DE LAS CAIDAS DE PRESION; EN QUE LOS COEFICIENTES GLOBALES SE CALCULAN A PARTIR DE LOS INDIVIDUALES Y LOS FACTORES DE ENSUCIAMIENTO SELECCIONADOS; CON ESTOS A SU VEZ, LA CARGA TERMICA Y EL AREA DE TRANSFERENCIA DISPONIBLE; CON LO QUE SE VE SI ESTA ULTIMA ES SUFICIENTE, SI NO LO ES O SI ESTA EXCEDIDA Y, CON LA CAIDA DE PRESION SI EL EQUIPO CUMPLE O NO LO HACE HIDRAULICAMENTE.

ES DECIR: EL EQUIPO CUMPLE CON LAS CONDICIONES DE OPERACION CUANDO EL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA CALCULADO UC, ES IGUAL QUE EL DE DISEÑO UD; O SEA QUE LA CARGA TERMICA DE QUE SE DISPONE QD, ES IGUAL QUE LA REQUERIDA QR:

$$UC = UD \quad \text{O SEA} \quad QD = QR$$

EL EQUIPO ESTARA SOBRE-DISEBADO CUANDO EL COFICIENTE DE CA-

LOR CALCULADO SEA MAYOR QUE EL DE DISEÑO; Y ESTARA ESCASO CUANDO SEA MENOR; EQUIVALENTE A SU VEZ A QUE LA CARGA TERMICA DISPONIBLE SEA MAYOR O MENOR QUE EL REQUERIDO, RESPECTIVAMENTE:

UC > UD O SEA QD > QR

Y UC < UD O SEA QD < QR

Y POR LO QUE SE REFIERE A LA CAIDA DE PRESION, EL EQUIPO CUMPLE HIDRAULICAMENTE CON LAS CONDICIONES DE PROCESO SI LAS CAIDAS DE PRESION CALCULADAS, TANTO PARA DENTRO DE TUBOS, COMO EN CORAZA SON IGUALES O MENORES QUE LAS PERMITIDAS, DEL MISMO MODO.

CUANDO LA FUNCIONALIDAD NO CUMPLA CON LOS REQUERIMIENTOS ESPECIFICADOS, SE RECOMIENDA INVESTIGAR:

EL ENSUCIAMIENTO EN LAS SUPERFICIES DE LOS TUBOS, QUE RESULTA DE LODOS E INCRUSTACIONES.

LAS CONECCIONES INCORRECTAS DE TUBERIAS, REFIRIENDOSE A LOS DIAGRAMAS DE PROCESO.

LIMITACIONES DE AIRE DEBIDAS A VENTILACIONES IMPROPIAS O FALTA DE LA MISMA.

LAS CONDICIONES DE TRABAJO, COTEJANDO CON LA HOJA DE DATOS. RECIRCULACION, VERIFICANDO EL PASO EN LAS JUNTAS DE PARTICION, QUE NO HAYA SELLOS DEFECTUOSOS Y LA LIMPIEZA DE LOS BAFLES.

#### I N S T A L A C I O N .

EN CUANTO A LA INSTALACION ES IMPORTANTE TENER EN CUENTA EL ESPACIO MISMO QUE OCUPA EL EQUIPO, DE ACUERDO A SUS DIMENSIONES, ASI COMO EL NECESARIO PARA REMOVER O REEMPLAZARLO, REMOVER LOS NACES DE TUBOS, CUBIERTAS, ETC.

ESTIPULAR LAS VALVULAS Y LINEAS DE RECIRCULACION, PARA AISLAR EL EQUIPO EN EL MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA. INCLUIR LAS CONECCIONES DE MEDIDORES DE PRESION Y TEMPERATURA, EN ENTRADAS Y SALIDAS; VALVULAS DE VENTILACION NECESARIAS PARA PURGAR Y PREVENIR GASES ATRAPADOS; TUBERIA DE DRENE AISLADA PARA CADA CAMBIADOR Y NO EN UN SISTEMA CERRADO. LAS TUBERIAS APROPIADAMENTE SOPORTADAS PARA QUE LAS FUERZAS NO APLIQUEN DIRECTAMENTE AL CAMBIADOR. LA BASE PARA SOPORTES ADECUADA, DE TAL MANERA QUE NO SE CAUSE TENSION EXESIVA O DISTORSION DE LA CORAZA, CUANDO LA BASE DE CONCRETO SE UTILICE PARA ANCLAJE, LA BASE DE LOS PERNOS DEBERA TENER UNA DIMENSION MAS GRANDE EN UN DIAMETRO DE LOS MISMOS Y CONJUGAR BIEN EN EL CONCRETO PARA PERMITIR AJUSTARLO AL CENTRO DE LOS MISMOS.

#### O P E R A C I O N .

PARA LA OPERACION SE DEBE ESTAR ENTERAMENTE SEGURO DE QUE EL SISTEMA COMPLETO SE ENCUENTRE LIMPIO ANTES DE INICIAR. PARA PREVENIR TAPONAMIENTOS EN TUBOS O PASAJES DENTRO DE CORAZA, POR LO QUE SE RECOMIENDA EL USO DE FILTROS O TANQUES DE SEDIMENTACION EN LAS LINEAS QUE SE DIRIGEN A LOS CAMBIADORES DE CALOR.

ANTES DEL ARRANQUE, TENER CUIDADO DE ABRIR LAS VALVULAS DE VENTEO AL INTRODUCIR LOS FLUIDOS DE OPERACION, INICIANDO GRADUALMENTE CON LA OPERACION, INTRODUCIENDOLOS COMO SE SUGIERE EN LA TABLA 4.3 QUE DA RECOMENDACIONES DE ARRANQUE Y PARO PARA DIFERENTES TIPOS DE CONSTRUCCION DE CAMBIADORES DE CALOR DE TUBO Y CORAZA; Y DESPUES DE QUE EL SISTEMA ESTE COMPLETAMENTE LLENO, TENER

TABLA 4.3

PROCEDIMIENTOS RECOMENDADOS DE ARRANQUE Y PARO PARA DIFERENTES TIPOS DE CONSTRUCCION DE CAMBIADORES DE CALOR.

REFERENCIA: BOLETIN: AMERICAN-STANDARS. DIVISION DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

TIPO DE CONSTRUCCION DE CAMBIADORES DE CALOR.	LOCALIZACION DE FLUIDOS Y TEMPERATURA RELATIVA				PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE	PROCEDIMIENTO DE PARO
	LADO DE LA CORAZA		LADO DE LOS TUBOS			
	TIPO DE FLUIDO	TEMPERATURA RELATIVA	TIPO DE FLUIDO	TEMPERATURA RELATIVA		
PLACA DE TUBOS FIJA (HAZ DE TUBOS NO REMOVIBLE)	LIQUIDO	CALIENTE	LIQUIDO	FRIO	AMBOS LIQUIDOS SE INTRODUCEN GRADUALMENTE Y AL MISMO TIEMPO.	AMBOS LIQUIDOS SE DETIENEN GRADUALMENTE Y AL MISMO TIEMPO
	GAS CONDENSADO (VAPOR)	CALIENTE	LIQUIDO O GAS.	FRIO	SE INICIA CON EL FLUIDO CALIENTE Y LUEGO CON EL FRIO.	SE DETIENE EL FLUIDO FRIO Y LUEGO EL CALIENTE.
	GAS	CALIENTE	LIQUIDO	FRIO	SE INICIA CON EL FLUIDO FRIO Y LUEGO CON EL CALIENTE.	SE DETIENE GRADUALMENTE EL FLUIDO FRIO Y LUEGO EL CALIENTE.
	LIQUIDO	FRIO	LIQUIDO	CALIENTE	AMBOS LIQUIDOS SE INTRODUCEN GRADUALMENTE Y AL MISMO TIEMPO.	AMBOS LIQUIDOS SE DETIENEN GRADUALMENTE Y AL MISMO TIEMPO.
	LIQUIDO	FRIO	GAS	CALIENTE	SE INICIA CON EL FLUIDO FRIO Y DESPUES EL CALIENTE	SE DETIENE PRIMERO EL FLUIDO CALIENTE Y LUEGO EL FRIO.
TUBOS EN U. CABEZAL FLOTANTE EMPACADO. HAZ DE TUBOS FLOTANTE EMPACADO. CABEZAL INTERNO FLOTANTE. (TODOS ESTOS CON HAZ DE TUBOS REMOVIBLES).	LIQUIDO	CALIENTE	LIQUIDO	FRIO	SE INICIA CON EL FLUIDO FRIO Y DESPUES GRADUALMENTE CON EL CALIENTE.	SE DETIENE EL FLUIDO CALIENTE Y DESPUES EL FRIO.
	GAS CONDENSADO (VAPOR)	CALIENTE	LIQUIDO O GAS	FRIO		SE DETIENE EL FLUIDO FRIO Y DESPUES GRADUALMENTE EL CALIENTE.
	GAS	CALIENTE	LIQUIDO	FRIO		SE DETIENE EL FLUIDO CALIENTE Y DESPUES EL FRIO.
	LIQUIDO	FRIO	LIQUIDO	CALIENTE		
	LIQUIDO	FRIO	GAS	CALIENTE		

PRECAUCION: Se debe eliminar la subjetividad de la unidad a choques térmicos, sobre presión y/o golpes hidráulicos, puesto que estas condiciones pueden imponer esfuerzos que excedan la resistencia mecánica de la unidad o del sistema en que está instalado, lo cual puede resultar en coartaduras y/u otros daños a la unidad o al sistema.

## COMENTARIOS GENERALES:

- En todos los arranques y paros de operaciones, los fluidos que fluyen deberán regularse, de tal manera que se eliminen los choques térmicos de la unidad, sin hacer caso de que ésta ya sea del tipo de construcción removible o no removible.
- Para unidades del tipo de bancos de tubos fijos (haz no removible), donde el fluido por el lado de los tubos no se puede detener, se recomienda que: 1) Se incorpore un arreglo de retorno (bypass) en el sistema y 2) El fluido por el lado de los tubos se retorne antes de que el fluido por el lado de la coraza se detenga.

### CUIDADO DE CERRAR LAS VALVULAS DE VENTILACION .

CUANDO LAS TEMPERATURAS DE OPERACION SE ALCANZAN, ATORNILLAR Y APRETAR SOBRE LAS JUNTAS Y UNIONES DE EMPAQUES PARA PREVENIR ROTURAS Y FALLAS EN LAS MISMAS; SIN OPERAR LOS CAMBIADORES DE CALOR BAJO CONDICIONES DE TEMPERATURAS Y PRESIONES QUE EXEDAN LAS ESPECIFICADAS PARA EL EQUIPO Y PREVEER EL DRENAJE DE CONDENSADOS ACUMULADOS, TANTO EN EL ARRANQUE COMO EN LOS PAROS, CUANDO SE TRABAJE EN SERVICIOS CON VAPOR, ASI COMO DRENAR TOTALMENTE EN LOS PAROS PARA ELIMINAR POSIBLES CONJELAMIENTOS Y CORROSION.

LAS INSTALACIONES NO DEBEN TENER PULSACIONES DE LOS FLUIDOS QUE CAUSAN VIBRACIONES, PUES REDUCIRAN LA VIDA DE OPERACION DEL EQUIPO.

### L I M P I E Z A .

HASTA LOS ULTIMOS AOS LA CAPACIDAD DE PRODUCCION DE UNA UNIDAD ERA PREPONDERANTE, SE PUEDE ENTONCES DECIR QUE SOLAMENTE UN INTERCAMBIADOR CON PERDIDAS ELEVADAS DE PRESION IMPEDIA LA OPERACION, NO OBSTANTE, DADO AHORA EL ULTIMO CASO EN AHORRO DE ENERGIA, LA IDEA DE LA CALIDAD DE LA LIMPIEZA ES MUY TOMADA EN CUENTA; SIN EMBARGO TAN PRONTO COMO LOS EQUIPOS MUESTRAN UNA PERDIDA DE EFICIENCIA, SE APRECIA QUE SON DE GRAN IMPORTANCIA LAS OPERACIONES DE LIMPIEZA DE LOS CAMBIADORES DE CALOR, CUYO OBJETIVO CONSISTE EN LIBERAR A LAS SUPERFICIES INTERNAS Y EXTERNAS, DE MATERIALES EXTRAOS TALES COMO OXIDOS METALICOS, GRASA, ACEITES, ETC., LA CUAL SE PUEDE EFECTUAR EN FORMA MECANICA O POR METODOS QUIMICOS.

PARA ESPERAR UN BUEN RESULTADO, UNA BUENA CALIDAD DE LOS TRABAJOS DE LIMPIEZA, ES NECESARIO ANALIZAR LOS MEDIOS DE OPERACION DE LA LIMPIEZA, ASI COMO LA COMPA&IA QUE LO EFECUE; LOS PRINCIPIOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS BANCOS DE TUBOS, VELOCIDADES DE PASO DENTRO Y FUERA, CARGAS FIJAS, ETC. HACIENDO UNA SELECCION JUICIOSA DE LOS PROCEDIMIENTOS.

AUNQUE EL CONOCIMIENTO DE LOS PRODUCTOS QUE CIRCULAN EN EL INTERIOR O EXTERIOR DE LOS TUBOS, DAN UNA CIERTA INDICACION DE LA NATURALEZA DE LAS INCRUSTACIONES Y DE SU RESISTENCIA MECANICA O QUIMICA; ES INDISPENSABLE VERIFICAR LAS REDES ANTES DE EFECTUAR LA LIMPIEZA Y PONERSE DE ACUERDO SOBRE LOS PROCEDIMIENTOS, ASI, DESPUES DE IDENTIFICAR LA NATURALEZA DEL ENSUCIAMIENTO, SE SELECCIONA POR EJEMPLO EN LA LIMPIEZA POR METODOS QUIMICOS, UN SOLVENTE O GRUPO DE SOLVENTES APROPIADOS A LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION Y ENSUCIAMIENTO DE LOS EQUIPOS (TABLA 4.4), SIENDO NECESARIO QUE LA MAYOR PARTE DE LOS MODOS PUESTOS EN OPERACION Y LOS METODOS DE TRABAJO SEAN APROPIADOS Y ESCRUPULOSAMENTE RESPECTADOS.

LOS SERVICIOS DE INSPECCION RESUELVEN EFICAZMENTE LOS PROBLEMAS EN LOS CAMBIADORES DE CALOR; Y AUNQUE MUCHOS PROCEDIMIENTOS DE LIMPIEZA PROGRAMADOS SE LLEVAN A CABO, TAMBIEN MUCHAS VECES SON FORZADAS POR RUPTURA DE MATERIALES, SIGNIFICANTES CAIDAS EN LOS PRODUCTOS (CORRIENTES DE SALIDA), ETC., O POR INSISTENCIA DE INSPECCION.

LLEVAR A CABO EL TRABAJO QUE DEBERIA HABER SIDO ELIMINADO O DIFERIDO, SIEMPRE HA SIDO UN MEJOR COMPONENTE DE LOS COSTOS DE

MANTENIMIENTO. POR OTRA PARTE, LA FALLA PARA EFECTUAR EL TRABAJO DE MANTENIMIENTO CUANDO ES NECESARIO, HA SIDO TAMBIEN UNA CONSIDERACION DE UN MAYOR COSTO, DEBIDO AL DAÑO PROVOCADO AL EQUIPO - QUE PUDO HABER SIDO ELIMINADO.

APLICACION DE SOLVENTES Y COMPATIBILIDAD CON MATERIALES DE CONSTRUCCION

REFERENCIA: CME ABRIL 77, PAG. 64, I. CHEM. ENG. SYMPOSIUM SERIE 53.

SOLVENTE	DEPOSITOS INORGANICOS		DEPOSITOS ORGANICOS		MATERIALES DE CONSTRUCCION Y MAXIMA TEMPERATURA DE LIMPIEZA									
	CARBONATO DE CALCIO E HIDROXIDO DE MAGNESIO FOSFATOS DE CALCIO Y MAGNESIO	SULFATO DE CALCIO SILICA Y SILICATOS OXIDOS DE HIERRO OXIDOS DE COBRE OXIDOS DE ZINC Y SALES SULFUROS	GRASAS LIGERAS GRASAS LIGERAS Y ACEITES MINERALES.	ACEITES MINERALES ACEITES VEGETAL Y ANIMALES DEPOSITOS CARBONOSOS	ACERO DULCE	ACERO INOXIDABLE, MANTENIDA	ACERO INOXIDABLE, AUSTENITA	COBRE	ALEACION DE COBRE	CUPRO-NIQUEL	ALEACION DE NIQUEL	ZINC (GALVANIZADO)	ALUMINIO	OTROS MATERIALES PARA LOS QUE NO SE DEBERIA USAR SOLVENTES.
ACIDO CLORHIDRICO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	ESMALTES	
ACIDO CLORHIDRICO + BISULFURO DE AMONIO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	ESMALTES; VIDRIO DE SILICE DESCAR- TADO.	
ACIDO ACETICO	X	X										* 66°C	ESMALTES *DE ATAQUE LIMITADO	
ACIDO FORMICO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	ESMALTES	
ACIDO FOSFORICO		X											ESMALTES	
ACIDO SULFAMICO		X	X									66°C	ESMALTES	
ACIDO SULFURICO		X	X	X	X								ESMALTES	
ACIDO NITRICO	X	X	X	X	X			*	*	*			ESMALTES *UNICAMENTE POR INMERSION RAPI- DA.	
ACIDO CITRICO AMONIACAL PH 3.5		X	X											
FOSFATO TRISODICO	X	X	X	X										
SOLVENTES ORGANICOS			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	ALGUNOS PLASTICOS	
BOLUCIONES CAUSTICAS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	VIDRIO	

X = EL SOLVENTE SE PUEDE USAR PARA ESTOS DEPOSITOS.

O = EL SOLVENTE SE PUEDE USAR CON ESTOS MATERIALES.

## CAPITULO V.

TECNICAS Y HERRAMIENTAS  
EN LA INSPECCION.

LA NECESIDAD DE EVITAR LOS COSTOSOS Y TRAGICOS ACCIDENTES INDUSTRIALES HA OBLIGADO A ESTABLECER UN CONJUNTO DE TECNICAS DE INSPECCION QUE SON MUY VARIADAS EN VIRTUD DE LA DIVERSIDAD DE EQUIPOS, PERO QUE PARA DESCRIBIRLAS SE ACOSTUMBRA A CLASIFICARLAS COMO TECNICAS DE METODOS DESTRUCTIVOS Y DE METODOS NO DESTRUCTIVOS; CON LA PREFERENCIA DESDE LUEGO DE ESTOS ULTIMOS; PARA REVISAR PERIODICAMENTE EL ESTADO DEL EQUIPO Y DE SUS DISPOSITIVOS DE PROTECCION Y ALIVIO, QUE NOS PERMITA MANTENER LAS VARIABLES DE PROCESO DENTRO DE LOS LIMITES DE OPERACION, REEMPLAZAR LAS PARTES DESGASTADAS O DAÑADAS ANTES DE QUE SU FALLA O RUPTURA DE ORIGEN A SITUACIONES PELIGROSAS Y EVITAR O AL MENOS ATENUAR DAÑOS A LOS EQUIPOS Y AL PERSONAL, CONSIGUIENDO TAMBIEN DE ESTA MANERA PREVER NECESIDADES DE MATERIALES Y ORGANIZAR EN FORMA ADECUADA LOS TRABAJOS DE REPARACION, LO CUAL DISMINUYE AL MINIMO EL TIEMPO TOTAL QUE SE ENCUENTRA INACTIVO EL EQUIPO Y JUSTIFICA AUN MAS DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONOMICO LAS REVISIONES PERIODICAS.

TECNICAS QUE UTILIZAN PRINCIPALMENTE INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS TALES COMO :

REVISIONES VISUALES Y DE TACTO DE LAS SUPERFICIES EN CONTACTO CON LOS MATERIALES ELABORADOS Y CON EL MEDIO AMBIENTE, DONDE Y SOBRE TODO CON EL USO DE PENETRANTES CON O SIN ILUMINACION ES-

PECIAL PARA DESCUBRIR DEFECTOS DE FABRICACION O FRACTURAS, OPTI-  
CAMENTE MAGNIFICAN O ILUMINAN LOS DEFECTOS COMO LO HACEN LOS BO-  
ROSCOPOS QUE EXTIENDEN LA PERCEPCION VISUAL A LUGARES INACESI-  
BLES DENTRO DE TUBOS, DE RECIPIENTES O AUN ALREDEDOR DE JUNTAS.

INSTRUMENTOS QUE EN MUCHAS OCACIONES NOS DAN INTERPRETACIO-  
NES AUTOMATICAS A TRAVES DE IMAGENES REALZADAS, AMPLIADAS Y POR  
SUPUESTO DE ANALISIS COMPUTARIZADO; UTILIZADOS COMO APLICACIONES  
PERIODICAS, TEMPORALES O INSTALADOS PERMANENTEMENTE PARA MONITO-  
REO DEL EQUIPO; CUYOS RESULTADOS DE PRUEBA SE PUEDEN TOMAR DELI-  
BERADAMENTE COMO RECORDS MOSTRADOS EN UN TIEMPO REAL.

HERRAMIENTAS, QUE PROPIAMENTE APLICADAS JUNTO CON ALARMAS,  
PAROS AUTOMATICOS Y UNA GRAN VARIEDAD DE OTROS ARTEFACTOS DE AC-  
CION QUE SE PUEDEN USAR CON ELLAS, POTENCIALMENTE VALIOSAS, SON  
IDEADAS EN SU MAYOR PARTE PARA APOYAR LA FILOSOFIA DE LLEVAR A -  
CABO EL TRABAJO DE INSPECCION Y MANTENIMIENTO EN UN TIEMPO APRO-  
PIADO; AYUDANDO A LAS PERSONAS EN LA DETECCION Y CONOCIMIENTO DE  
SABER CUANDO ES O NO NECESARIO EFECTUARLO JUSTIFICADAMENTE, ASI  
COMO PERMITIR LA DETECCION DE CONDICIONES ANORMALES QUE SE SALEN  
DEL ALCANCE DE LOS SENTIDOS HUMANOS; HERRAMIENTAS QUE CONVIERTEN  
VARIAS FORMAS DE ENERGIA EN IMPULSOS ELECTRICOS PARA PROPORCIO-  
NARNOS RESULTADOS, POR MEDIO DE SIGNOS SENSIBLES QUE SE PUEDAN -  
TRANSMITIR EN FORMA DE NUMEROS; POR EJEMPLO POR CABLE, ONDAS DE  
RADIO O SONAR, DE TAL MODO QUE LAS ANOMALIAS PUEDAN ANALIZARSE Y  
SI ES NECESARIO SE PUEDA TOMAR UNA ACCION.

CALIBRADORES DE ESPESORES QUE VAN DESDE APARATOS SIMPLES --  
HASTA MEDIOS INDIRECTOS; ULTRASONICOS O ELECTROMAGNETICOS QUE IN-

CLUSO PUEDEN DETECTAR ADELGASAMIENTO DE LAS PAREDES INTERNAS, CORROSION, EROSION Y RUPTURAS SIN NECESIDAD DE DESARMAR EL EQUIPO.

REVISIONES CON PARTICULAS MAGNETICAS, RADIOISOTOPOS O MAGNETIZADAS PARA LA DETERMINACION DE FRACTURAS O FALLAS.

APLICACION DE CAMPOS MAGNETICOS PARA DETERMINAR ZONAS CON CAMBIOS DE COMPOSICION.

HERRAMIENTAS QUE SE PUEDEN CLASIFICAR EN GENERAL, EN BASE A LA MEDICION USADA; POR EJEMPLO LAS VIBRACIONES MIDEN MOVIMIENTO, OTRAS PUEDEN USAR SONIDO, CALOR, LUZ, RAYOS X, GAMMA, U OTRA PORCION DEL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO (FIG 5.1); EFECTOS INCIDENTALES DE OPERACION DE LOS CAMBIADORES DE CALOR QUE SE PRESENTAN Y QUE PUEDEN SER APROPIADOS PARA MEDIR Y ANALIZAR.

#### METODOS DESTRUCTIVOS DE INSPECCION.

##### PRUEBA DE IMPACTO.

ESTE METODO, NO OBSTANTE QUE ES SENCILLO, REQUIERE DE PRACTICA PARA GOLPEAR DEBIDAMENTE EL EQUIPO E INTERPRETAR CORRECTAMENTE SUS RESULTADOS; UTILIZADO EN LA DETERMINACION DE ESPESORES POR MEDIO DE LA HUELLA QUE DEJA EN EL MATERIAL Y DEL SONIDO QUE PRODUCE AL IMPACTO, A SABER:

-CUANDO EL MATERIAL ESTA EN BUENAS CONDICIONES, LA HUELLA CORRESPONDE UNICAMENTE A LA DEJADA POR LA BOLA DEL MARTILLO.

-CUANDO EL MATERIAL YA NO ESTA EN CONDICIONES DE SEGUIR OPERANDO, YA SEA PORQUE HA PERDIDO ESPESOR O ELASTICIDAD, LA HUELLA PRESENTA UNA DOBLE DEFORMACION; UNA QUE CORRESPONDE A LA BOLA DEL MARTILLO Y OTRA QUE LE CIRCUNDA, LA CUAL EN TERMINOS COMUNES

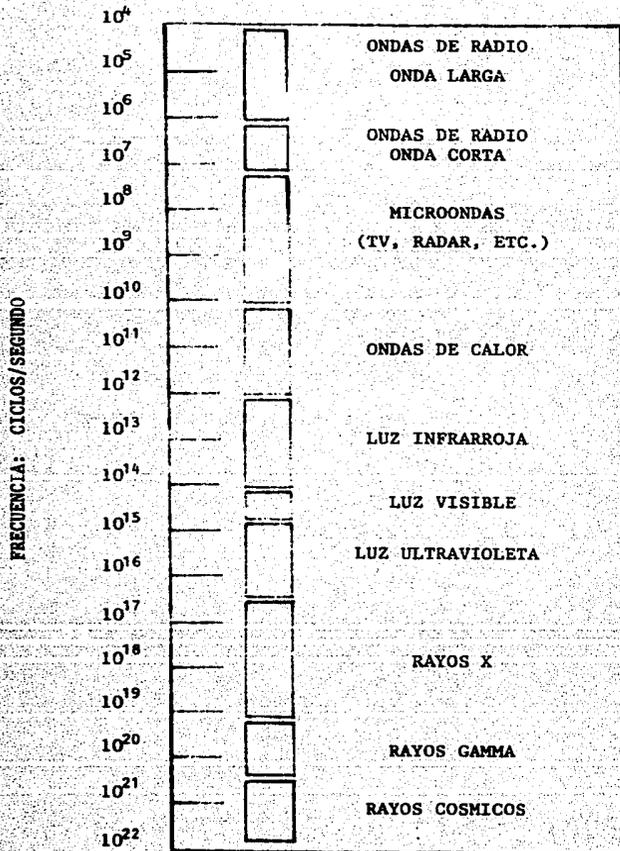


FIG. 5.1. COMPORTAMIENTO DE LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS

SE CONOCE COMO "SUMIDA DEL MATERIAL O CAZUELA".

-EL SONIDO AGUDO INDICA MATERIALES EN BUENAS CONDICIONES.

-SONIDO GRAVE INDICA MATERIALES FATIGADOS O ADELGAZADOS.

#### COLOCACION DE TALADROS DE PRUEBA.

ESTE METODO CONSISTE EN EFECTUAR UN BARRENO DE PEQUEÑAS DIMENSIONES EN LA PARED DEL EQUIPO, OBSERVAR A TRAVES DE EL O MEDIR EL ESPESOR Y DESPUES CON UN MACHUELO APROPIADO HACER UNA CUERDA PARA PODER COLOCAR UN TAPON, MISMO QUE DEBERA SOLDARSE. METODO QUE OBTIENE POSIBLES PUNTOS DE FALLA E INCONVENIENTE DE CONSUMIR MUCHO TIEMPO Y MANO DE OBRA, RAZONES POR LAS QUE ESTA PRACTICAMENTE EN DESUSO.

#### DESEMBRIDADO.

COMO SU NOMBRE LO INDICA, CONSISTE EN DESEMBRIDAR PIEZAS O TRAMOS PARA EFECTUAR OBSERVACIONES O MEDICIONES. METODO INOPERANTE CON EQUIPOS EN OPERACION Y AUN LIMITADO EN LAS REPARACIONES.

#### TREPIDACION.

METODO EMPLEADO NORMALMENTE PARA LA DETERMINACION DE POROS O FRACTURAS EN SOLDADURAS, QUE COMBINA POR UNA PARTE EL IMPACTO CON MARTILLO CON LA VIBRACION PRODUCIDA (GOLPE DE ARIETE) POR UN MEDIO COMO EL AGUA, QUE HACE QUE ESTA SE INTRODUZCA EN LOS POROS O FALLAS, DETERMINANDO ASI SU PRESENCIA POR ESCURRIMIENTO.

#### MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS DE INSPECCION.

ESTE TIPO DE INSPECCION DE MATERIALES Y EQUIPOS ES APLICABLE PARA AQUELLOS CASOS EN QUE SE DESEA QUE LAS PROPIEDADES MECANICAS Y QUIMICAS NO CAMBIEN SUS PROPIEDADES DESPUES DE EFECTUAR-

SE LAS PRUEBAS. METODOS APLICABLES PARA DETECTAR DISCONTINUIDADES DE LOS MATERIALES, SOLDADURAS, ETC. Y QUE SON APROBADOS POR SOCIEDADES TALES COMO: ASME, API, ASTM, SAE, DGN, ETC.

LOS METODOS PODEMOS CLASIFICARLOS DE ACUERDO AL PRINCIPIO EN QUE SE BASAN, COMO SIGUE: (TABLA 5-1)

- ELECTROMAGNETICOS: RADIACION, CORRIENTE EN REMOLINO (EDDY), -  
TERMOGRAFIA.
- LIQUIDOS PENETRANTES.
- ULTRASONIDO.
- ANALISIS DE VIBRACIONES.

## M E T O D O S     E L E C T R O M A G N E T I C O S .

### R A D I A C I O N .

EL METODO IMPLICA EL PASO DE RADIACIONES A TRAVES DE UN METAL Y LA IMPRESION DE UNA PELICULA SENSIBLE SOBRE LA QUE APARECERA EL REGISTRO DE IRREGULARIDADES TALES COMO INCLUSIONES DE ESCORIA, POROS, FRACTURAS, ETC.

EL RADIOGRAFIADO DEPENDE DE LA GRAN PENETRABILIDAD DE LOS RAYOS X, GAMMA Y DE LAS PARTICULAS NUCLEARES QUE SE UTILICEN SEGUN LAS DIFERENTES FUENTES DE ENERGIA EMISORA DE RAYOS, PRINCIPIO EN QUE SE BASA ESTE METODO, ASI COMO DEL TIPO DE PELICULA DE IMPRESION COMO ES EL CASO DEL RADIOGRAFIADO PROPIAMENTE DICHO, DE FLASHEO, DE ALTA VELOCIDAD, XERO-RADIOGRAFIA, ETC., O DE LA PANTALLA DE VIDEO COMO EN LA FLUOROSCOPIA.

SE USA PARA MEDIR ESPESORES DE MATERIALES Y RECUBRIMIENTOS.

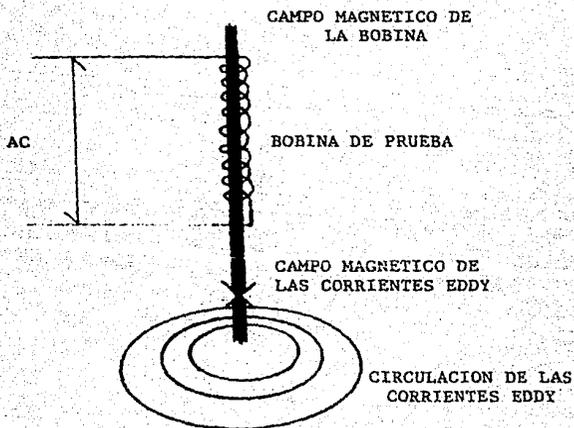


FIG. 5.2 PRINCIPIO DE LA CORRIENTE EN REMOLINO (EDDY)

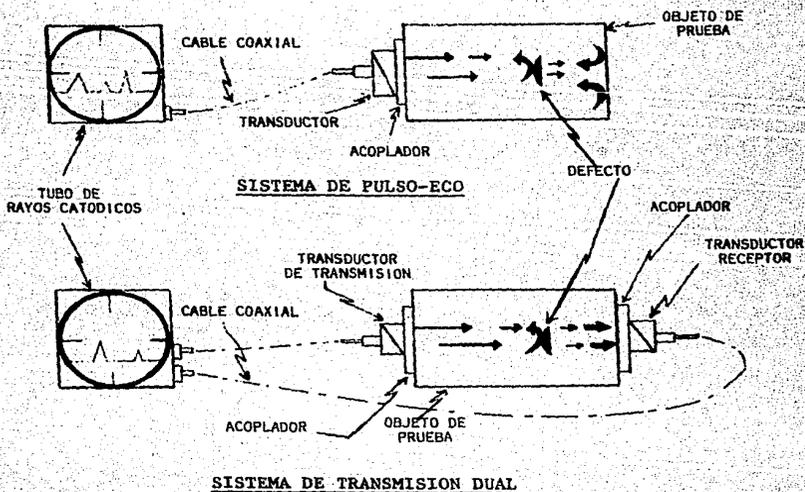


FIG. 5.3 SISTEMAS DE TRANSMISION USADOS EN LAS TECNICAS DE ULTRASONIDO

DETECTAR DEFECTOS INTERNOS TALES COMO FRACTURAS, VACIOS, CORROSION, DEFICIENCIAS EN LAS UNIONES, LAMINACION Y POROSIDADES; INCLUYENDO EN SUS APLICACIONES DE PRUEBAS: LAMINAS, TUBOS, VARI--LLAS, MOLDES, ENSAMBLES, PANELES, COSTURAS, PAREDES, RECIPIENTES A PRESION, ETC- CONTANDO ADEMAS DENTRO DE SUS VENTAJAS:

- CON UNA ALTA PENETRACION Y DETECCION DE ANOMALIAS EN IRREGULARIDADES DE DENSIDAD O GEOMETRIA.
- ALTA SENSIBILIDAD;

PERO QUE SIN EMBARGO: REQUIERE DE CONTROLES RIGIDOS DE SEGURIDAD Y REQUIERE DE TECNICOS BIEN ENTRENADOS EN SU PRODUCCION. - MANEJO E INTERPRETACION.

#### METODO DE PARTICULAS MAGNETICAS:

ESTE METODO UTILIZA LA MAGNETIZACION TEMPORAL DE LAS PARTES DEL EQUIPO A INSPECCIONAR MEDIANTE UN CAMPO MAGNETICO ADECUADO, ESPARCIENDO PARTICULAS DE HIERRO DISTRIBUIDAS EN FORMA UNIFORME EN LA SUPERFICIE DE LA MISMA, PARA QUE EN ESTA FORMA, DONDE EXISTA DISCONTINUIDAD DEL MATERIAL, HABRA UNA GRAN CONCENTRACION DE PARTICULAS DE HIERRO ATRAIDAS HACIA ESTA DISCONTINUIDAD, DEBIDO A LA VARIACION DEL CAMPO MAGNETICO PROVOCADO POR LA INTERRUPCION DEL FLUJO UNIFORME DE LINEAS DE FUERZA, QUE ORIGINA UN POLO MAGNETICO LOCAL, DE DONDE EMANA UN FLUJO DE LINEAS HACIA LOS ALREDEDORES; DE MANERA QUE AL ESPOLVOREARSE LA ZONA CON PARTICULAS FINAS DE UN POLVO MAGNETICO (HIERRO), ESTAS SON ATRAIDAS FUERTEMENTE HACIA CUALQUIER POLO DE DISCONTINUIDAD, CONCENTRANDOSE EN TALES PUNTOS E INDICANDO DE MANERA EFECTIVA LA LOCALIZACION, EXTEN-

SION Y EN CIERTO GRADO EL CARACTER DE CUALQUIER DEFECTO.

METODO DE CORRIENTES EN REMOLINO (EDDY).

LA TECNICA QUE UTILIZA CORRIENTE EN REMOLINO, SE USA COMUN-  
MENTE PARA DETERMINAR VARIACIONES EN EL ESPESOR DE PAREDES, COS-  
TURAS LONGITUDINALES, FRACTURAS, HUECOS, POROSIDADES, ANALISIS -  
DE METALES, DEFICIENCIA DE LAS UNIONES Y ESPESORES DE REVESTI-  
MIENTOS; SIENDO SUS LIMITACIONES:

- LAS DE LIMITADO NIVEL DE PENETRACION,
- LIMITADO A CONDUCTORES O MATERIALES RESPALDADOS POR CONDUCTO-  
RES-
- Y, DE UNA INTERPRETACION QUE SE PUEDE DIFICULTAR DEBIDO A INDI-  
CACIONES FALSEADAS POR VARIACIONES TALES COMO LA TEMPERATURA U  
OTRAS VARIABLES.

SIN EMBARGO, PUEDE DESIGNARSE COMO:

- UNA PRUEBA DE ALTA RAPIDEZ;
- NO REQUERIR DE CONTACTO CON LOS ESPECIMENES MANEJADOS;
- LOS CONDUCTORES SE PUEDEN PROBAR A TRAVES DE AISLADORES;
- ES UNA PRUEBA EXCEPCIONALMENTE SENSITIVA;
- NO REQUIERE DE LIMPIEZA
- Y ES FACIL DE OPERAR.

LA CORRIENTE DE EDDY SE DEFINE COMO UNA CORRIENTE ELECTRICA  
CIRCULANTE INDUCIDA EN UN CONDUCTOR POR UN CAMPO MAGNETICO ALTER-  
NO; Y CONSISTE DE UN GENERADOR, UNA BOBINA DE PRUEBA E INDICADOR  
QUE NOS SEÑALA LA FORMA COMO SE AFECTA EL CONDUCTOR POR LAS CO-  
RRIENTES EDDY. (FIG. 5-2)

SI EL CAMPO DE LA CORRIENTE DE EDDY CAMBIA, LA INDICACION A TRAVES DE LA BOBINA CAMBIARA TAMBIEN.

DEBIDO A QUE EL FLUJO DE CORRIENTE DE EDDY GENERA UN FLUJO MAGNETICO DE LA BOBINA DE PRUEBA, LA PENETRACION DE LAS CORRIENTES SERAN DE ACUERDO A LA FRECUENCIA CON LA QUE SE GENERA EL CAMPO, POR LO QUE PODEMOS DECIR QUE ES MAXIMA EN LAS SUPERFICIES Y VA DECRECIENDO EN VALOR CONFORME SE APROXIMA AL CENTRO DE LA PIEZA INSPECCIONADA, Y LA PENETRACION DE LA CORRIENTE VARIA CON LA FRECUENCIA CON QUE SE GENERA EL CAMPO MAGNETICO, ES DECIR:

- A MENOR FRECUENCIA O MENOR CONDUCTIVIDAD, LA PENETRACION DE LA CORRIENTE DE EDDY AUMENTA.

EXISTEN FACTORES QUE HACEN CAMBIAR LAS INDICACIONES, COMO SON FRACTURAS, INCLUSIONES, LAMINACIONES, ETC. PUESTO QUE INTERRUPTEN EL FLUJO DE CORRIENTE, DANDO UNA DISTORSION DEL CAMPO MAGNETICO; OTRO FACTOR ES LA TEMPERATURA, YA QUE EN LA MAYORIA DE LOS METALES, LA CONDUCTIVIDAD DECRECE CUANDO LA TEMPERATURA SE INCREMENTA; FACTORES QUE SE DEBEN TENER EN CUENTA PARA LA INTERPRETACION CORRECTA DE LOS RESULTADOS.

#### T E R M O G R A F I A .

LA TEMMOGRAFIA UTILIZA ONDAS ELECTROMAGNETICAS DE LUZ EN EL INFRARROJO, Y SE APLICA PRINCIPALMENTE PARA DETECTAR DIFERENCIAS DE TEMPERATURAS EN LAS SUPERFICIES DE OBJETOS O PIEZAS DE LOS EQUIPOS AL VARIAR LA INTENSIDAD DEL TINTE DE LA FOTOGRAFIA, A SABER, ES OSCURA Y BRILLANTE A BAJAS Y ALTAS TEMPERATURAS RESPECTIVAMENTE; PERMITIENDONOS ESTE METODO EXACTITUDES HASTA DE MEDIO

GRADO, DE -22 A MAS DE 3600 GRADOS F Y A DISTANCIA DE LA CAMARA AL OBJETIVO QUE PUEDE SER DE ALGUNOS METROS.

#### L I Q U I D O S P E N E T R A N T E S .

ESTE METODO NOS SIRVE PARA DETECTAR FALLAS O DEFECTOS SUPERFICIALES EN LA INSPECCION DE PIEZAS Y SOLDADURAS DE MATERIALES QUE SEAN O NO MAGNETICOS.

SE EMPLEAN COMO PENETRANTES A SUBSTANCIAS DE BAJA TENSION SUPERFICIAL, LO CUAL PERMITE QUE PENETREN POR CAPILARIDAD EN LAS GRIETAS DE LAS PIEZAS EXAMINADAS.

EL PROCEDIMIENTO DE INSPECCION SE LLEVA A CABO APLICANDO UN LIMPIADOR PARA ELIMINAR GRASAS QUE PUEDAN OBSTRUIR LA PRUEBA, SE APLICA EL PENETRANTE YA SEA DE COLOR O DEL TIPO FLUORESCENTE, DEJANDOSE UN TIEMPO PARA PERMITIR LA PENETRACION, SE LIMPIA EL EXOSO PARA APLICAR EL REVELADOR QUE ES UN SOLIDO SUSPENDIDO EN UN LIQUIDO VOLATIL QUE AL EVAPORARSE DEJA UNA CAPA DE POLVO ADHERIDO, EL CUAL POR SUS PROPIEDADES ABSORVENTES INVIERTE EL FENOMENO DE CAPILARIDAD, HACIENDO QUE LOS DEFECTOS SE MANIFIESTEN POR LA COLORACION PROPIA DEL PENETRANTE SOBRE EL REVELADOR.

LA INTERPRETACION DEL TIPO Y MAGNITUD DE FALLA SE HACE EN FUNCION DE LA FORMA E INTENSIDAD DE LA INDICACION QUE MANIFIESTA.

#### U L T R A S O N I D O .

EL FUNDAMENTO DE SU APLICACION SE BASA EN EL HECHO DE QUE LAS ONDAS ULTRASONICAS SE PROPAGAN RAPIDAMENTE EN LOS CUERPOS SOLIDOS A DISTANCIAS DE CONSIDERACION Y EN LINEA RECTA, NO OCURR

ARRIENDO LO MISMO EN EL AIRE, YA QUE ESTE NO PERMITE QUE SE REFLEJE TODA LA ENERGIA DEL IMPULSO. DE ESTA FORMA, SI SE INTERPONE EN EL CAMINO DEL ULTRASONIDO UNA FISURA, PORO O DISCONTINUIDAD DEL MATERIAL, SE REFLEJAN LAS ONDAS DEL ULTIMO PUNTO DONDE EXISTIO CONTINUIDAD DEL MATERIAL, DANDO ASI UN REBOTE O ECO, QUE ES LA REPETICION DE UN SONIDO POR LA REFLEXION QUE EXPERIMENTA EN UN OBSTACULO. TENIENDO DE ESTA MANERA, UNA FORMA PARA MEDIR DISTANCIAS CONOCIENDO LA VELOCIDAD DEL SONIDO EN UN CIERTO MEDIO, Y POR EL TIEMPO EXISTENTE ENTRE EL SONIDO ORIGINAL Y EL ECO.

EL ULTRASONIDO ENVIA UNA FORMA DE ENERGIA ARMONICA TRANSMITIDA EN PATRONES DE ONDA A TRAVES DE DIVERSOS MATERIALES PARA DETECTAR CAMBIOS BRUSCOS EN SU HOMOGENEIDAD E IMPERFECCIONES EN MATERIALES DE ALTA DENSIDAD; TECNICA CON QUE PUEDEN DETECTARSE: AREAS DISMINUIDAS, DELAMINACION, ROMPIMIENTOS, INTERSTICIOS, MICROFISURAS, INCLUSIONES, CORROSION, PICADURAS, DEFECTOS DE FORJADO, DE SOLDADURA Y CALIBRACIONES DE ESPESORES.

LAS TECNICAS DE ULTRASONIDO SE BASAN PRINCIPALMENTE EN DOS SISTEMAS DE TRANSMISION: DE PULSO-ECO Y DE TRANSMISION DUAL (FIG. 5.3) SIENDO SUS APLICACIONES TIPICAS PERO NO EXCLUSIVAS DE MATERIALES METALICOS; CON LAS VENTAJAS DE:

- \* SER POSIBLE UNA MUY PROFUNDA PENETRACION.
- \* SER USUALMENTE RAPIDO, SEGURO, FACIL DE OPERAR Y DE PODER AUTOMATIZARSE.
- \* LOS RESULTADOS SE PUEDEN CONOCER INMEDIATAMENTE Y LAS INDICACIONES MOSTRARSE EN UNA VARIEDAD DE TECNICAS DE LECTURA.
- \* SON POSIBLES EXACTITUDES ALTAS CON RESULTADOS MUY SENSIBLES.

• REQUERIR DE SOLAMENTE UNA SUPERFICIE DISPONIBLE.

NO OBSTANTE, TIENE COMO DESVENTAJAS LAS SIGUIENTES:

- SE REQUIERE DE CONTACTO O INMERSION.
- LAS TECNICAS PUEDEN LIMITARSE POR LA GEOMETRIA, ORIENTACION -- DEL FLUJO O DENSIDAD DEL MATERIAL QUE SE TRATE.
- LAS CONDICIONES INTERNAS PUEDEN ENMASCARAR LOS RESULTADOS.
- LAS TECNICAS NO SE PUEDEN USAR CON TODOS LOS MATERIALES.
- ALGUNAS TECNICAS SON INTERPRETATIVAMENTE MUY ALTAS Y REQUIEREN DE INFORMACION CORRELATIVA MUY ESTRECHA.

#### A N A L I S I S    D E    V I B R A C I O N E S .

EL ANALIZADOR DE VIBRACIONES SE HA USADO EXITOSAMENTE EN EL MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE LOS EQUIPOS, PERMITIENDO DIAGNOSTICAR PROBLEMAS DE OPERACION; PARA LO CUAL ES IMPORTANTE EL ESTABLECIMIENTO DE UN PATRON BASICO DE LA AMPLITUD, FRECUENCIA, FASE Y VELOCIDAD DE VIBRACION POR MONITOREO DE DESBALANCEAMIENTOS; DESALINEACIONES; FATIGAS DE SOPORTES, CONECCIONES; FUERZAS AERODINAMICAS, HIDRAULICAS O RECIPROCANTES, ETC.

EL ANALIZADOR DE VIBRACIONES PUEDE REDUCIR LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO PORQUE DETECTA AVERIAS CON ANTICIPACION Y CALIDAD EN LA EVALUACION DE EQUIPO NUEVO O REPARADO. SIN EMBARGO, LAS VARIACIONES EN EL PROCESO O AL EFECTUAR LA INSTALACION DEL EQUIPO (AUN CUANDO SE DETECTAN RAPIDAMENTE LOS CAMBIOS CON RESPECTO A LOS PATRONES DE VIBRACION), DIFICULTA RELACIONAR LOS DATOS A UN ESTANDAR UNIFORME Y REQUERIR DE ALGUN OTRO TIPO DE ANALIZADORES, TAL VEZ MAS SOFISTICADOS, PARA DETERMINAR LA CAUSA DEL CAMBIO.

## C O N C L U S I O N E S .

EN LA PRESENTE TESIS SE DESTACA LA IMPORTANCIA DE ESTABLE--  
CER PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO E INSPECCION DE LOS CAMBIADORES -  
DE CALOR, QUE DEFINAN ACCIONES CONCRETAS DE MEDIDAS TANTO PREVEN--  
TIVAS COMO CORRECTIVAS PARA PERMITIR LA OPTIMIZACION DE LOS EQUI--  
POS Y USO APROPIADO DE LA ENERGIA EN BENEFICIO DE LA PRODUCCION  
Y LA ECONOMIA DE LAS EMPRESAS; OBJETIVOS QUE NO SE PUEDEN ALCAN--  
ZAR SI LOS EQUIPOS SUFREN AVERIAS.

POR TANTO, SE REQUIERE DE LA EXISTENCIA DE UNA LABOR EFECTI--  
VA EN EL CUIDADO Y LIMPIEZA DE LOS CAMBIADORES DE CALOR, DEBIDO  
A LAS CONDICIONES DE TRABAJO CONTINUO A QUE ESTAN SUJETOS ESTOS  
EQUIPOS, LO QUE HACE NECESARIA LA RECOPIACION Y ANALISIS DE LA  
INFORMACION QUE NOS PROPORCIONAN LAS ACCIONES COORDINADAS EN EL  
DISEÑO, CONSTRUCCION, INSTALACION Y OPERACION DE LOS MISMOS.

DE ESTA MANERA, SE CONCLUYE QUE LA FORMALIZACION DEL MANTE--  
NIMIENTO COMO UN SISTEMA DE ORGANIZACION ADMINISTRATIVO, ES EL -  
FACTOR DECISIVO QUE CONDUCE AL EXITO DE UNA PLANEACION PARTICIPA--  
TIVA, PARA SELECCIONAR Y DEFINIR CORRECTAMENTE LAS POLITICAS DE  
MANTENIMIENTO E INSPECCION, ASI COMO LA INTEGRACION DE EQUIPOS -  
DE TRABAJO QUE PERMITEN OBTENER EXELENTE DIRECCION EN EL CONTROL,  
AVANCE DE LOS TRABAJOS, PROTECCION DE EQUIPOS Y DIFUSION DE LOS  
RESULTADOS, CON EL FIN DE MEJORAR LA EFICIENCIA Y FUNCIONALIDAD  
DE LOS CAMBIADORES DE CALOR Y REDUCIR EL TIEMPO EN LA REALIZA--  
CION DE INSPECCIONES Y REPARACIONES; LO CUAL ES UNA CONTRIBUCION  
VALIOSA A LOS ESFUERZOS NACIONALES DE AHORRO DE ENERGIA.

## A P E N D I C E S •

## A P E N D I C E A -

ASPECTOS GENERALES DE LAS NORMAS DE LA  
ASOCIACION DE MANUFACTURADORES DE INTERCAMBIADORES TUBULARES.

EL "TEMA" CONSTITUYE LA NORMA ESPECIFICA DE DISEÑO PARA LOS CAMBIADORES DE CALOR, EL CUAL, EN SUS PRIMEROS PARRAFOS ESTABLECE QUE LOS CAMBIADORES CONSTRUIDOS DE ACUERDO A DICHAS NORMAS DEBEN CUMPLIR CON LA SECCION VIII, DIVISION 1 DEL CODIGO "ASME" PARA CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESION.

LA SECCION 1 ESTABLECE UN SISTEMA DE NOMENCLATURA, QUE NOS PERMITE DESCRIBIR EN FORMA ESPECIFICA Y BREVE CUALQUIER TAMAÑO Y TIPO NORMAL DE CAMBIADOR. (FIGURA 1.1A). ASI TENEMOS QUE PARA DAR EL TAMAÑO, LO HACEMOS CON EL DIAMETRO NOMINAL QUE SERA EL DIAMETRO INTERNO DE LA CORAZA REDONDEADO AL ENTERO MAS CERCANO EN PULGADAS, SEGUIDO DE UN GUION Y DESPUES LA LONGITUD RECTA NOMINAL DE LOS TUBOS, TAMBIEN EN PULGADAS; Y EL TIPO SE DA CON TRES LETRAS, EN DONDE LA PRIMERA INDICA EL TIPO DEL CABEZAL DE ENTRADA; LA SEGUNDA LETRA EL TIPO DE CORAZA Y LA TERCERA SE REFIERE AL TIPO DEL CABEZAL DE RETORNO.

LA SECCION 2, DESCRIBE LAS TOLERANCIAS DIMENSIONALES MAXIMAS ACEPTABLES, PARA UNA FABRICACION NORMAL.

LA SECCION 3 CUBRE LA FABRICACION EN GENERAL Y LA INFORMACION PERTINENTE DE INSPECCION, GARANTIAS DE OPERACION, DIBUJOS DE APROBACION, PLACAS DE NOMBRE Y RECOMENDACION DE FORMAS PARA LA ESPECIFICACION APROPIADA DE LOS CAMBIADORES COMO UNA BASE PARA EL DISEÑO.

NOMENCLATURA DE CAMBIADORES DE CALOR DE TUBO Y CORAZA, SEGUN LA ASOCIACION  
DE INGENIEROS DE CAMBIADORES DE CALOR TUBULARES

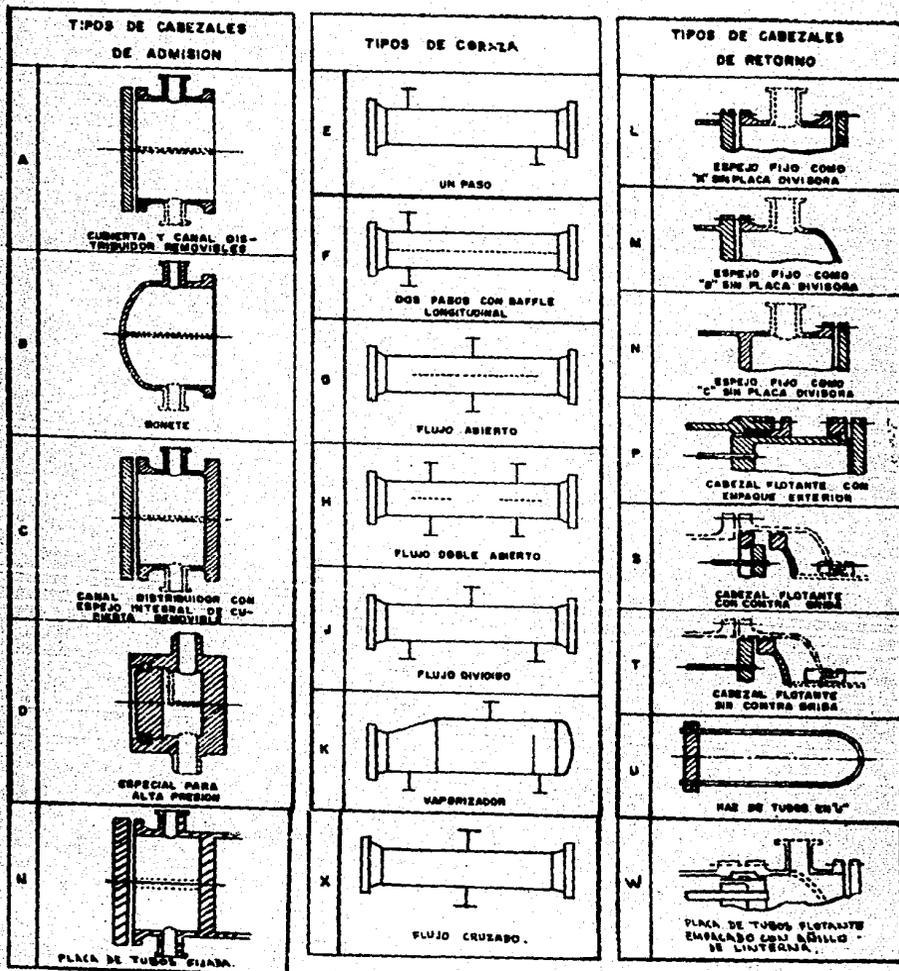


FIG. 1.14

LA SECCION 4 QUE ES DE GRAN VALOR PARA LA DETERMINACION DEL FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO; DA INFORMACION PRECISAMENTE SOBRE LA INSTALACION, OPERACION Y MANTENIMIENTO.

LAS SECCIONES 5, 6 Y 7 NOS PROPORCIONAN DATOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LAS TRES CLASES DE CAMBIADORES; CLASE "R" QUE SE USA PRINCIPALMENTE PARA SERVICIOS SEVEROS; LA CLASE "C" PARA USO GENERAL; Y LA CLASE "B" CUYA UTILIZACION SE ENCUENTRA ENTRE LAS DOS CLASES ANTES MENCIONADAS.

ASI MISMO NOS DAN LA DIFERENCIA ENTRE CADA UNA DE ESTAS CLASES; PROCEDIMIENTOS DE PRUEBA, DOBLADO Y ARREGLOS DE TUBOS, CALCULO DE ESFUERZOS DE LA CORAZA Y DE TUBOS, UNIONES, CARGAS DE COMPRESION AXIAL QUE CAUSAN DEFORMACIONES, DISEÑO DE DEFLECTORES, SUS DIMENSIONES Y SOPORTES; CALCULO DE ESPESORES DE LOS ESPEJOS, PRESIONES DIFERENCIALES ENTRE EL LADO DE LOS TUBOS Y EL DE LA CORAZA; DISEÑO DE LOS CABEZALES FLOTANTES, USO DE DIAFRAGMAS DE EXPANSION, TOLERANCIAS DE LOS BARRENOS DE LOS TUBOS Y MUCHAS OTRAS COSAS DE INTERES PARA EL DISEÑO MECANICO DE LOS CAMBIADORES DE CALOR.

EN LA SECCION 8 NOS ENCONTRAMOS CON UNA LISTA DE MATERIALES ACEPTABLES PARA LA CONSTRUCCION DE ESTOS EQUIPOS.

LA SECCION 9 DESCRIBE PROCEDIMIENTOS DE CALCULO PARA LA DETERMINACION DE LAS DIFERENCIAS DE TEMPERATURA MEDIA, ASI COMO RESISTENCIAS DE INCRUSTACIONES TIPICAS PARA EL CALCULO DE LOS COEFICIENTES TOTALES DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

LA SECCION 10 PROPORCIONA PROPIEDADES FISICAS BASICAS DE FLUIDOS QUE SE MANEJAN COMUNMENTE EN LOS CAMBIADORES DE CALOR.

Y POR ULTIMO, LA SECCION 11 CONTIENE INFORMACION GENERAL PARA LOS DIBUJANTES; DIMENSIONES DE TUBERIAS, CONEXIONES Y BRIDAS; DATOS DE TORNILLOS; CONDUCTIVIDADES TERMICAS, COEFICIENTES DE EXPANSION DE LOS METALES, PRESIONES DE TRABAJO, ETC.

## A P E N D I C E B .

## NUMEROS ADIMENSIONALES

## NUMERO DE NUSSELT.

EL NUMERO DE NUSSELT INDICA LA RELACION QUE EXISTE ENTRE EL GRADIENTE DE TEMPERATURA DE LA PARED, TRANSFERENCIA DE CALOR POR TRANSPORTE MOLECULAR; CON EL GRADIENTE MEDIO DE TEMPERATURA CORRESPONDIENTE A TODA LA SECCION, ES DECIR, TRANSFERENCIA DE CALOR MOLECULAR O TURBULENTO EN EL SENO DEL FLUIDO, EL CUAL SE DEFINE COMO:

$$NU = H * L / K$$

## EL NUMERO DE REYNOLDS.

LAS CONDICIONES BAJO LAS CUALES SE TRANSFORMA UN TIPO DE FLUJO LAMINAR EN TURBULENTO, ES DECIR, LOS EFECTOS POR VISCOSIDAD E INERCIALES DEBIDOS AL MOVIMIENTO DE LOS FLUIDOS QUE DEPENDEN DEL DIAMETRO DEL DUCTO, DE LA DENSIDAD, VISCOSIDAD Y LA VELOCIDAD LINEAL MEDIDA DEL FLUIDO; LOS RELACIONA EL NUMERO DEFINIDO COMO NUMERO DE REYNOLDS QUE SE REPRESENTA COMO SIGUE:

$$RE = R * U * L / \mu = U * L / \nu$$

ASI TENEMOS QUE EL NUMERO DE NUSSELT ES LA RELACION DEL MECANISMO QUE INVOLUCRA LA TRANSFERENCIA DE CALOR Y EL DE REYNOLDS ES LA RELACION DE LOS MECANISMOS QUE INVOLUCRAN LA TRANSFERENCIA DE CANTIDAD DE MOVIMIENTO.

## EL NUMERO DE PRANDTL.

EL NUMERO QUE REPRESENTA LA CAPACIDAD QUE TIENE EL FLUIDO - PARA LA DIFUSION DE MOMENTUM Y DE ENERGIA INTERNA POR MECANISMOS MOLECULARES, ES EL DE PRANDTL, EL CUAL RELACIONA LOS PERFILES DE VELOCIDAD Y EL DE TEMPERATURA, ES DECIR LA DIFUSIVIDAD MOLECULAR DE MOMENTUM QUE SE INDICA POR MEDIO DE LA VISCOSIDAD Y LA DIFUSIVIDAD DE CALOR. EN FUNCION SOLAMENTE DE LAS PROPIEDADES DEL FLUIDO, DEPENDIENDO DE LAS CARACTERISTICAS DEL FLUJO; SE DEFINE ASI:

$$PR = \mu * CP / K = \nu / \alpha.$$

EL SIGNIFICADO FISICO DE ESTE NUMERO SE HACE APARENTE OBSERVANDO QUE VIENE DADO POR LA RELACION DE LA VISCOSIDAD CINEMATICA ENTRE LA DIFUSIVIDAD TERMICA, DE FORMA QUE CORRESPONDE A LA RELACION ENTRE LA DIFUSIVIDAD DE CANTIDAD DE MOVIMIENTO Y LA DIFUSIVIDAD TERMICA. SU VALOR NUMERICO DEPENDE DE LA TEMPERATURA Y LA PRESION DEL FLUIDO Y POR CONSIGUIENTE, ES UNA VERDADERA PROPIEDAD DEL MISMO.

## EL NUMERO DE GRASHOF.

EL NUMERO DE GRASHOF ES UN PARAMETRO SIGNIFICATIVO AL RELACIONAR LA PROPORCION DE TRANSFERENCIA DE CALOR A LAS DIMENSIONES DEL SISTEMA Y LAS PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS. SE UTILIZA EN CORRELACIONES PARA EL FLUJO LAMINAR Y PARA LA CONVECCION NATURAL, EL CUAL RELACIONA LAS FUERZAS DE FLOTACION Y LAS DE VISCOSIDAD; ESTE PARAMETRO SE DEFINE COMO:

$$GR = L^{*3} * G * Y * \rho / \mu^{*2}$$

## EL NUMERO DE EULER.

LA DEFINICION DEL FACTOR DE FRICCION QUE RELACIONA LOS PARAMETROS GEOMETRICOS DE UN SISTEMA Y LA VELOCIDAD CARACTERISTICA DE LOS FLUIDOS CON LA CAIDA DE PRESION DE LOS MISMOS, LA DA EL NUMERO DE EULER DEFINIDO COMO:

$$EU = \hat{p} / (R * U^{*2})$$

## EL NUMERO DE PECLET.

ESTE NUMERO SE DEFINE COMO UN PRODUCTO DE LOS NUMEROS DE REYNOLDS (RE) Y EL DE PRANDTL (PR) A SABER:

$$PE = RE * PR$$

O SEA:

$$PE = R * CP * U * L / K = U * L / A$$

## EL NUMERO DE STANTON =

EL NUMERO DE STANTON SE RELACIONA A LOS NUMEROS DE NUSSELT, REYNOLDS Y AL DE PRANDTL COMO SIGUE:

$$ST = NU / (RE * PR)$$

POR TANTO PUEDE ESCRIBIRSE COMO:

$$ST = H / R * V * CP$$

SE HA ENCONTRADO QUE ESTE NUMERO CORRELACIONA EN FORMA APROXIMADA LOS DATOS PARA LOS GASES EN FLUJO TURBULENTO SIN PRESENTAR UNA CORRELACION EXPERIMENTAL PARA LIQUIDOS EN FLUJO TURBULENTO, NI PARA FLUIDOS EN EL FLUJO LAMINAR, CUANDO LA PRESENTACION DEL NUMERO SE HACE DE LA MANERA SIGUIENTE, SE LE CONOCE CON EL NOMBRE DE NUMERO DE MARGOLIS:

$$ST = NU / PE$$

FACTOR "J" DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

EL TERMINO:  $J = ST * PR^{2/3}$

SE DEFINE COMO UN FACTOR DE TRANSFERENCIA DE CALOR MUY UTIL EN LA DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR. EL CUAL PUEDE CORREGIRSE SEGUN EL CASO CON EL TERMINO MULTIPLICATIVO QUE SE MENCIONA A CONTINUACION:

FACTOR DE CORRECCION POR VISCOSIDADES.

LA MODIFICACION DE LA VELOCIDAD DEBIDA A LOS GRADIENTES DE TEMPERATURA CREADOS DENTRO DE UN FLUIDO ES ESPECIALMENTE IMPORTANTE CUANDO SE TRATA DE LIQUIDOS CUYA VISCOSIDAD VARIA MUCHO CON LA TEMPERATURA, PARA LO CUAL SE HA ENCONTRADO AL FACTOR:

$$(M / MW)^{0.14}$$

COMO UN FACTOR MULTIPLICATIVO DE CORRECCION, EL CUAL TOMA EN CONSIDERACION LOS EFECTOS DEL ESPESOR DE LA PELICULA DEL FLUIDO QUE SE ADHIERE A LA SUPERFICIE DE TRANSFERENCIA, DEBIDO AL GRADIENTE DE TEMPERATURAS ENTRE EL FLUIDO Y LA SUPERFICIE, CALCULANDOSE A LAS CONDICIONES DEL SENO DEL FLUIDO Y DE LA PARED.

EL NUMERO DE GRAETZ.

ESTE NUMERO ADIMENSIONAL SE PRESENTA COMO LA CONTRIBUCION A LA TRANSFERENCIA DE CALOR DEBIDA A LA CONVECCION FORZADA Y SE DEFINE COMO:

$$GZ = RE * PR * D / L * A / D^{0.2}$$

RAZÓN DE LA LONGITUD AL DIAMETRO DEL DUCTO: " $L/D$ "

LA RELACION DE  $L/D$  CONSIDERA LOS EFECTOS DE ENTRADA ASOCIADOS CON EL DESARROLLO DE LOS PERFILES DE VELOCIDAD Y DE TEMPERATURA DEL FLUIDO DENTRO DE UN TUBO, Y SE RELACIONA CON EL TIPO DE FLUJO SOBRE TODO EN ECUACIONES PARA LA REGION DE TRANSITO.

## A P E N D I C E C .

## ANALOGIA DE REYNOLDS.

COMO PRIMER RECONOCIMIENTO DE LA CONDUCTA ANALOGA DE LAS VELOCIDADES DE TRANSFERENCIA DE CALOR Y CANTIDAD DE MOVIMIENTO, TENEMOS A LA ANALOGIA DE REYNOLDS, LA CUAL ESTABLECE QUE DICHS MECANISMOS SE LLEVAN A CABO EN FORMA IDENTICA, LO CUAL AUN CUANDO TIENE UNA APLICACION LIMITADA, SE APLICA PARA GASES EN FLUJO TURBULENTO, VALIDA SOLAMENTE PARA VALORES UNITARIOS DEL NUMERO DE PRANDTL, EN LA FORMA SIGUIENTE:

$$h / CP * R * V = F / 2$$

DONDE F ES EL FACTOR DE FRICCION.

## ANALOGIA DE COLBURN.

LA ANALOGIA DE COLBURN QUE ES UNA EXPRESION MAS GENERAL BASADA POR COMPLETO EN LA SIMILARIDAD DE LAS ECUACIONES EMPIRICAS Y POR TANTO EN EL INTERVALO DE APLICACION QUE CONCUERDA BIEN CON LOS EXPERIMENTOS, DERIVA DE DOS ECUACIONES QUE CORRELACIONAN LOS DATOS EXPERIMENTALES EN UN VARIACION DE:

$$10\ 000 < RE < 300\ 000 \quad Y$$

$$0.6 < PR < 100$$

EN LA CUAL SE INCLUYEN LA MAYORIA DE LOS FLUIDOS DE IMPORTANCIA PRACTICA; SE REPRESENTA POR:

$$ST * PR^{2/3} * (M/MW)^{0.14} = F/B = JH$$

DONDE JH ES EL FACTOR J PARA LA TRANSFERENCIA DE CALOR.

SE HAN PROPUESTO OTRAS ANALOGIAS QUE PUEDEN APLICARSE CON -

EXITO VARIABLE EN EL INTERVALO COMPLETO DE NUMEROS DE PRANDTL, -  
 ASI TENEMOS LA ANALOGIA DE VON KARMAN O LA DE MARTINELLI:

ANALOGIA DE MARTINELLI.

HACIENDO CONSIDERACIONES TALES COMO SUPONER QUE EL COCIENTE DE VISCOSIDADES ES IGUAL A LA UNIDAD DEBIDO A QUE EL GRADIENTE DE TEMPERATURAS ENTRE LA PARED Y EL FLUIDO ES PEQUEÑO.

QUE DENTRO DE LA SECCION DE PRUEBA EXISTE UN FLUJO TURBULENTO BIEN DESARROLLADO.

QUE TANTO EL ESFUERZO COMO EL FLUJO TERMICO SON CERO EN EL CENTRO DEL DUCTO Y AUMENTA LINEALMENTE CON EL RADIO HASTA UN MAXIMO EN LA PARED DEL TUBO.

QUE LAS DIFUSIVIDADES DE REMOLINO EN LA TRANSFERENCIA DE CALOR SON IGUALES, ETC.

MARTINELLI DEBUJO LA FUNCION SIGUIENTE:

$$NU = f (RE, PR, F)$$

CON LO QUE OBTUVO UNA ECUACION DEL TIPO

$$NU = CTE \cdot RE^{**A} \cdot PR^{**B}$$

CON LA QUE SE HAN LOGRADO ECUACIONES QUE CUBREN TODOS LOS INTERVALOS PARA CUALQUIER FLUIDO Y, AUN CUANDO SU SOLUCION ES COMPLEJA SE HAN PRESENTADO ALGUNOS VALORES DE LAS CONSTANTES Y EXPONENTES, ASI COMO RESULTADOS EN FORMA GRAFICA PARA DIFERENTES SOLUCIONES.

## A P E N D I C E D .

C A L C U L O D E C O E F I C I E N T E S  
D E T R A S F E R E N C I A D E C A L O R .

EN LA MAYORIA DE LOS CAMBIADORES DE CALOR, LA PRINCIPAL BARRERA PARA DICHA TRANSFERENCIA SON LAS PELICULAS FLUIDAS SOBRE LAS SUPERFICIES CON LAS QUE ESTAN EN CONTACTO. LA ESTRUCTURA DE ESTAS PELICULAS DEPENDE DE LOS PATRONES Y NATURALEZA DEL FLUJO DEL FLUIDO, PARTICULARMENTE SOBRE LA EXTENSION E INTENSIDAD DE LA TURBULENCIA, ASI TENEMOS QUE A VELOCIDADES BAJAS DE LOS FLUIDOS, ESTOS TIENDEN A MOVERSE SIN MEZCLA LATERAL DONDE LAS CAPAS CONTIGUAS SE DESLIZAN UNAS SOBRE OTRAS, ES DECIR, NO EXISTEN CORRIENTES TRANSVERSALES, NI TORBELLINOS Y, A ESTE TIPO DE FLUJO SE LE CONOCE CON EL NOMBRE DE FLUJO LAMINAR O MOLECULAR. A SU VEZ, TENEMOS QUE A VELOCIDADES SUPERIORES APARECE EL FLUJO TURBULENTO QUE CONSISTE EN UN CONJUNTO DE TORBELLINOS O REMOLINOS QUE DAN LUGAR A MEZCLAS LATERALES, ES DECIR, HABRA CORRIENTES TRANSVERSALES.

AHORA BIEN ANTES DE DETERMINAR EL VALOR DE UN COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA ALGUN FLUIDO, DEBERIA DE ESTABLECERSE EL TIPO DE REGIMEN DE FLUJO, PARA LO CUAL SE CALCULA EL NUMERO DE REYNOLDS QUE EN TERMINOS GENERALES NOS DA LO SIGUIENTE.

PARA EL CASO DE TRANSFERENCIA DE CALOR SENSIBLE POR EL INTERIOR DE TUBOS:

SI :  $RE < 2100$  CORRESPONDE AL FLUJO LAMINAR.

SI :  $2100 < RE < 10000$  CORRESPONDE AL FLUJO DE TRANSICION. ES

DECIR, AQUEL (MAS DIFICIL DE DETERMINAR) QUE SE ENCUENTRA -  
 COMO INTERMEDIO ENTRE EL PASO DEL LAMINAR AL TURBULENTO O -  
 VICEVERSA.

SI :  $RE > 10\ 000$  CORRESPONDE AL FLUJO TURBULENTO-

PARA EL CASO DE FLUJO POR FUERA DE BANCOS DE TUBOS:

SI :  $RE < 100$  CORRESPONDE AL FLUJO LAMINAR, Y

SI :  $RE > 100$  CORRESPONDE AL FLUJO TURBULENTO.

LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR QUE SE OBTIENEN,  
 DEPENDEN DE LA DISTRIBUCION DE LA TEMPERATURA SUPUESTA DE LA PA-  
 RED. LOS CASOS TÍPICOS INCLUYEN UNA TEMPERATURA CONSTANTE EN LA  
 PARED, UNA DIFERENCIA DE TEMPERATURAS ENTRE LA PARED Y EL GRUESO  
 DEL FLUIDO (ESTO ES, FLUJO DE CALOR UNIFORME) O UNA TEMPERATURA  
 DE LA PARED, QUE VARIA LINEALMENTE EN LA DIRECCION DEL FLUJO.

#### FLUJO LAMINAR DENTRO DE TUBOS.

LAS ECUACIONES DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA EL FLUJO LAMI-  
 NAR FUERON DERIVADAS POR ANALISIS MATEMATICO RIGUROSO Y SOLAMEN-  
 TE HAN SIDO LIGERAMENTE MODIFICADAS COMO UN RESULTADO DE LOS DA-  
 TOS EXPERIMENTALES, LO CUAL CONTRASTA CON LAS ECUACIONES PARA LA  
 REGION TURBULENTO, LAS CUALES HAN SIDO PRIMORDIALMENTE EXPERIMEN-  
 TALES, BASADAS EN DATOS Y, SOLAMENTE HAN SUFRIDO LIGERAS MODIFI-  
 CACIONES POR LA TEORIA.

UNA SOLUCION CLASICA PARA EL PROBLEMA DE FLUJO LAMINAR A --  
 TRAVES DE TUBOS CIRCULARES, FUE DADA POR GRAETZ QUE SUPUSO UNA -  
 DISTRIBUCION DE VELOCIDAD PARABOLICA Y UNA TEMPERATURA UNIFORME

DE LA PARED CUYA SOLUCION SE EXTENDIO PARA CASOS DE FLUJO DE CALOR DE PARED CONSTANTE Y TEMPERATURA DE LA PARED VARIANDO LINEALMENTE.

ES ASI QUE PARA LA OBTENCION DE LOS VALORES DE LOS COEFICIENTES TENEMOS CORRELACIONES Y FACTORES DE CORRECCION COMO:

- CORRELACION DE SIEDER Y TATE.
- CORRELACION DE HAUSEN.
- FACTOR DE CORRECCION DE COLBURN.
- FACTOR DE CORRECCION DE KERN Y OTHMER.

#### CORRELACION DE SIEDER Y TATE.

BASADA SOBRE UNA TEMPERATURA CONSTANTE DE LA PARED PARA TUBOS PEQUEÑOS, TENEMOS QUE:

PARA;  $GZ > 100$   
 DI MENOR O IGUAL A 1" Y  
 $\Delta T_W < 100$  °C

EN CALENTAMIENTO;

$$NU = 1.86 * [RE * PR * DI/L]**(1/3) * [M/MW]**(0.14) \quad (A)$$

EN ENFRIAMIENTO;

$$NU = 2.016 * GZ**(1/3) * [M/MW]**(0.14) \quad (B)$$

#### LA CORRELACION DE HAUSEN.

DESARROLLADA TAMBIEN SOBRE LA BASE DE TEMPERATURA CONSTANTE DE LA PARED;

PARA:  $GZ < 100$

$$NU = 3.66 * [0.085 * GZ/L + 0.047 * GZ**(2/3)] * (M/MW)**0.14$$

ESTAS CORRELACIONES, VALIDAS PARA LIQUIDOS Y GASES, SOLAMENTE SE UTILIZAN EN EL CALCULO DE COEFICIENTES PARA FLUJO LAMINAR Estrictamente hablando, solo que cuando se tienen grandes diferencias de temperaturas entre la pared y el fluido, entonces se emplean factores de correccion para considerar la combinacion del flujo laminar y la conveccion natural; junto con los cuales dan una correlacion mas general que cubre mayores diametros y diferencias de temperatura de la pared ( $t_w$ ); como los que siguen:

FACTOR DE CORRECCION DE COLBURN.

ESTE FACTOR SE SUMA A LAS ECUACIONES DEL CAPITULO II; 2.5 Y 2.6 PARA:

$$DI > 1" \text{ Y } t_w > 100 \text{ } ^\circ F = \\ 0.87 * [1 + 0.015 * GR^{1/3}]$$

FACTOR DE CORRECCION DE KERN Y OTHER.

ESTE ES UN FACTOR MULTIPLICATIVO EN LA UTILIZACION DE LAS MISMAS ECUACIONES A Y B, Y ES COMO SIGUE.

$$Y = 2.25 * [1 + 0.01 * GR^{1/3}] / \log RE$$

PARA EL FLUJO DE TRANSICION, DONDE LA DETERMINACION DEL COEFICIENTE ES MENOS PRECISA QUE PARA EL FLUJO LAMINAR Y EL TURBULENTO, PUESTO QUE LA TRANSFERENCIA DE CALOR ES INESTABLE Y DIFICIL DE DEFINIRSE, SE HAN USADO METODOS GRAFICOS QUE RELACIONAN LAS CORRELACIONES PARA FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO; SIN EMBARGO SE RECOMIENDA LA SIGUIENTE CORRELACION DE HAUSEN, A SABER:

PARA LIQUIDOS;

$$NU = 0.116 [RE^{**}(2/3) - 125] + PR^{**}(1/3) [1 + (DI/L)^{**}(2/3)] (M/MW)^{**}(0.14)$$

Y PARA GASES;

$$NU = 0.025 * RE^{**}(-2) * [1 + (DI/L)^{**}(2/3)] (M/MW)^{**}(0.14)$$

## FLUJO TURBULENTO DENTRO DE TUBOS

EN EL CASO DE FLUJO TURBULENTO DENTRO DE TUBOS EN EL QUE SE SUPONE UN MEZCLADO PERFECTO DEL FLUIDO Y SE DESPRECIAN LOS EFECTOS DE ENTRADA EN LAS CORRELACIONES, TENEMOS LAS SIGUIENTES:

-LA CORRELACION DE DITTUS Y BOELTER.

-LA CORRELACION DE COLBURN

-LA CORRELACION DE SIEDER Y TATE.

LA CORRELACION DE DITTUS Y BOELTER.

APLICABLE A GASES O FLUIDOS POCO VISCOSOS; CUANDO:

$$RE > 10\ 000$$

$$0.7 < PR < 120 \quad Y$$

$$L / D > 60$$

EN CALENTAMIENTO:

$$NU = 0.024 * RE^{**}(0.8) * PR^{**}(0.4)$$

PARA ENFRIAMIENTO:

$$NU = 0.026 * RE^{**}(0.8) * PR^{**}(0.3)$$

LA CORRELACION DE COLBURN :

PARA CALENTAMIENTO:

$$RE > 10\ 000$$

$$0.7 < PR < 160 \quad Y$$

$$L / D > 25$$

ASI COMO PARA ENFRIAMIENTO CON  $0.7 < PR < 750$

$$ST = 0.023 * RE^{0.4} * PR^{0.4} * PR^{0.16}$$

CUANDO SE TRATA CON FLUIDOS VISCOSOS SE EMPLEA UNA MODIFICACION DE LA ECUACION DE DITTUS Y BOELTER; DENOMINADA:

CORRELACION DE SIEDER Y TATE .

ESTA CORRELACION ES DE LAS MAS UTILIZADAS Y SE EMPLEA PARA  $RE > 10\ 000$

$$0.7 < PR < 16\ 700 \quad Y$$

$$L / D > 60$$

$$NU = 0.027 * RE^{0.8} * PR^{0.4} * (M/MW)^{0.14}$$

CUANDO EL FLUIDO CIRCULA POR EL ESPACIO ANULAR ENTRE DOS TUBOS CONCENTRICOS SE UTILIZAN TAMBIEN LAS ECUACIONES ANTERIORES CON LA DIFERENCIA DE QUE SE CONSIDERA UN DIAMETRO EQUIVALENTE, EL CUAL ES FUNCION DEL DIAMETRO INTERNO DEL TUBO EXTERNO (D2) Y DEL DIAMETRO EXTERNO DEL TUBO INTERNO (D1), DADO COMO SIGUE:

$$DE = [D2^{0.65} - D1^{0.65}] / D1^{0.65}$$

ALGUNOS AUTORES TAMBIEN DAN LAS SIGUIENTES CORRELACIONES PARA FLUIDOS EN EL EXTERIOR DE TUBOS, QUE PUEDEN EMPLEARSE EN CALCULOS APROXIMADOS:

PARA LIQUIDOS EN FLUJO LAMINAR:

$$SI \quad 0.1 < RE < 200$$

$$NU = 0.86 * PR^{0.3} * RE^{0.43}$$

$$PARA \text{ LIQUIDOS CON } \quad RE > 200$$

$$Y \text{ PARA GASES CON } \quad 0.1 < RE < 1000 :$$

$$NU = PR^{0.3} * (0.35 + 0.47 * RE^{0.57})$$

PARA LIQUIDOS EN FLUJO TURBULENTO:

$$NU = PR^{0.3} * (0.35 + 0.47 * RE^{0.52})$$

Y PARA GASES:

$$NU = 0.26 * PR^{0.3} * RE^{0.6}$$

E C U A C I O N E S   P A R A   C A L C U L O  
D E   C O E F I C I E N T E S   D E   T R A N S F E R E N C I A  
D E   C A L O R   E N   H A C E S   D E   T U B O S .

LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR LA PARTE EXTERNA DE UN TUBO -  
O DE HACES DE TUBOS PRESENTA DIFERENCIAS CONSIDERABLES, DEBIDAS  
A FACTORES GEOMETRICOS DE CONSTRUCCION QUE DETERMINAN EL COMPOR-  
TAMIENTO TERMOHIDRAULICO DE LOS FLUIDOS INVOLUCRADOS. EN LOS QUE

LOS ELEMENTOS MAS IMPORTANTES SON:

TIPO DE TUBO; LISO O ALETADO.

DIRECCION DE FLUJO; CRUZADO, LONGITUDINAL O AMBOS.

TOLERANCIAS DE FABRICACION DEL EQUIPO Y,

CARACTERISTICAS PROPIAS DE LOS FLUIDOS QUE SE MANEJAN.

EN EL DISEÑO DE CAMBIADORES DE CALOR LOS CASOS MAS IMPORTAN-  
TES SON:

FLUJO CRUZADO EN HACES DE TUBOS CON MAMPARAS.

FLUJO LONGITUDINAL CON O SIN SOPORTES, Y

FLUJO A TRAVES DE SUPERFICIES EXTENDIDAS.

ASI TENEMOS QUE PARA FLUJO CRUZADO EN HACES DE TUBOS PA-  
RA LOS QUE EN LA LITERATURA ENCONTRAMOS UN GRAN NUMERO DE VALO--

RES MEDIDOS QUE SE HAN OBTENIDO SOBRE AMPLIOS INTERVALOS DE NUMEROS DE REYNOLDS Y DE PRANDTL Y PARA MUY DIFERENTES ARREGLOS DE BANCOS DE TUBOS, LOS METODOS DE CALCULO SE PUEDEN DIVIDIR EN DOS GRUPOS, A SABER:

- METODOS DE CORRELACION SIMPLE Y
- METODOS SEMIANALITICOS.

#### M E T O D O S   D E   C O R R E L A C I O N   S I M P L E .

LOS METODOS DE CORRELACION SIMPLE CONSIDERAN EN FORMA GLOBAL, LOS DIFERENTES ASPECTOS QUE PRESENTA EL FLUJO DE LOS FLUIDOS SOBRE LOS HACES DE TUBOS. SIN EMBARGO, LOS PROCEDIMIENTOS DE CALCULO QUE SE ENCUENTRAN, SE HAN DESARROLLADO PARA ESTRECHOS INTERVALOS DE NUMEROS DE REYNOLDS Y DE PRANDTL, ADEMAS DE ESTAR LIMITADOS FRECUENTEMENTE PARA UNA REPRESENTACION; VALIDOS PARA CASOS ESPECIALES DE TAL MANERA QUE LOS RESULTADOS NO ESTAN EN FORMA APROPIADA PARA UNA APLICACION GENERAL; ASI TENEMOS:

- LA CORRELACION DE COLBURN.
- EL METODO DE KERN.
- EL METODO DE DONOHUE.
- LA CORRELACION DE V. GNIELINSKI.

#### LA CORRELACION DE COLBURN.

ESTA CORRELACION PROPONE LA ECUACION SIGUIENTE:

$$NU = 0.33 * RE^{0.6} * PR^{0.33}$$

PARA LA CUAL SE UTILIZA EL DIAMETRO EXTERIOR DEL TUBO Y, LA MASA VELOCIDAD SE CALCULA DE ACUERDO AL AREA MINIMA DE FLUJO CRUZADO

EN EL HAZ DE TUBOS. ADEMAS SU EMPLEO ES PARA:

$$RE > 2000$$

Y ES APLICABLE A ARREGLOS DE TUBOS ROTADOS.

EL METODO DE KERN.

EN EL QUE HACIENDO LA CONSIDERACION DE QUE EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR DEPENDE, ENTRE OTRAS COSAS DE:

EL DIAMETRO EXTERNO DEL TUBO.

DEL ARREGLO Y DISTANCIA ENTRE TUBOS.

DEL ESPACIAMIENTO ENTRE MAMPARAS.

CARACTERISTICAS DE LOS FLUIDOS QUE SE ESTAN USANDO.

LOS DIAMETROS EQUIVALENTES.

EL AREA DE FLUJO CALCULADA EN LA LINEA CENTRAL DEL HAZ DE TUBOS.

PROPONE LA SIGUIENTE CORRELACION:

$$NU = 0.36 * RE^{0.55} * PR^{(1/3)} * (M / MW)^{0.14}$$

LA CUAL ES APLICABLE A HACES DE TUBOS CON TOLERANCIAS ACEPTABLES ENTRE MAMPARAS Y TUBOS Y, ENTRE MAMPARA Y ENVOLVENTE, SIN MENCIONAR NINGUN VALOR TIPICO, NI EL TIPO DE ENVOLVENTE O CABEZAL.

LA ECUACION SE PRESENTA EN FORMA GRAFICA EN SU LIBRO, EN FUNCION DE:

$$JH = HO * DE / K * PR^{(1/3)} * (M/MW)^{(-0.14)}$$

CONTRA EL NUMERO DE REYNOLDS, Y SOLO SE CONSIDERA PARA FLUJO TURBULENTO.

A PESAR DE SU SIMPLICIDAD ESTE METODO ES IMPRACTICO EN APLICACIONES INDUSTRIALES, YA QUE NO CONSIDERA LOS EFECTOS DE LAS TO-

ERANCIAS DE FABRICACION SOBRE LA DISTRIBUCION DE FLUJO EN LA ENVOLVENTE.

### EL METODO DE DONOHUE

ESTE METODO CONSIDERA AL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR COMO SI ESTUVIERA AFECTADO POR CUATRO FACTORES ESTRUCTURALES, A SABER:

ESPACIAMIENTO ENTRE MAMPARAS.

TAMAZO DEL CORTE DE LAS MAMPARAS.

AREAS DE DERRAME.

ARREGLO Y ESPACIAMIENTO ENTRE TUBOS.

Y PROPONE LA CORRELACION SIGUIENTE:

$$NU = 0.22 * RE^{0.6} * PR^{0.33} * (M / MW)^{0.14}$$

EN DONDE LA MASA-VELOCIDAD SE BASA EN LA MEDIA GEOMETRICA DE LAS AREAS DE FLUJO A TRAVES DEL HAZ DE TUBOS Y DEL CORTE DE LA VENTANA. EL EFECTO DE AREAS DE DERRAME Y ARREGLO SE INCLUYE EN LA CONSTANTE DE LA ECUACION, LA CUAL FUE RESULTADO DE LA EXPERIMENTACION.

A PESAR DE QUE EL METODO CONSIDERA, AL MENOS EN PRINCIPIO, ALGUNOS FACTORES QUE ALTERAN EL COMPORTAMIENTO DEL FLUIDO, EL ENFOQUE ES TAN GENERAL QUE SOLO SE RECOMIENDA CON FINES ESTIMATIVOS.

ESTOS METODOS SE CRITICAN PORQUE EN ELLOS SE IGNORAN TOTALMENTE LOS EFECTOS DE CONSTRUCCION DE LOS CAMBIADORES DE CALOR O SE TOMAN EN CUENTA DE UNA MANERA INADECUADA.

## LA CORRELACION DE V. GNIELINSKI.

GNIELINSKI HA ESTABLECIDO QUE LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR MEDIOS; DE SIMPLS HILERAS E HILERAS COMPLETAS DE TUBOS EN FLUJO CRUZADO DE GASES Y LIQUIDOS, PUEDE CALCULARSE POR:

$$NU = 0.3 + (NUL + NUT)**0.5$$

DONDE:

$$NUL = 0.664 * RE**0.5 * PR**(1/3)$$

$$Y; NUT = 0.037 * RE**0.8 * PR/[1 + 2.443 * RE**(-0.4) * (PR**2.8 - 1)]$$

EN DONDE, SI LA VELOCIDAD CARACTERISTICA USADA EN EL CALCULO DEL NUMERO DE REYNOLDS, SE TOMA COMO LA VELOCIDAD MEDIA EN EL ESPACIO DE LA HILERA DE TUBOS O DE LOS TUBOS SUMERGIDOS A LA LONGITUD DEL DIAMETRO DE UN TUBO, LA ECUACION DEBERA MULTIPLICARSE POR UN FACTOR DE REARREGLO DADA POR:

CUANDO SE TRATA DE TUBOS EN LINEA;

$$F = 1 + 0.7 / \{**1.5 * (B / A - 0.3) / (B / A + 0.7)**2$$

$$\text{EN DONDE: } \quad \{ = 1 - 3.1416 / 4 * A \quad \text{PARA } B > 1$$

$$0 \quad \{ = 1 - 3.1416 / 4 * A * B \quad \text{PARA } B < 1$$

$$A = S1 / D1$$

$$B = S2 / D1$$

S1 Y S2 : DISTANCIAS ENTRE LAS LINEAS CENTRALES DE LOS TUBOS PERPENDICULARES Y PARALELOS RESPECTIVAMENTE

Y PARA TUBOS EN ETAPAS, POR:

$$F = 1 + 2 / 3 * B$$

ESTA CORRELACION ES VALIDA PARA INTERVALOS DE:

$$1 < RE < 10^{**}6$$

$$Y \quad 0.7 < PR < 700$$

## M E T O D O S     S E M I A N A L I T I C O S .

COMO FUE MENCIONAD EN LA SECCION ANTERIOR, LOS METODOS DE --  
 CORRELACION SIMPLE NOS DAN UNA SOLUCION DESEADA DE MANERA MUY --  
 APROXIMADA. NO OBSTANTE, EL FLUJO EN EL LADO DE LA CORAZA DE UN --  
 CAMBIADOR DE CALOR ES COMPLEJA DEBIDO A LOS ESPACIOS LIBRES Y --  
 LAS TOLERANCIAS DE MANUFACTURA, LO CUAL SE ILUSTR A MEJOR POR EL --  
 MODELO DE TINKER, EL CUAL MUESTRA QUE ADEMAS DEL FLUJO A TRAVES --  
 DEL HAZ DE TUBOS (FLUJO CRUZADO) Y EL FLUJO ALREDEDOR DE LAS PAN- --  
 TALLAS DEFLECTORAS (FLUJO DE VENTANA), HAY FLUJO DERIVADO DEL --  
 HAZ DE TUBOS, FLUJO DE GOTEO DE TUBOS-DEFLECTORES Y DE DEFLECTO- --  
 RES-CORAZA; DONDE SE DEJA ENTREVER QUE LOS METODOS SEMIANALITI--  
 COS SON UN ENFOQUE RIGUROSO DE DISEÑO QUE REQUIERE DE LA DETERMI-  
 NACION DE:

LAS RESISTENCIAS RELATIVAS A CADA CORRIENTE Y,  
 LAS INTERACCIONES Y EL INTERCAMBIO DE FLUIDO ENTRE LAS CO--  
 -RRIENTES-

### M E T O D O     D E     T I N K E R .

EL MODELO DE TINKER ACTUALMENTE ES LA BASE DE LOS METODOS --  
 PARA RESOLVER LA DISTRIBUCION DEL FLUJO TOTAL A TRAVES DE LAS DI-  
 FERENTES AREAS EN UN CAMBIADOR DE CALOR.

LA SOLUCION DE TINKER SE BASA EN ASPECTOS COMO LO SON =

1. LA DETERMINACION DE LA DISTRIBUCION DE FLUJO PARA EL CALCULO

-LO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR DONDE EL FACTOR A DETERMINAR ES LA FRACCION DEL FLUJO TOTAL QUE PASA POR EL AREA DE FLUJO CRUZADO.

2.- LA TRAYECTORIA DEL FLUJO CRUZADO.

3.- EL FLUJO EN EL CORTE DE LA MAMPARA, QUE SE SUPONE IGUAL AL DE FLUJO CRUZADO.

4.- EL CORTE DE LA MAMPARA, EN DONDE TINKER SUGIERE RELACIONES ENTRE CORTE (H/DS) Y ESPACIAMIENTO ENTRE MAMPARAS (DS/SB), PARA MANTENER UNA RELACION ENTRE EL AREA DE FLUJO CRUZADO Y AREA DE VENTANA, RELATIVAMENTE CONSTANTE PARA UNAS CARACTERISTICAS DADAS DE DIAMETRO Y ARREGLO DE TUBOS, PARA LO QUE EL SUGIERE LOS VALORES SIGUIENTES:

DS / SB	H / DS
1.0	0.46
1.5	0.34
2.0	0.25
3.0	0.20
4.0	0.16
5.0	0.16

5.- EL VALOR DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR SE OBTIENE POR MEDIO DE UNA PONDERACION DE LOS COEFICIENTES EN FLUJO CRUZADO Y EN LA VENTANA Y UTILIZA LA ECUACION:

$$h_0 = 16.1 / D_0 * [JH + K + PR^{**}(1/3) + (M / MW)^{**}0.14] * E_0$$

DONDE JH SE OBTIENE DE GRAFICAS PROPUESTAS POR EL MISMO Y E\_0 ES EL FACTOR DE PONDERACION PARA FLUJO CRUZADO-VENTANA.

6.- LAS FAJAS DE SELLO QUE TINKER CONSIDERA PARA BLOQUEAR EL ESPACIO ENTRE EL HAZ DE TUBOS Y LA ENVOLVENTE.

AHORA BIEN, ESTE METODO ES COMPLICADO Y LOS VALORES MEDIDOS QUE SE HAN PRESENTADO PARA VERIFICAR LOS PROCEDIMIENTOS, NO COMPRENDEN SUFICIENTEMENTE UN AMPLIO INTERVALO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARAMETROS.

#### M E T O D O   D E   B E L L .

UN METODO BIEN CONOCIDO QUE SE PRESENTA PARA MANEJAR LOS CALCULOS, ES EL METODO DE BELL, RESULTADO DE UN PROGRAMA DE INVESTIGACION DE LA UNIVERSIDAD DE DELAWARE, QUE UTILIZA CIERTAS SIMPLIFICACIONES Y FACTORES DE CORRECCION PARA LAS MULTIPLES INTERACCIONES ENTRE LAS CORRIENTES DESCRITAS EN EL MODELO DE TINKER.

EL METODO PARTE DE LA DEFINICION DE UN BANCO IDEAL DE TUBOS, QUE CONSISTE EN SUPONER QUE EL CAMBIADOR DE TUBOS Y ENVOLVENTE SE PUEDE REPRESENTAR COMO UNA SERIE DE BANCOS DE TUBOS, DE GEOMETRIA REGULAR, LOS CUALES ESTAN CONECTADOS POR REGIONES DE CAMBIO DE DIRECCION DE FLUJO Y EN LOS QUE SE PRESENTAN LAS FUGAS Y DERRAMES.

PARA EL CALCULO SE CONSIDERA LO SIGUIENTE:

- 1.- DETERMINAR EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA UN BANCO IDEAL DE TUBOS.
- 2.- LA EVALUACION DEL FACTOR DE CORRECCION POR FLUJO EN LA VENTANA Y EN LA SECCION DE FLUJO CRUZADO; ASI COMO LOS FACTORES DE CORRECCION POR FUGAS Y DERRAMES, CONSIDERADOS EN FOR-

NA INDIVIDUAL.

EL CALCULO DE LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR REQUIERE QUE SE OBTENGAN PRIMERO PARA LAS DIFERENTES ZONAS Y DESPUES SE OBTENGA UN VALOR MEDIO. LAS DIFERENTES ZONAS SON LA DE FLUJO CRUZADO, LA ZONA DE VENTANA Y LA DE ZONAS FINALES. UN COEFICIENTE MEDIO SE OBTIENE SOBREPESANDO LOS COEFICIENTES DE LAS DIFERENTES ZONAS CONFORME AL AREA DE LA SUPERFICIE DE LOS TUBOS EN ESTAS ZONAS ASI:

$$HOI = HC * AC / AT + HW * AW / AT + HE * AE / AT$$

DE DONDE EL COEFICIENTE EFECTIVO ESTA DADO POR:

$$HO = HOI * JC * JR * JL * JB * JS$$

LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION FORZADA SE CORRELACIONAN CONVENIENTEMENTE CON EL GRUPO ADIMENSIONAL DEL FACTOR:

$$J = H * PR^{0.23} / CP * G$$

WEISMAN HA OBTENIDO UNA CORRELACION QUE RELACIONA AL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR DE FLUJO CRUZADO PARA HACES DE TUBOS TENDIDOS. ESTO ES PARA EL ARREGLO Y EL PITCH, EL CUAL CONTIENE AL FACTOR "J" DE LA ECUACION ANTERIOR Y ES ASI:

$$J = A * RE^{0.23} / E * I * BJ$$

DONDE:

A Y B SON CONSTANTES QUE DEPENDEN DEL TENDIDO DE TUBOS Y DEL NUMERO DE REYNOLDS.

BJ ES UN COEFICIENTE QUE DEPENDE DEL NUMERO DE REYNOLDS.

RE, ES EL NUMERO DE REYNOLDS DE WEISMAN.

E ES LA FRACCION DE ESPACIO VACIO.

! ES UN FACTOR DE ARREGLO QUE DEPENDE DE LA RAZON DEL PITCH TRANSVERSAL ENTRE EL LONGITUDINAL.

EL NUMERO DE REYNOLDS DE WEISMAN SE DEFINE POR:

$$RE_w = GO * DO / \mu * E$$

DONDE:

DO ES EL DIAMETRO EXTERNO DEL TUBO.

GO LA VELOCIDAD MASICA SUPERFICIAL.

\mu ES LA VISCOSIDAD DINAMICA DEL FLUIDO Y,

E ES LA FRACCION VACIA.

PARA BANCOS DE TUBOS EN ETAPAS, POR EJEMPLO LA ECUACION ---

2.12 ES:

$$JE^{**}BJ = 0.895 * RE^{**(-0.59)}$$

DONDE  $1 < RE < 100$

$$Y \quad JE^{**}BJ = 0.38 * RE^{**(-0.29)}$$

DONDE  $300 < RE < 40\ 000$

LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA LAS DIFERENTES ZONAS EN LA ECUACION 2.10 AHORA PODRA SER CALCULADA. SIN EMBARGO ANTES QUE NADA SE REQUIERE EL FLUJO O EN ESTE CASO LA VELOCIDAD MASICA SUPERFICIAL GO, EN CADA ZONA.

LAS CORRIENTES DE FUGA Y DERRAME TIENEN DOS EFECTOS:

- A.- REDUCEN EL CAUDAL DE LA CORRIENTE PRINCIPAL, DISMINUYENDO AL COEFICIENTE IDEAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR (HIJ).
- B.- COMO RESULTADO DEL MEZCLADO DE LAS DIFERENTES PORCIONES DEL FLUIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS, ALTERAN EL PERFIL DE TEMPERATURAS.

LOS FACTORES DE CORRECCION SON COMO SIGUE:

- JC -EFECTO DEL CORTE Y ESPACIAMIENTO DE LAS MAMPARAS; EL CUAL -  
CONSIDERA EL EFECTO DE FLUJO LONGITUDINAL EN LA VENTANA DE  
LA MAMPARA.
- JR -GRADIENTE ADVERSO DE TEMPERATURAS. ESTE GRADIENTE SE PRESEN-  
TA EN FLUJO LAMINAR, DEBIDO A QUE LOS EFECTOS DE EXPANSION-  
CONCENTRACION DEL FLUIDO, NO SON LO SUFICIENTES PARA PROPI-  
CIAR UN MEZCLADO UNIFORME DEL FLUIDO DE TAL MANERA QUE DISI-  
PE DICHO GRADIENTE.
- JL -FUGAS MAMPARA-TUBO Y MAMPARA-EMBOLVENTE; CUYAS CORRIENTES -  
DISTORCIONAN EL PATRON IDEAL DE TEMPERATURAS, YA QUE LAS --  
PORCIONES PARASITAS DE ESTAS FUGAS Y DERRAMES TIENEN TEMPE-  
RATURAS DIFERENTES A LA DE LA CORRIENTE EN LA QUE EVENTUAL-  
MENTE SE VIERTEN.
- DESDE EL PUNTO DE VISTA DE TRANSFERENCIA DE CALOR, LA CO--  
RRIENTE MAS INEFICIENTE ES LA QUE PASA ENTRE LA MAMPARA Y -  
LA ENVOLVENTE, YA QUE NO ESTA EN CONTACTO CON EL AREA DE --  
TRANSFERENCIA.
- JB -EFECTO DE DERRAME ENTRE EL HAZ DE TUBOS Y LA ENVOLVENTE, --  
EFECTO QUE SE DEBE A QUE UNA FRACCION DESPROPORCIONADA DEL -  
FLUJO SE DESVIA ENTRE EL HAZ DE TUBOS Y LA ENVOLVENTE, REDU-  
CIENDO EN FORMA SIGNIFICATIVA LA TRANSFERENCIA DE CALOR.
- JS -ESPACIAMIENTO ENTRE LA ENTRADA Y SALIDA DE LAS MAMPARAS; EL  
CUAL CORRIGE EL COEFICIENTE POR LA DIFERENCIA ENTRE EL ESPA-  
CIAMIENTO DE LAS MAMPARAS A LA ENTRADA Y A LA SALIDA Y EL -  
ESPACIAMIENTO A LO LARGO DEL HAZ.
- BELL SUGIERE QUE EL METODO SE APLIQUE A ENVOLVENTES TIPO E,

Y CON CIERTAS MODIFICACIONES A HACES DE TUBOS ALETADOS; HACES --  
 CON MAMPARAS SIN TUBOS EN LA VENTANA; HACES CON MAMPARAS DOBLES  
 SEGMENTADAS Y CUERPOS TIPO TEMA F.

#### M E T O D O D E A N A L I S I S D E C O R R I E N T E S .

PALEN Y TABOREK, AL VERIFICAR LOS PROCEDIMIENTOS EXISTENTES  
 CONTRA UN GRAN NUMERO DE VALORES MEDIDOS, NOTARON QUE EL METODO  
 DE BELL ES EL QUE MEJOR LOS REPRODUCE; CON LA DESVENTAJA DE QUE  
 EL NUMERO DE NUSSELT DEL HAZ DE TUBOS "IDEAL" EN FLUJO CRUZADO --  
 PERPENDICULAR, DEBE LEERSE DE UN DIAGRAMA QUE CONTIENE VALORES --  
 PARA UNOS POCOS ARREGLOS DE TUBOS.

ES ASI Y CON LA IDEA DE HACER USO DE ECUACIONES, MEJOR QUE  
 DE REPRESENTACIONES GRAFICAS, COMO DESARROLLARON ESTE METODO; BA--  
 SADOS EN EL ANALISIS RIGUROSO DE LOS COMPONENTES INDIVIDUALES DE  
 LAS CORRIENTES Y SU INTERACCION CON LOS PARAMETROS GEOMETRICOS --  
 DEL CAMBIADOR, EL CUAL REQUIERE LA SOLUCION DE UN MODELO DE DIS--  
 TRIBUCION DE FLUJO, COMO PASO PREVIO AL CALCULO DEL COEFICIENTE  
 DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

#### M E T O D O D E F L U J O D I V I D I D O .

UN METODO APROPIADO PARA PREDECIR LOS FLUJOS DEL LADO DE LA  
 CORAZA, CON UN ANALISIS QUE COMPRENDA LOS CORRESPONDIENTES FLU--  
 JOS INDIVIDUALES, LO ES ESTE METODO DE GRANT, DESARROLLADO POR --  
 HTFS; BASADO EN UN MODELO DE FLUJO MUY SIMILAR AL DE TINKER EN --  
 DONDE LOS DIFERENTES FLUJOS EN EL LADO DE LA CORAZA SE NOMBRAN --  
 DE LA SIGUIENTE MANERA:

- A FLUJO DE ESCURRIMIENTO ENTRE TUBO Y BAFLE.
- B FLUJO CRUZADO ENTRE BAFLES.
- C FLUJO DE RECIRCULACION ENTRE HAZ Y CORAZA.
- E FLUJO DE ESCURRIMIENTO ENTRE BAFLE Y CORAZA.
- F FLUJO PARTICIONADO DE PASO; Y
- W FLUJO DE VENTANA DE BAFLE.

EL CUAL REQUIERE DE UNA RESOLUCION DE UN BALANCE DE MASA NODAL Y DE LA DEFINICION DE FRACCIONES DE FLUJO. LOS NODOS SE SELECCIONAN EN CADA NIVEL DEL ESPACIO DEL BAFLE CON LAS CARAS DE CORTE DE LOS MISMOS, EN EL QUE LAS LINEAS QUE CONECTAN A LOS NODOS, REPRESENTAN LOS DIFERENTES FLUJOS.

## B I B L I O G R A F I A .

## B I B L I O G R A F I A .

- | REFERENCIA:  | CAPITULOS:    |
|--|---------------|
| 1.- INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO<br>CURSO REGIONAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR<br>SUBDIR.DE DESARROLLO PROF. Y S.I.P.P.I. | I, II, III.   |
| 2.- PRINCIPIOS DE OPERACIONES UNITARIAS.<br>A.S. FOUST ET AL.<br>ED. CECSA.  | I, II, III.   |
| 3.- HEAT PROCESS TRANSFER.<br>DONALD G. KERN.<br>ED. MC-GRAW HILL  | I, II, III.   |
| 4.- OPERACIONES BASICAS DE INGENIERIA QUIMICA.<br>MC CABE & SMITH.<br>ED. CECSA.   | I, III.       |
| 5.- NATIONAL ENGINEERING LABORATORY<br>COURSE ON DESIGN OF HEAT EXCHANGERS.<br>I. MURRAY ET AL.                            | I, III.       |
| 6.- STANDARS OF T. EXCH.MANUFACTURERS ASSOCIATION. III, IV.<br>15TH.EDITION 1968.  |               |
| 7.- INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO.<br>MANUAL DE CAMBIADORES DE CALOR.<br>SUBDIRECCION DE CAPACITACION.                   | I, II, III, V |
| 8.- INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO.<br>CURSO DE INGENIERIA BASICA DE PROCESO.   | II, IV.       |

## SUBDIR. DE DESARROLLO PROF. Y S. I. P. P. I.

- 9.- INTERNAT. CHEM. ENG. VOL. 1973 JUL/79 PAG. 391. III.  
CALCULATION OF MEAN HEAT T. COEFFICIENTS...  
V. GNIELINSKI & E. S. GADDIS
- 10.- CHEMICAL ENGINEERING JUL-25/83 PAG. 17 III.  
SHELL & TUBE HEAT EXCHANGERS  
DAVINDER K. MEHRA
- 11.- CHEMICAL ENGINEERING MAR-19/81 PAG. 155 III. IV.  
PREDICTING EXCHANGER PERFORMANCE  
CHIANG CHUNG CHEN
- 12.- HEAT EXCHANGER DESIGN II. III.  
ARTHUR P. FRAASS, M. NECATI OZISIK  
ED. JOHN WILEY & SONS INC.
- 13.- CHEMICAL ENG. VOL. 90/25 DIC-12/83 PAG. 65 II. III.  
ESTIMATE AIR-COOLER SIZE  
NADEEM M. SHAIKH
- 14.- CHEMICAL ENG. VOL. 88/6 MAR-23/81 PAG. 79 IV.  
SOLIDOS FLUIDIZADOS EN RECUPERACION DE CALOR  
JAMES H. MANNON
- 15.- CHEMICAL ENG. VOL. 88/6 MAR-23/81 PAG. 213 II. III.  
A NEW WAY TO RATE AN EXISTING HEAT EXCH.
- 16.- SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS INC. IV. V.  
LIQ.-FLUIDIZED-BED H-EXCH. SCALE CONTROL...  
C. A. ALLEN, R. E. MC ATEE & E. S. GRIMMETT
- 17.- O. T. E. C. IV. V.

- 5TH. INTERNATIONAL SIMPOSIUM VOL.1 1976  
 PREVENCION DE INCRUSTACIONES POR CONTROL ...  
 K. IZUMI, S. TAKAHASHI & Y. IKENAGA
- 18.- DESALINIZACION 47(1983) PAG.81 IV, V.  
 CUANTIFICACION DE EFECTIVIDAD DE INHIBIDORES...  
 H.P.WEIJNEM, W.G.J.MARCHEE & G.M.VAN ROSMALEN
- 19.- OIL & GAS JOURNAL ENE-8/79 IV, V.  
 TUBOS MOVIBLES QUE FACILITAN EL MANTTO. ...  
 JERRY SINGLETARY.
- 20.- CHEM. ENGINEERING SEP-13/76 PAG.213 IV, V.  
 ANALISIS D/FALLAS SISTEMATIZADO DE CAUSAS...  
 Rop. LEE.
- 21.- O.T.E.C REP.TEC. No. 7701-1 ABR/77 IV, V.  
 METODOS PARA LIMPIEZA DE CAMBIADORES DE ...  
 RICE M.S., O. HAGEL & A.F. CONN.
- 22.- INTERNATIONAL CHEM.ENG.V13/4 OCT/73 PAG.676 III-  
 PROCEDIMIENTOS D/CALCULO DE PRESIONES EN ...  
 J. BANDROWSKI & W. RYBSKI.
- 23.- THE OIL GAS JOURNAL SEPT.5/77 PAG.101 IV, V.  
 COSTOS COMPARADOS D/RESISTENCIA-CORROSION...  
 JAY R. PUDLOCK.
- 24.- CHEM. ENGINEERING JUL.26/80 IV.  
 DETERMINE LA RESISTENCIA QUE CONTROLA EL ...  
 W. CARY FRANKLIN & RICHARD E. COCKS.
- 25.- THE OIL GAS JOURNAL SEP.5/77 IV, V.  
 DESDE EL DISEÑO SE ELIMINAN LAS FALLAS POR ...

W.M. SMALL & R.K. YOUNG.

- 26.- NATIONAL ENGINEERING LABORATORY ABR. 10/79 III.  
HEAT TRANSFER & FLUID FLOW SERVICES  
L.B. COUSINS & D. BUTTERWORTH-
- 27.- CHEM. ENGINEERING ENE. 26/70 III-  
DISEÑO DE CAMBIADORES DE CALOR.  
R.C. LORD, P.E. MINTON & R.P. SLUSSER.
- 28.- THE OIL & GAS JOURNAL AGS. 10/81 PAG. 142 IV, V.  
INFORMACION COMERCIAL SOBRE MANTTO. DE LOS...  
NAT. PETROLEUM REF. ASSOCIATION.
- 29.- THE OIL & GAS JOURNAL JUL. 26/82 IV, V.  
RELATOS DE PRACTICAS DE MANTTO. DE C. DE CALOR  
N.P.R.A.
- 30.- THE OIL & GAS JOURNAL AGS. 6/79 IV, V.  
NOTICIAS DE MANTTO. EN REFINERIAS  
N.P.R.A.
- 31.- HEAT EXCHANGER INSTITUTE, INC. 1980 III-  
ESTANDARES PARA CAMBIADORES DE CALOR-  
PRIMERA EDICION.
- 32.- REV. I.M.P. VOL. X-2/78 III, IV-  
PREVISIONES PARA EL DISEÑO MECANICO DE C./C.  
R. VAZQUEZ N.
- 33.- NAT. ASSOCIATION OF CORR. ENG. PAPER 124/1976. IV, V.  
TAPONAMIENTO DE TUBOS DEFECTUOSOS DE C DE C.
- 34.- A.P.I. 1973 III, IV-  
HEAT EXCHANGERS FOR GENERAL REFINERY SERVICE

- 35.- A.P.I. 1973 IV, V.  
 GUIA PARA LA INSPECCION DE EQS. DE REFINERIA
- 36.- CENTRO DE ESTUDIOS DE CORROSION UNIV. FERRARA IV, V.  
 INHIBITION TESTING FOR ACID CLEANING BY ...  
 G. TRABANELLI, F. ZUCCHI ET AL.
- 37.- MATERIE ET CONSTRUCTION FRANCIA IV, V.  
 LOS DIFERENTES ASPECTOS DE LIMPIEZA EN OPCION.  
 G. BURELLIER.
- 38.- M.A.C.E. NOV. 78 PAG. 9 IV, V.  
 INCRUSTACION POR SULFATO ANHIDRO DE CA EN ...  
 ROY V. COMEAUX.
- 39.- C.M.E. ABRIL/77 PAG. 64 IV, V.  
 CHEMICAL CLEANING OF H-TRANSFER SURFACES ...  
 R. SWIFT.
- 40.- CHEMICAL ENGINEERING MAY-27/74 PAG. 95 IV, V.  
 INSULATION SAVES ENERGY.  
 RICHARD HUGHES & V. DEURAGA.
- 41.- THE M.W. KELOGG & CO. II, III, IV.  
 DESIGN SPECIFICATION SUMMARY SHEET.
- 42.- ARPEL XXIX OCT. 77 IV.  
 CRITERIOS Y EXPERIENCIAS DE INSPEC. TEC. Y SEG. IND.  
 ANTONIO ROSALES J.
- 43.- HYDROCARBON P. VOL-56 N-1 ENE/77 PAG. 77 IV, V.  
 HOW YOU CAN ... REDUCE MAINTENANCE PAPERWORK.  
 CHRIS B.T. INNES.
- 44.- HYDROCARBON P. VOL-56 N-1 ENE/77 PAG. 82 IV, V.

## MANAGE MAINTENANCE PRODUCTIVITY.

LAURENCE MANN.

- 45.- HYDROCARBON P. VOL-56 N-1 ENE/77 PAG-85 IV.  
 OPTIONS FOR PLANNED MAINTENANCE.  
 ULRICH BOLLINGER & J. WILLIAM D. WRIGHT.
- 46.- HYDROCARBON P. VOL-56 N-1 ENE/77 PAG-109 V.  
 USE INFRARED SCANNING TO FIND EQUIPMENT HOT SPOTS.  
 TORTEL NORDA.
- 47.- HYDROCARBON P. VOL-55 N-10 OCT/76 PAG-147 V.  
 PIPEWALL VIBRATIONS REVEAL... VALVE-GENERATE NOISE  
 ALLEN C. FAGERLUND.
- 48.- HYDROCARBON P. VOL-55 N-10 OCT/76 PAG-159 IV, V.  
 EVALUATE MATERIALS USING NEW NON-DESTRUCTIVE ...  
 J. B. McCANDLESS & A. G. INGRAM.
- 49.- C.E.P. MARZO/78 PAG-43 V.  
 USING REAL TIME CORROSION MONITORS IN CHEM. PLANTS  
 C. G. ARNOLD.
- 50.- C.E.P. MARZO/78 PAG-46 V.  
 CORROSION MONITORING EQUIPMENT.  
 G. R. HAK.
- 51.- C.E.P. MARZO/78 PAG-52 V.  
 CHARACTERISTICS & CORROSION PROPERTIES OF ...  
 J. V. CANGI.
- 52.- BASCO HEAT EXCHANGERS. IV, V.  
 INSTALLATION & MAINTENANCE GUIDE TO TROUBLE-FREE  
 PAPEL TECNICO.

- 53.- THE INTERNATIONAL CORROSION FORUM ABR.6/81 IV.  
AN ECONOMIC APPROACH TO OPTIMIZING A MANT.SCHEDULE  
MACHAEL B. LAWSON. PAPEL N.77
- 54.- CHEMICAL ENGINEERING OCT.6/80 PAG.121 II.  
TYPES, PERFORMANCE AND APPLICATIONS.  
C. SCACCIA & G. THEOCLITUS.
- 55.- CHEMICAL ENGINEERING OCT.6/80 PAG.133 II.  
SPECIFYING AND SELECTING.  
ABE DEVORE, GEORGE J. VAGO & G.J. PICOZZI-
- 56.- CHEMICAL PROCESS SYNTHESIS & ENG.DESING II, IV, V.  
ANIL KUMAR  
ED. MCGRAW HILL.
- 57.- U.F.A. PETROLEUM REFINERY 1980 IV, V.  
USE OF PHOSPHORIC ACID TO REMOVE HEAT EXCH.DEPOSITS.  
T.M. IDRISOVA ET AL.