

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**EVALUACIÓN, REPOTENCIACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA
PLANTA PORTÁTIL DE EXPLOSIVOS A GRANEL EN LA
MINA PASODIABLO UBICADA EN GUASARE ESTADO ZULIA**

**PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
POR LOS BACHILLERES
CAVALLI V., Leo R.
MANRIQUE S., Daniel
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

CARACAS, 2001

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN, REPOTENCIACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA PORTÁTIL DE EXPLOSIVOS A GRANEL EN LA MINA PASODIABLO UBICADA EN GUASARE ESTADO ZULIA

**PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
POR LOS BACHILLERES
CAVALLI V., Leo R.
MANRIQUE S., Daniel
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

**Tutor: Juan Ruilova
Tutor Industrial: Juan J. Cebrián**

CARACAS, 2001

DEDICATORIA

*A Dios, por darme las oportunidades que me da,
A Mary y Giorgio, mis padres, por hacer de mí lo que soy,
A Nonna, Vicky, Johnny y Riccardo por no permitir que un océano nos separe,
A Tullio, hermano, amigo y ejemplo,
A Claudia, mi luz en este y todos los caminos,
A mis compañeros de estudio, hoy mis mejores amigos,
A Daniel, por su paciencia y perseverancia en este trabajo,
A "La Casa que vence la Sombra" por ser mi ALMA MATER*

Gracias,

Leo.-

DEDICATORIA

*A El Todopoderoso allá arriba,
A mis padres Esther y Francisco porque gracias a ellos
Soy lo que soy y estoy donde estoy,
A mis hermanos María Alejandra y Francisco Alberto,
A mi tía Chichi y a Noema, porque aunque ya no están sé que la emoción que las
embargaría es la misma que siento en este momento,
A mi abuelo Atilio por su interés y ayuda,
A todos mis familiares, que día a día
Estuvieron pendientes de mi trabajo,
A ellos, los que comenzaron conmigo esta magnífica carrera,
Y a los que conocí durante la misma: a mis amigos de la UCV,
A mi compañero de tesis Leo,
Porque hizo ameno el trayecto de este trabajo,
Y por supuesto, a ese paraíso llamado
Universidad Central de Venezuela, al cual deberé siempre lo que soy y seré.*

Gracias,

Daniel

AGRADECIMIENTOS

Prof. Ing. Francisco García (UCV)
Prof. Ing. Rodolfo Grullón (UCV)
Ing. Ernesto Infante
Ing. Gladys K. Hernández
Prof. Ing. Dosinda González (USB)
Ing. Inmer Bélis
Ing. Juan Santana (PDVSA GAS)
Ing. Luis Eduardo Hernández (M&M PUMPS CA)
Ing. Ronald Van Solt (BUSINDUSTRIAL CA)
Ing. Gonzalo Martín (TECNO CICLO CA)
Ing. Luis Orta (FITEMCA)
Claudia Verde
Ing. Josè Gregorio Freitas (ORICA DE VZLA)
Ing. Dennis Tremblay (ORICA DE VZLA)
Ing. Juan José Cebrián (ORICA DE VZLA)
TSU. Simón Esperanza (BAYER DE VZLA)

En especial queremos agradecer al Profesor Juan Ruilova, porque fue su tutoría la que guió el trayecto de este trabajo.

RESUMEN

CAVALLI V., Leo R.

MANRIQUE S., Daniel

EVALUACIÓN, REPOTENCIACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA PORTÁTIL DE EXPLOSIVOS A GRANEL EN LA MINA PASODIABLO UBICADA EN GUASARE ESTADO ZULIA

Tutor Académico: Prof. Ing. Juan Ruilova. Tesis. Caracas, U.C.V.

Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2001, 207 pág.

Repotenciación, Planta portátil, ANSOL

El objetivo del presente trabajo es evaluar, repotenciar y optimizar la planta portátil de explosivos de la mina Pasodiablo ubicada en Guasare, Edo. Zulia. Para lograr este objetivo se realizó el siguiente procedimiento: inspección visual, estudio y análisis de la documentación y datos de operación de la planta, proposición de mejoras, diseño de sistemas, cálculos, etc. Se diseñó un sistema de conexión para la admisión de la solución de Nitrato de Amonio (ANSOL) de CAVIM a la planta. Se diseñó un intercambiador de calor de tubo concéntrico para enfriar el ANSOL a la temperatura deseada. Se disminuyó el tiempo de calentamiento del ANSOL dentro de la planta. Se recomendó la automatización de las resistencias calentadoras del ANSOL. Y finalmente, se recomendaron medidas de higiene y seguridad para un mejor mantenimiento de la planta portátil, así como también, la sustitución de algunos equipos operantes dentro de esta instalación.

ÍNDICES

INTRODUCCIÓN.....	13
NOMENCLATURA.....	22
CAPÍTULO I	25
<i>I.1 GENERALIDADES</i>	<i>25</i>
<i>I.2 DEFINICIONES BÁSICAS</i>	<i>26</i>
I.2.1 TRANSFERENCIA DE CALOR.....	26
I.2.1.1 AISLANTE TÉRMICO.....	26
I.2.1.2 ANALOGÍA ELÉCTRICO-TÉRMICA	26
I.2.1.3 BALANCE DE ENERGÍA.....	27
I.2.1.4 COEFICIENTE CONVECTIVO DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	27
I.2.1.5 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR (U).....	27
I.2.1.6 CONDUCCIÓN.....	28
I.2.1.7 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (k).....	28
I.2.1.8 CONVECCIÓN.....	29
I.2.1.9 EFECTIVIDAD DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	29
I.2.1.10 ENERGÍA ALMACENADA.....	29
I.2.1.11 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBOS CONCÉNTRICOS	30
I.2.1.12 INTERCAMBIADOR DE CALOR COMPACTO.....	30
I.2.1.13 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO CRUZADO	30
I.2.1.14 NÚMERO DE NUSSELT (Nu).....	31
I.2.1.15 NÚMERO DE PRANDTL (Pr)	31
I.2.1.16 NÚMERO DE UNIDADES DE TRANSFERENCIA (NUT)	31
I.2.1.17 RADIACIÓN.....	32
I.2.1.18 TRANSFERENCIA DE CALOR	32
I.2.1.19 VOLUMEN DE CONTROL	33
I.2.2 FLUJO DE FLUIDOS.....	33
I.2.2.1 ALTURA DINÁMICA (H)	33
I.2.2.2 CARGA NETA POSITIVA DE SUCCIÓN (NPSH)	34
I.2.2.3 CAVITACIÓN	34
I.2.2.4 DIÁMETRO HIDRÁULICO.....	34
I.2.2.5 ECUACIÓN DE BERNOULLI.....	34
I.2.2.6 NÚMERO DE REYNOLDS (Re)	35
I.2.3 CONTROLES AUTOMÁTICOS.....	35
I.2.3.1 CONTACTOR.....	35
I.2.3.2 CONTROLADOR	36
I.2.3.3 CONTROLADOR ON-OFF.....	36
I.2.3.4 TERMOCUPLA	36
I.2.3.5 Termopozo.....	36
<i>I.3 Hojas de SEGURIDAD</i>	<i>37</i>
I.3.1 NITRATO DE AMONIO.....	37
I.3.2 ÁCIDO ACÉTICO	40
I.3.3 SURFACTANTE	45
I.3.4 DIESEL N° 2.....	50
CAPÍTULO II.....	54
<i>II.1 GENERALIDADES</i>	<i>54</i>
<i>II.2 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS.....</i>	<i>55</i>
II.2.1 BOMBA PARA EL TANQUE DE ANSOL (BOMBA DE IMPULSOR FLEXIBLE)	55
II.2.1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	55
II.2.1.2 APLICABILIDAD Y LIMITACIONES.....	56
II.2.1.3 AUTOCEBADO.....	59
II.2.1.4 PRESIÓN Y FLUJO.....	59

II.2.1.5 SELECCIÓN DE LA VELOCIDAD.....	61
II.2.1.6 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	62
II.2.2 BOMBA PARA LA FASE ACEITE O STIR-POT (BOMBA DE ENGRANAJES)	64
II.2.2.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN.....	65
II.2.2.2 VENTAJAS, DESVENTAJAS Y APLICACIONES	67
II.2.3 BOMBA PARA LA EMULSION MATRIZ (BOMBA DE CAVIDAD PROGRESIVA)	68
II.2.3.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN.....	68
II.2.3.2 VENTAJAS Y APLICACIONES.....	73
II.2.4 ROTÁMETROS	74
II.2.5 CALENTADORES ELÉCTRICOS DE INMERSIÓN.....	79
II.2.6 AGITADORES.....	81
CAPÍTULO III.....	84
<i>III.1 GENERALIDADES</i>	84
<i>III.2 INSPECCIÓN</i>	85
III.2.1 SALA DE GENERACIÓN	86
III.2.2 SALA DE PROCESOS.....	87
III.2.3 SALA DE LABORATORIO Y CONTROL.....	93
III.2.4 CONCLUSIONES DE LA INSPECCIÓN	94
<i>III.3 PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES AL PROBLEMA PRODUCTIVO</i>	98
III.3.1 ADMISIÓN DEL ANSOL A LA PLANTA	98
III.3.1.1 ALTERNATIVA 1: SISTEMA TRADICIONAL	99
III.3.1.2 ALTERNATIVA 2: SISTEMA CAVIM	99
III.3.1.2.1 SUCCIÓN	101
III.3.1.2.2 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PRINCIPAL.....	101
III.3.1.2.3 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO AUXILIAR.....	102
III.3.2 DISMINUCIÓN DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO	102
III.3.2.1 ALTERNATIVA 1: SISTEMA TRADICIONAL	103
III.3.2.2 ALTERNATIVA 2: SISTEMA CAVIM	104
III.3.3 EQUIPOS DENTRO DE LA PLANTA.....	104
<i>III.4 MATRIZ DE SELECCIÓN O MATRIZ MORFOLÓGICA</i>	106
III.4.1 PROBLEMA: SUCCIÓN	107
III.4.2 PROBLEMA: SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PRINCIPAL.....	108
III.4.3 PROBLEMA: DISMINUCIÓN DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO DEL ANSOL	109
III.4.3.1 SISTEMA TRADICIONAL.....	109
III.4.3.2 SISTEMA CAVIM.....	110
CAPÍTULO IV	114
<i>IV.1 GENERALIDADES</i>	114
<i>IV.2 METODOLOGÍA</i>	115
<i>IV.3 CÁLCULO DEL INTERCAMBIADOR DE TUBO CONCÉNTRICO</i>	115
<i>IV.4 CÁLCULO PARA LA SELECCIÓN DE LA BOMBA DE ADMISIÓN DEL ANSOL</i> ..	125
IV.4.1 CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DEL SISTEMA.....	127
IV.4.2 CAVITACIÓN.....	135
<i>IV.5 ESTIMACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO AUXILIAR</i>	136
<i>IV.6 CÁLCULOS PARA LA DISMINUCIÓN DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO DEL ANSOL EN EL TANQUE</i>	138
IV.6.1 MODELADO DE LA ECUACIÓN DE CALOR ACTUAL DEL TANQUE DE ANSOL ..	139
IV.6.2 MODELADO DE LA ECUACIÓN PARA EL SISTEMA CAVIM	144
IV.6.3 AISLAMIENTO DEL TANQUE EMPLEANDO EL SISTEMA TRADICIONAL	147
IV.6.4 AISLAMIENTO DEL TANQUE EMPLEANDO LA ADMISIÓN DEL ANSOL DE CAVIM	150
IV.6.5 EFECTO DEL AUMENTO DE LA TASA DE CALOR DE TRANSMISIÓN DE LAS RESISTENCIAS CALENTADORAS ACTUALES SOBRE EL TIEMPO DE CALENTAMIENTO	152
IV.6.6 EFECTO DE UNA SOLA RESISTENCIA CALENTADORA FUNCIONANDO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA EMPLEANDO EL SISTEMA CAVIM.....	154

CAPÍTULO V	156
V.1 GENERALIDADES	156
V.2 RECOMENDACIONES PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LAS RESISTENCIAS CALENTADORAS:	157
V.3 MEDIDORES DE NIVELES PARA EL TANQUE DE ANSOL	161
CAPÍTULO VI	162
VI.1 GENERALIDADES	162
VI.2 AISLANTE TÉRMICO	163
VI.3 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBO CONCÉNTRICO (TUBO ENCHAQUETADO)	164
VI.4 TUBERÍA CONEXIÓN Y ACCESORIOS	165
VI.5 BOMBA ROTATIVA DE ADMISIÓN DE ANSOL	166
VI.6 AUTOMATIZACIÓN DE LAS RESISTENCIAS CALENTADORAS	167
CAPÍTULO VII	169
VII.1 GENERALIDADES	169
VII.2 ANÁLISIS	170
CONCLUSIONES	175
RECOMENDACIONES	177
BIBLIOGRAFIA	179
ANEXOS	182

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II.....	54
FIG. 2.1.PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA DE ÁLABES FLEXIBLES	55
FIG. 2.2.BOMBA DE ÁLABES FLEXIBLES.....	56
FIG. 2.3.PARTES DE LA BOMBA DE IMPULSOR FLEXIBLE.....	60
FIG. 2.4.RELACIÓN ENTRE EL ESPESOR DE LOS ÁLABES, LA VISCOSIDAD Y LAS RPM	61
FIG. 2.5.PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LAS BOMBA DE ENGRANAJES	65
FIG. 2.6.PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE CAVIDAD PROGRESIVA	69
FIG. 2.7.EL ÁREA TRANSVERSAL DE LAS CAVIDADES PERMANECE CONSTANTE	69
FIG. 2.8.RODETES DE BOMBA DE CAVIDAD PROGRESIVA	70
FIG. 2.9.SELLO ENTRE ROTOR Y ESTATOR	70
FIG. 2.10.BOMBA DE CAVIDAD PROGRESIVA.....	72
FIG. 2.11.PARTES DE UN ROTÁMETRO	75
FIG. 2.12.CALENTADOR ELÉCTRICO DE INMERSIÓN.....	80
FIG. 2.13.AGITADORES: TIPO PROPELA Y TIPO TURBINA	82
CAPÍTULO III.....	84
FIG. 3.1.VISTA GENERAL DEL GENERADOR	86
FIG. 3.2.DETALLE DEL MOTOR DIESEL	87
FIG. 3.3.DETALLE DEL CONTROL DEL GENERADOR	87
FIG. 3.4.DETALLE DEL INTERIOR DEL TANQUE	88
FIG. 3.5.DETALLE DEL IMPULSOR DEL MEZCLADOR DE ANSOL	88
FIG. 3.6.TERMÓMETRO DEL TANQUE DE ANSOL	89
FIG. 3.7.DETALLE DE LOS ROTÁMETROS	90
FIG. 3.8.DISPOSICIÓN DE LAS BOMBAS DE ANSOL Y STIRPOT	91
FIG. 3.9.EMULSIFICADOR	92
FIG. 3.10.BOMBA DE CAVIDAD PROGRESIVA	92
FIG. 3.11.DETALLE DEL LAVAMANOS DEL LABORATORIO	94
CAPÍTULO IV	114
FIG. 4.1.ESQUEMA Y NOMENCLATURA DEL TUBO ENCHAQUETAD	116
FIG. 4.2.ESQUEMA DEL TANQUE DE ANSOL SEGÚN SISTEMA TRADICIONAL	139
FIG. 4.3.ESQUEMA DEL TANQUE DE ANSOL SEGÚN SISTEMA CAVIM	144

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

CAPÍTULO III.....	54
DIAGRAMA 3.1. DFP ORIGINAL.....	94
DIAGRAMA 3.2 DFP CON ADMISIÓN DE ANSOL	110
CAPÍTULO IV	114
DIAGRAMA. 4.1.DETALLE DE LA ADMISIÓN DE ANSOL.....	124
DIAGRAMA. 4.2.CURVA DE REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE ADMISIÓN DE ANSOL	132
CAPÍTULO V.....	154
DIAGRAMA. 5.1.ESQUEMA UNIFILAR DE LAS RESISTENCIAS.....	156
DIAGRAMA. 5.2.ESQUEMA DE CONTROL.....	157
DIAGRAMA. 5.3.ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE CONTROL.....	158

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II.....	54
TABLA 2.1 APLICACIONES DE LA BOMBA DE CAVIDAD PROGRESIVA	71
CAPÍTULO III.....	84
TABLA 3.1. EQUIPOS DE LA INSTALACIÓN ORIGINAL.....	95
TABLA 3.2. FLUJOS DE LA INSTALACIÓN ORIGINAL.....	95
TABLA 3.3. MATRIZ MORFOLÓGICA DE LEQUIPO DE SUCCIÓN.....	105
TABLA 3.4. MATRIZ MORFOLÓGICA DEL ENFRIAMIENTO PRINCIPAL	106
TABLA 3.5. MATRIZ MORFOLÓGICA PARA LA DISMINUCIÓN DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO...	107
TABLA 3.6. MATRIZ MORFOLÓGICA PARA MANTENER LA TEMPERATURA DEL TANQUE	108
TABLA 3.7. EQUIPOS CON LA ADMISIÓN DE ANSOL.....	111
TABLA 3.8. FLUJOS CON LA ADMISIÓN DE ANSOL	111
CAPÍTULO IV	114
TABLA 4.1. CALOR ESPECÍFICO Y CONCENTRACIÓN DE NA Y AGUA.....	117
TABLA 4.2. PROPIEDADES DE NA Y AGUA.....	119
TABLA 4.3. ACCESORIOS EN LA ADMISIÓN DE ANSOL	128
TABLA 4.4. VALORES PARA LA CURVA DEL SISTEMA DE ANSOL.....	132
CAPÍTULO VI.....	160
TABLA 6.1. ESPECIFICACIÓN DEL AISLANTE TÉRMICO	161
TABLA 6.2. ESPECIFICACIÓN DEL ICTC	162
TABLA 6.3. ESPECIFICACIÓN DE TUBERÍAS	163
TABLA 6.4. ESPECIFICACIÓN DE ACCESORIOS	163
TABLA 6.5. ESPECIFICACIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO	164
TABLA 6.6. ESPECIFICACIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA.....	165
TABLA 6.7. ESPECIFICACIÓN DE LOS CONTROLADORES	165
CAPÍTULO VII.....	167
TABLA 7.1. COMPARACIÓN DE RESULTADOS	169

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A PROPIEDADES DEL ANSOL DE ORICA	183
ANEXO B SELECCIÓN DE LA BOMBA DE ENGRANAJES.....	185
ANEXO C ESPECIFICACIÓN DE AUTOMATIZACIÓN.....	188
ANEXO D ESPECIFICACIÓN DE RESISTENCIAS	197

ÍNDICE DE APÉNDICES

APÉNDICE A DATA HIDRÁULICA DE CRANE.....	199
APÉNDICE B DATA HIDRÁULICA DE CAMERON.....	202

INTRODUCCIÓN

Venezuela, es un país fundamentalmente petrolero, que tiene grandes recursos naturales renovables y no renovables, reservas acuíferas, energéticas, madereras y mineras; de éstos se pueden nombrar el hierro, el aluminio, la bauxita o el carbón.

Una de las minas a cielo abierto de carbón más representativas es la Mina Pasodiablo, en el Estado Zulia, la que está siendo manejada por Carbonera Guasare, empresa responsable de la explotación de este importante mineral y que tiene como política de explotación minimizar el impacto ambiental producido por esta actividad.

Uno de los insumos indispensables para la minería a cielo abierto es el material explosivo, el que debe adecuarse a las condiciones de cada terreno y uso. Orica, empresa Australiana de explosivos e insumos, y la división de explosivos del grupo Merand, conformada por Quarterdeck y Exploservicios, han desarrollado tecnologías de avanzada en el suministro de explosivos a compañías del tipo de Carbonera Guasare. Una de las iniciativas más significativas fue la instalación en 1970 de una planta portátil para la producción de uno de los explosivos más adecuados para uso minero, la emulsión. El cual se fabrica directamente en la carbonera, para suplir

en forma inmediata, eficiente y económica los explosivos "in-situ".

El uso del Nitrato de Amonio se patentó en Suecia en 1867, pero fue Nobel quien hizo exitosas estas dinamitas empleando entre un 20% y un 60% de Nitrato de Amonio en sus gelatinas explosivas.

Durante el período comprendido entre 1867 y 1884, muchos investigadores trabajaron en el desarrollo de mezclas no gelatinosas de Nitrato de Amonio, sin dar con resultados satisfactorios debido a que el Nitrato de Amonio es muy higroscópico, es decir, recoge la humedad con facilidad extrema. En 1885, un Americano, Penniman, halló una solución mediante el recubrimiento del Nitrato de Amonio antes de su uso con parafina u otra sustancia similar. Con este desarrollo, se popularizaron diversas dinamitas de amonio. El recubrimiento fue desplazándose con el descubrimiento de otros procesos para el manejo de la humedad. Casi sin excepción, el ingrediente más importante en la mayoría de los explosivos es el Nitrato de Amonio, el que es escogido por su baja temperatura de explosión. Casi todos tienen un agente enfriante como puede ser la sal común o el cloruro de amonio para prevenir que el calor proveniente de la explosión haga ignición en bolsas de gas subterráneo, como el metano, o una combinación de este y polvo de carbón, el cual puede causar un incendio o una desastrosa explosión secundaria. El sensibilizante puede ser una pequeña cantidad de

nitroglicerina o TNT (trinitrotolueno), para iniciar la reacción que convierte a la mezcla en explosiva.

El nuevo concepto era emplear la fórmula más fuerte posible, con un mínimo de nitroglicerina y un máximo de Nitrato de Amonio, y diluir sistemáticamente con ingredientes de baja densidad como lo es la pulpa remanente de la extracción del azúcar de la caña, a fin de obtener la misma acción detonante. Esto trajo un ahorro sustancial al usuario, debido a la considerable reducción en los costos de producción.

En 1955 la industria de los explosivos conoció el adelanto más revolucionario desde la invención de la dinamita: las mezclas de Nitrato de Amonio con fuel-oil (ANFO) y geles basados en el Nitrato de Amonio, los cuales abarcan actualmente más del 80% de los explosivos en utilización. En general, en todos los países que emplean este tipo de explosivos emplean el mismo método: el explosivo es transportado en camiones y entregado directamente en los barrenos. Las aplicaciones del ANFO son basadas en Nitrato de Amonio el cual es presentado en forma de prills o esferas de fluidez libre, y son desarrolladas por las industrias de fertilizantes. El ANFO es preparada universalmente en la proporción de 96% prills, y 4% diesel #2, el cual imparte resistencia a la humedad, se emplean bolsas de polietileno para el embalaje del producto. El ANFO tiene una serie de propiedades que definen su aplicación, como son su bajo precio (aprox. 25 US\$/25 kg); su baja resistencia al agua

no lo hace adecuado para terrenos húmedos; dada su consistencia está limitado por la presencia de grietas en el terreno, que al fluir en éstas reduce la capacidad explosiva del barreno (pérdida de energía) sin embargo, es una mezcla homogénea, lo que impide la separación en sus componentes básicos como ocurre con la dinamita.

Sin embargo, no es el ANFO el explosivo más empleado actualmente, más bien es utilizado como base para la obtención del que hoy en día marca la excelencia en la materia, la emulsión. Este nuevo concepto en la fabricación de productos explosivos, es el producto más desarrollado en la tecnología de los explosivos comerciales. Las emulsiones tienen numerosas características poco usuales, la interacción íntima de los combustibles-oxidantes produce detonaciones de muy alta velocidad. Las emulsiones sensitivas, se preparan como mezcla de agua en aceite en las que existen dos fases presentes, una externa y otra interna. Ambas fases están separadas, pero con una agitación apropiada y un emulsificante o surfactante, un líquido puede ser disperso en otro, formando una emulsión. La fase interna está compuesta de una solución de sales oxidantes suspendidas, rodeadas por la fase externa de combustible. La emulsión está estabilizada contra la separación de líquido por un agente emulsificante, el cual actúa como puente entre el oxidante y el combustible, siendo un lado compatible con el oxidante y el otro con el combustible. La emulsión, así formada, es sensitiva por aire (glass microspheres).

Por otro lado, es un poco más costosa que el ANFO (parecido a la emulsión, pero de composición química más sencilla) seco (60\$/25kg), aunque continúa siendo un producto muy económico. Como es una emulsión en agua, resiste muy bien a la humedad, y por ser un producto más viscoso, sella las grietas del terreno en el que se hizo el barrenado. No es contaminante ya que no disipa los gases y la explosión se da mediante una reacción estequiométrica (combustión casi completa).

La planta portátil produce emulsión, que luego de ser gasificada es transportada a la mina para ser colocada en los barrenos para la actividad explosiva.

La producción y operación en Guasare han aumentado a pasos agigantados y como consecuencia se hace necesario incrementar la producción de la planta portátil. La misma tiene una producción teórica de 248 toneladas al mes, y la práctica produce 200 toneladas al mes lo que arroja una eficiencia de 80%. Con la instalación original la planta necesita 8 horas para producir 5,5 toneladas de emulsión, 6,5 de las cuales son para calentar el ANSOL; es claro que a medida que se reduzca este tiempo aumentará la producción. Es deseable para el Grupo Orica-Merand reducir el tiempo de calentamiento a por lo menos 4 horas, produciendo así 5,5 toneladas en 5,5 horas. Con un consecuente aumento en la producción mensual teórica a 360 toneladas y manteniendo la eficiencia en 80% se espera un incremento del 44% de la

producción. En este sentido se hace indispensable la selección de equipos más eficientes. El propósito de este trabajo es presentar una solución a este problema productivo mediante la optimización del diseño actual de la planta de explosivos.

Luego de haber señalado los antecedentes de la planta portátil de explosivos, así como también de los explosivos, es necesario dar a conocer cómo está estructurado este trabajo y qué se desarrolla en cada una de las partes del mismo:

En el capítulo I se desarrolla una información general a manera de glosario, la cual contiene definiciones y conceptos básicos sobre los tópicos en los cuales se basó el trabajo de repotenciación de la planta portátil.

En el capítulo II, se expone la información técnica sobre los equipos más significativos que operan dentro de la planta portátil.

En el capítulo III se dan a conocer los resultados de la inspección realizada a la instalación, determinando así las condiciones en las que se encuentra. Asimismo, se plantean los problemas que afectan el proceso productivo de la planta portátil, así como también las posibles soluciones que se proponen, a fin de elegir las soluciones que aporten mayores aspectos positivos. Para

ello se emplea una herramienta muy eficaz denominada matriz de selección o matriz morfológica.

En el capítulo IV se realizan los cálculos involucrados con las soluciones que, mediante las matrices morfológicas, fueron definidas anteriormente.

El capítulo V describe brevemente el principio de funcionamiento del sistema automatizado que se recomienda para las resistencias calentadoras, así como también, una sugerencia de cómo controlar el nivel del tanque de ANSOL empleando un medidor de nivel.

El capítulo VI contiene las especificaciones de los equipos que, según los cálculos, serán capaces de controlar y transformar una situación de problema en un aporte para mejorar la producción de la planta portátil de explosivos.

Y el capítulo VII está guiado hacia una evaluación de los resultados obtenidos en los capítulos anteriores, de manera que sea posible apreciar el efecto que éstos tendrán sobre el estado actual de la planta portátil y cómo se ve modificado el proceso productivo.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones de acuerdo con el trabajo y los resultados obtenidos.

NOMENCLATURA

A:	Área (m^2)
C:	Calor específico (kJ/kg.K) Velocidad lineal (m/s) Capacidad de flujo de calor (W/K)
D:	Diámetro (m)
\dot{E} :	Rata de energía (W)
E_{almac} :	Energía almacenada (J/s)
e:	Espesor (mm ó pulg), rugosidad relativa
f:	Factor de fricción
G:	Velocidad de masa (lb/pie ² h)
g:	Aceleración de la gravedad (m/s^2 ó pie/s^2)
H:	Altura dinámica de bombeo (m), altura (m)
h:	Coefficiente convectivo (W/m^2K)
i:	Intensidad de corriente (A)
K:	Coefficiente de pérdida de presión
k:	Conductividad térmica (W/mK)
L:	Longitud (m ó pie)
LMTD:	Diferencia de temperatura media logarítmica ($^{\circ}C$)
\dot{m} :	Flujo másico (kg/s ó lb/h)
m:	Masa (kg)
n:	Factor de corrección en correlación
NPSH:	Carga Neta Positiva de Succión (m)
N_u :	Número de Nusselt
NUT:	Número de Unidades de Transferencia
P:	Presión (Pa)
Pr:	Número de Prandtl

\dot{Q} :	Caudal volumétrico (m^3/s ó gpm)
q:	Flujo de calor transmitido (W)
r:	Radio (m)
Re:	Número de Reynolds
T:	Temperatura ($^{\circ}C$ ó K)
t:	Tiempo (s)
U_0 :	Coeficiente global de transferencia de calor ($W/m^2 \cdot K$)
V:	Volumen (m^3), Tensión (V)
z:	Cota (m)

Letras Griegas:

α :	Difusividad Térmica (m^2/s)
γ :	Peso específico (N/m^3)
Δ :	Diferencia
ε :	Emisividad Efectividad del intercambiador compacto
σ :	Constante de Stefan Boltzmann
ν :	Viscosidad Cinemática (m^2/s)
π :	Relación entre la circunferencia y el diámetro de un círculo
θ :	Diferencia de temperaturas (K)
ρ :	Densidad (kg/m^3)
μ :	Viscosidad dinámica (cP ó lb/pie.h)

Subíndices:

P:	Presión Constante
FC:	Fluido Caliente
FF:	Fluido Frío
EFC:	Entrada del fluido caliente
SFC:	Salida del fluido caliente
EFF:	Entrada del fluido frío
SFF:	Salida del fluido frío
H:	Hidráulico
I:	Interno
O:	Externo
1:	Nivel en la succión
2:	Nivel en la descarga
SUCC:	Relativo a la succión
DESC:	Relativo a la descarga
e:	Entrada
s:	Salida
	Superficial
g:	Generada
hp:	Convección en la pared
kp:	Conducción en la pared
ht:	Convección en el techo
kt:	Conducción en el techo
Atm:	Atmosférica
v:	Vapor
i:	Interior
∞:	Ambiente
x:	Dirección del flujo en estudio

CAPÍTULO I

CONCEPTOS Y DEFINICIONES BÁSICAS

I.1 GENERALIDADES

En este capítulo se presentan, a manera de glosario, las definiciones, conceptos y fórmulas básicas de transferencia de calor, flujo de fluidos y automatización; tópicos sobre los cuales se basó este trabajo.

Al igual, se introducen las hojas de seguridad (MSDS) de los diferentes compuestos y fluidos involucrados en el proceso.

I.2 DEFINICIONES BÁSICAS

I.2.1 TRANSFERENCIA DE CALOR

I.2.1.1 AISLANTE TÉRMICO

Los materiales de aislamiento térmico se emplean para reducir el flujo de calor entre zonas calientes y frías. Por ejemplo, el revestimiento que se coloca frecuentemente alrededor de las tuberías de vapor o de agua caliente reduce las pérdidas de calor, y el aislamiento de las paredes de una nevera o refrigerador reduce el flujo de calor hacia el aparato y permite que se mantenga frío¹. Se pueden mencionar la manta de fibra de vidrio, asbesto, yeso, poliestireno, etc.

I.2.1.2 ANALOGÍA ELÉCTRICO-TÉRMICA

Es el método de resolución de problemas de transferencia de calor que se basa en la equivalencia de circuitos eléctricos con circuitos térmicos. Así, se cumple que la tensión es análoga a la temperatura, el flujo de corriente al flujo de calor, y la resistencia eléctrica a la resistencia a la conducción, convección o radiación según el caso. De esta manera se tiene que:

En electricidad: $V = i \times R$

En transferencia de calor: $T = q \times R$

¹"Aislante", *Enciclopedia Microsoft® Encarta® 97 © 1993-1996*
Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

I.2.1.3 BALANCE DE ENERGÍA

Hace referencia a la Primera Ley de la Termodinámica, que puede ser aplicada con sus variaciones respectivas a todos los sistemas físicos a estudiar. Así cita: "...la velocidad a la que la energía térmica y mecánica ingresa en un volumen de control, más la velocidad a la que se genera energía térmica dentro del volumen de control, menos la velocidad a la que sale energía térmica y mecánica del volumen de control, debe ser igual a la velocidad de incremento de la energía almacenada dentro del volumen de control..." [7].

I.2.1.4 COEFICIENTE CONVECTIVO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Es la magnitud física o constante que mide la capacidad de transmisión de calor de un fluido a otro por medio del movimiento natural de las moléculas y depende de la geometría de la superficie, variedad de propiedades termodinámicas del fluido y de transporte y las condiciones en la capa límite [7].

I.2.1.5 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR (U)

Cuando se habla de un sistema en el que se presenta la transferencia de calor compuesta, es decir, por conducción, convección y radiación simultáneamente, o combinaciones de ellas, se suele trabajar en función del coeficiente global de transferencia de calor que viene

dado de la ley del enfriamiento de Newton [7]. La fórmula que lo define es:

$$q_x = U.A.\Delta T$$

I.2.1.6 CONDUCCIÓN

En los sólidos, la única forma de transferencia de calor es la conducción. Si se calienta un extremo de una varilla metálica, de forma que aumente su temperatura, el calor se transmite hasta el extremo más frío por conducción. No se comprende en su totalidad el mecanismo exacto de la conducción de calor en los sólidos, pero se cree que se debe, en parte, al movimiento de los electrones libres que transportan energía cuando existe una diferencia de temperatura². Puede expresarse matemáticamente como:

$$q_x = k.A.\frac{\Delta T}{\Delta x}$$

I.2.1.7 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (K)

Coeficiente o constante positiva que define la capacidad de los materiales sólidos de conducir el calor.

²"Calor, Transferencia de", *Enciclopedia Microsoft® Encarta® 97*
© 1993-1996 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

I.2.1.8 CONVECCIÓN

Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, es casi seguro que se producirá un movimiento del fluido por la diferencia de densidades producidas por dicho diferencial. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección natural, que puede ser incrementado mecánicamente con ventiladores en el caso del aire, o con flujos totalmente desarrollados y turbulentos³. La ecuación general de este fenómeno es:

$$q = h.A_s.(T_s - T_\infty)$$

I.2.1.9 EFECTIVIDAD DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR(ϵ)

Parámetro indispensable en el diseño de un intercambiador de calor al seguir el método de las NUT (número de unidades de transferencia). Se define como el cociente entre la transferencia de calor real y la máxima transferencia de calor posible [6].

I.2.1.10 ENERGÍA ALMACENADA

Puede definirse como la energía interna que posee un fluido, y viene expresada en función de la masa, el calor específico y la temperatura del mismo.

³"Calor, Transferencia de", *Enciclopedia Microsoft® Encarta® 97*
© 1993-1996 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

I.2.1.11 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBOS CONCÉNTRICOS

Es un sistema de transferencia de calor formado por dos tubos, que dispuestos concéntricamente definen las superficies a través de las cuales se transmitirá el calor. Generalmente, por el tubo interno circula el fluido frío y por el ánulo o sección anular circula el fluido caliente. El sentido de ambos flujos puede ser paralelo o en contraflujo [6].

I.2.1.12 INTERCAMBIADOR DE CALOR COMPACTO

Este tipo de intercambiador de calor es empleado cuando se quiere alcanzar un área superficial por unidad de volumen muy grande. Se adaptan mejor a las aplicaciones en las que se tienen corrientes gaseosas y valores bajos de h . Generalmente, está constituidos por varios tubos por los que circula uno de los fluidos, y varias superficies planas o aletas que colocadas transversalmente a los tubos con un contacto muy cercano a éstos dejan circular el otro fluido, generalmente de naturaleza gaseosa (aire, gases de escape, vapor, etc.) [6].

I.2.1.13 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO CRUZADO

También llamado de corrientes cruzadas. Se emplean generalmente para calentar aire o gases y en aplicaciones de refrigeración. Está conformado por un haz de tubos por cuyo interior circula uno de los

fluidos, y a través de ellos se puede hacer circular un gas o aire. Es similar al intercambiador de calor compacto. [6]

I.2.1.14 NÚMERO DE NUSSELT (NU)

Este parámetro es igual al gradiente de temperatura adimensional en la superficie, y proporciona una medida de la transferencia de calor por convección que ocurre en la superficie [7]. Su ecuación es:

$$Nu = \frac{h \cdot L_{\text{CARACTERÍSTICA}}}{k} = f(Re, Pr)$$

I.2.1.15 NÚMERO DE PRANDTL (PR)

Número adimensional cuyo nombre se debe al científico alemán Ludwig Prandtl, quien introdujo los conceptos de capa límite [6]. La ecuación es:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$$

I.2.1.16 NÚMERO DE UNIDADES DE TRANSFERENCIA (NUT)

Parámetro adimensional empleado en el método del rendimiento, ofrece muchas ventajas para el análisis de problemas en los que hay que comparar varios intercambiadores de calor, con el fin de seleccionar el tipo más adecuado para cubrir una situación particular

de transferencia de calor [6],[7]. Se define con la siguiente ecuación:

$$NUT = \frac{U.A}{C_{MÍN}}$$

I.2.1.17 RADIACIÓN

La radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas⁴. Su ecuación es:

$$q_{rad} = \varepsilon.A.\sigma.(T_S^4 - T_\infty^4)$$

I.2.1.18 TRANSFERENCIA DE CALOR

Proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre cuerpos distintos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos. Por

⁴"Calor, Transferencia de", *Enciclopedia Microsoft® Encarta® 97*
© 1993-1996 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

ejemplo, el calor se transmite a través de la pared de una casa fundamentalmente por conducción, el agua de una cacerola situada sobre un quemador de gas se calienta en gran medida por convección, y la Tierra recibe calor del Sol casi exclusivamente por radiación.⁵

I.2.1.19 VOLUMEN DE CONTROL

Región de espacio limitada por una superficie de control a través de la cual pueden entrar y salir la energía y la materia. [7]

I.2.2 FLUJO DE FLUIDOS

I.2.2.1 ALTURA DINÁMICA (H)

Es la altura que, aplicando la ecuación de Bernoulli, la bomba debería ser capaz de entregar al fluido de bombeo. Esta altura debe vencer las limitaciones de presión, de energía cinética, de energía potencial y las pérdidas en la succión y en la descarga.

⁵"Calor, Transferencia de", *Enciclopedia Microsoft® Encarta® 97*
© 1993-1996 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

I.2.2.2 CARGA NETA POSITIVA DE SUCCIÓN (NPSH)

Es la carga de succión total en pies de líquido (absoluta en el eje de la bomba) menos la presión de vapor absoluta (en pies) del líquido a bombear [1].

I.2.2.3 CAVITACIÓN

Fenómeno típico de las bombas que se presenta cuando la presión del fluido bombeado se aproxima o iguala a su presión de vapor. Cuando esto ocurre, se forman pequeñas burbujas de vapor que implotan generando presiones elevadas que provocan esfuerzos puntuales en el rodete, que hacen que éste se erosione.

I.2.2.4 DIÁMETRO HIDRÁULICO

Cuando un fluido circula por un conducto de sección transversal no circular, suele emplearse el diámetro hidráulico para los cálculos. Se define como el cuádruplo del área transversal entre el perímetro respectivo. [6].

I.2.2.5 ECUACIÓN DE BERNOULLI

Es una forma de expresión de la aplicación de la ley de conservación de la energía al flujo de fluidos en una tubería. Esta ecuación considera la energía de presión, la energía cinética y la energía potencial [16].

En general, la ecuación de Bernoulli tiene la siguiente forma:

$$\frac{C_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + g.H_1 = \frac{C_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + g.H_2$$

1.2.2.6 NÚMERO DE REYNOLDS (Re)

Es un número adimensional que evalúa la densidad, viscosidad y velocidad de un fluido y el diámetro de la tubería por la cual circula. Estas cuatro variables definen el régimen de flujo que tiene un fluido, por ello, el número de Reynolds define si un flujo es laminar, transitorio o turbulento. Su expresión matemática es [7]:

$$Re = \frac{C.L_{característica}}{\nu} = \frac{4 \cdot \dot{m}}{\pi \cdot D \cdot \mu}$$

1.2.3 CONTROLES AUTOMÁTICOS

1.2.3.1 CONTACTOR

Elemento interruptor de un circuito que puede ser un condensador o una bobina. En el primer caso, se abre el circuito cuando no esté cargado, y en el segundo, el circuito es abierto al estar cargada la bobina.

I.2.3.2 CONTROLADOR

Es todo dispositivo que en un proceso controla o regula una variable como temperatura, presión, flujo, nivel de líquido o pH mediante la comparación con un nivel de referencia [13].

I.2.3.3 CONTROLADOR ON-OFF

Es aquel dispositivo que al recibir una señal de entrada, la compara con un nivel de referencia y envía una señal de salida exclusivamente binaria (de dos posiciones), es decir, abierto-cerrado o encendido-apagado al equipo controlado. Con un cambio mínimo en la señal medida, se produce una respuesta inmediata con la que se interrumpe o se inicia una acción dada.

I.2.3.4 TERMOCUPLA

Elemento sensor de temperatura que convierte un diferencial de temperatura en un diferencial de potencial para que pueda ser procesado por el controlador.

I.2.3.5 TERMOPOZO

Elemento análogo a un "forro" o "chaqueta" en el que se introduce la termocupla con la finalidad de evitar el contacto entre medio al que se le desea controlar la temperatura y la termocupla. Generalmente el termopozo se construye con materiales especialmente conductores del calor, para que la variable medida no tenga errores.

I.3 HOJAS DE SEGURIDAD

I.3.1 NITRATO DE AMONIO

Fórmula molecular:



Propiedades Físicas:

De apariencia transparente y cristalina, no tiene un aroma apreciable.

Solubilidad:	118g/100g de agua @ 0°C
Gravedad Específica:	1,73
PH:	5,4
Punto de Ebullición:	Descompone a 210 °C
Punto de Fusión:	170°C

El Nitrato de Amonio es principalmente empleado en la constitución de fertilizantes nitrogenados, y de explosivos para la industria minera.

Manejo:

Manténgase en un contenedor fuertemente cerrado, y almacenado en un área fresca, seca, bien ventilada y alejado de materiales combustibles u otros materiales rápidamente oxidantes. Debe evitarse su almacenamiento en pisos de madera así como lejos de dicromatos, no debe ser

vertido nuevamente en los contenedores originales. Requiere protección del daño físico. Debe mantenerse a temperaturas menores a los 54 °C, preferiblemente por debajo de los 30°C. Los contenedores pueden ser perjudiciales por los restos de Nitrato de Amonio que pueden contener.

Control a la Exposición:

No hay límites establecidos de cantidad de partículas en el aire libre. Se recomienda un sistema de ventilación para mantener al empleado lo más ventilado posible. Se prefiere ventilación local de escape ya que puede controlar las emisiones desde su fuente, previniendo la dispersión en el área general de operación.

Explosiones e Incendios:

No es un material combustible, pero es un fuerte oxidante y su calor liberado en una reacción con agentes reductores puede causar ignición. Puede soportar la combustión en un incendio existente. Su contacto con sustancias oxidantes puede generar combustión sumamente violenta, y los contenedores sellados pueden romperse al calentarse. Es sensible al impacto mecánico. En caso de incendio deben emplearse grandes cantidades de agua, sobre todo en las etapas iniciales del mismo. Deben emplearse medios adecuados como extintores para sofocar

los incendios cercanos. En caso de incendio deben emplearse vestimentas adecuadas, sobre todo caretas y respiradores adecuados operados a la presión requerida por el usuario.

Reactividad:

Es muy higroscópico. Es estable bajo las condiciones normales de uso. Al ser calentado hasta su descomposición, libera vapores de óxidos nitrosos. Al reaccionar con sustancias fuertemente alcalinas, libera amoníaco. Es incompatible con aluminio, antimonio, cromo, cobre, plomo, magnesio, bismuto, zinc, petróleo, carbón, acero, níquel, bronce, cobalto, fósforo, sodio, hipoclorito de sodio, perclorato de sodio, azufre, etc.

Primeros Auxilios:

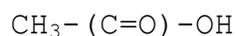
Evitar la inhalación de sus polvos, así como el contacto con los ojos y otras mucosas. Los ropajes contaminados deben ser removidos lo más pronto posible, y la persona debe ser lavada con abundante agua. De inhalarse, trasladarse a un lugar bien ventilado. Si se experimentan dificultades respiratorias, debe notificarse a un médico. En caso de contacto con los ojos, deben ser lavados con abundante agua fresca durante al menos quince minutos. De ser tragado, NO inducir el vómito. Administrar grandes cantidades de agua, y no alimentar o administrar nada por vía oral a alguna persona que se

encuentre en estado de inconsciencia. En todo caso, facilitar la atención médica. [23]

1.3.2 ÁCIDO ACÉTICO

Es conocido también como: Ácido Glacial Acético, Ácido Etanóico o Ácido Etílico.

Fórmula Molecular:



Propiedades Físicas:

Gravedad Específica a 20 °C:	1,05
Densidad de Vapor Relativa (Aire=1):	2,1
Presión de Vapor a 20°C:	1,5 kPa
Punto de Inflamación:	30°C
Límite Explosivo Inferior a 93°C:	4%
Límite Explosivo Superior a 93°C:	19,9%
Temperatura de Autoignición:	463°C
Punto de Fusión:	16,6°C
Punto de Ebullición:	118°C
PH (0.1 M de solución acuosa):	2,9
Viscosidad a 20°C:	1,22

El ácido acético es un líquido transparente, incoloro con un olor penetrante. Es miscible con agua, alcohol, glicol, y éter. Es soluble en la mayoría de los solventes orgánicos.

El ácido acético es incompatible con la mayoría de los metales (excepto el aluminio). El producto puede reaccionar violentamente con aminas, otras bases, agentes oxidantes fuertes, y ácido perclórico. Su vapor es más pesado que el aire.

Usos Finales:

El ácido acético es empleado en la industria manufacturera de anhidro acético, acetatos, plásticos, productos farmacéuticos, insecticidas, químicos fotográficos, alimentos y sus aditivos (vinagres, encurtidos y salchichas), coagulante de látex, impresiones textiles, blanqueado, y en general en muchas de las soluciones industriales en las que se desea controlar el pH del medio.

Manejo:

El ácido acético es clasificado como una Sustancia Peligrosa en cuanto al transporte, con un 8 (CORROSIVO) y 3 (LÍQUIDO INFLAMABLE). Este líquido es un veneno declarado S6 y debe ser almacenado, mantenido y usado en concordancia con las regulaciones relevantes.

Debe almacenarse en un área fresca y bien ventilada, y alejado de la luz solar directa. Debe mantenerse alejado de agentes oxidantes y alimentos. Debe estar alejado de toda fuente de calor o ignición. Los contenedores deben mantenerse continuamente cerrados y

deben ser revisados periódicamente para verificar la ausencia de fugas.

Derrames:

Deben cerrarse o apagarse todas las posibles fuentes de ignición e incrementarse la ventilación. Se debe emplear equipo protector para prevenir la contaminación de ojos y piel, así como para evitar la inhalación de vapores. El derrame debe ser contenido usando tierra, arena u otro material inerte suficientemente absorbente. Luego debe ser recogido, sellado y debidamente rotulado en contenedores adecuados. El área debe ser lavada con un exceso de agua. Si se han contaminado los sistemas de suministro de agua o de manejo de aguas servidas, debe notificarse a los cuerpos de emergencia locales.

Disposición:

Referirse a la autoridad Estatal de Manejo de Tierra de Desecho. Notificar la naturaleza inflamable del producto. Normalmente el ácido acético puede ser incinerado por agentes autorizados.

Peligro de Fuego / Explosión:

El ácido acético es un líquido inflamable. El calentamiento puede causar su expansión o descomposición trayendo la falla mecánica de los contenedores. Es seguro

alejar los contenedores de posibles caminos para el fuego. Los contenedores deben mantenerse frescos mediante la atomización de agua sobre ellos. Los bomberos deben llevar implementos auto sostenidos de respiración en caso de exponerse a vapores del ácido o productos de la combustión.

Atomización de agua, espuma, dióxido de carbono o medios químicos para neutralizar las llamas son buenos para ser empleados con el producto.

Efectos a La Salud:

La exposición a corto plazo es considerada dañina en cualquiera de sus variantes.

Piel:

El contacto con la piel resulta en severas irritaciones y puede causar quemaduras.

Ojos:

El ácido acético es un severo irritante ocular. La contaminación de los ojos puede causar daños en la córnea y traer consecuencias permanentes.

Inhalación:

El vapor es un irritante de las mucosas del tracto respiratorio. Su inhalación puede acarrear dolores de cabeza, mareos y náuseas. Los vapores concentrados pueden corroer las membranas nasales, pulmonares y de la garganta, mientras que en concentraciones elevadas, pueden generar inflamación de la vías respiratorias y la acumulación de fluidos en los pulmones. La exposición

repetida o prolongada puede causar la corrosión de los dientes frontales.

Ingesta:

La Ingesta puede resultar en severas y dolorosas quemaduras en la boca, garganta y abdomen seguidas por vómitos y diarrea. Si no es tratada con la rapidez necesaria, la Ingesta de ácido concentrado puede resultar fatal.

Primeros Auxilios:

Piel:

Debe ser lavada de inmediato con agua suficiente. Las ropas contaminadas deben ser retiradas y lavadas antes de ser usadas nuevamente. En caso de aparición de ampollas, enrojecimiento o hinchazón, debe contactarse al médico.

Ojos:

Deben ser irrigados inmediatamente con copiosa cantidades de agua durante al menos 15 minutos. Los párpados deben ser ayudados al abrir. La piel debe ser lavada y las vestiduras retiradas. Debe tenerse atención médica inmediata, así como un transporte seguro a un centro médico asistencial.

Inhalación:

Debe retirarse a la víctima de la zona contaminada, mientras se evitan daños a otras personas. Las vestiduras

contaminadas deben ser retiradas y las restantes deben ser aflojadas. Debe permitírsele al paciente adoptar la posición más cómoda y debe mantenerse caliente. Debe mantenerse en reposo hasta la total recuperación. Si se dificulta la respiración y el paciente se torna cianótico (tono azulado de la piel), debe asegurarse de que las vías respiratorias estén limpias y libres y debe suministrársele oxígeno por personal calificado mediante una máscara respiratoria. Si la respiración se ha detenido, debe aplicársele respiración artificial. En un evento cardíaco, debe hacérsele un masaje cardíaco externo. Debe buscarse ayuda médica.

Ingesta:

La boca debe ser enjuagada con abundante agua. Debe dársele agua de beber, y NO debe inducirse el vómito. Debe obtenerse ayuda médica inmediata. [24]

1.3.3 SURFACTANTE

Se conoce también como: Ethoxilatos, Éteres polietilénicos o Alcoholes alquil poliéster.

Fórmulas Químicas:



$C_{12}H_{25}O(CH_2-CH_2-O)_nCH_2CH_2OH$ (Para n generalmente en el rango 1-100).

Usos finales:

Los agentes activos de superficie son ampliamente usados en aplicaciones industriales en las que se desea mejorar el contacto entre medios polares y no polares como puede ocurrir entre el aceite y el agua o entre el agua y ciertos sólidos (minerales, por ejemplo). Son uno de los ingredientes activos mayoritariamente empleados en productos de limpieza domésticos e industriales como detergentes lavaplatos o para lavar ropa. Forman parte esencial en la formulación de pinturas, adhesivos, insecticidas, herbicidas, cosméticos y farmacéuticos. Son usados como auxiliares en procesos como la minería, producción de petróleo, manufactura de explosivos, extracción de minerales, salud animal, control del polvo, pavimentación y canteras.

Constitución Química:

La mayoría de los surfactantes consisten de una porción insoluble, el hidrófobo, y una parte soluble, el hidrófilo. La forma más común de generar la parte soluble en agua de la molécula es mediante la polimerización del óxido de etileno. A mayor grado de polimerización, más hidrófila se vuelve la molécula final. El control de las propiedades del surfactante específico se logra mediante la variación del grado de polimerización.

Sus Propiedades Físicas varían ampliamente.

El valor preciso de cada parámetro varía en función del hidrófobo específico. Como una indicación general de

las propiedades físicas típicas, aplican los siguientes rangos:

Gravedad específica a 20 °C:	0,91 - 1,008
Flashpoint, taza cerrada:	124 -> 155
Punto de Fusión, °C:	<0 - 45
Punto de Ebullición, °C:	>200

Apariencia:

Los miembros inferiores de cada serie de homólogos son líquidos viscosos transparentes. A medida que el grado de ethoxilación se incrementa el producto se torna una pasta hasta finalizar en ceras sólidas. Tienen un suave y dulce aroma característico.

Solubilidad:

Los surfactantes que contienen menos del 52% en peso de óxido de etileno son dispersables en agua pero prontamente solubles en la mayoría de los solventes polares orgánicos. Los derivados que contiene menos del 45% en peso de óxido de etileno se dispersan con dificultad en agua pero son solubles en hidrocarburos y otros solventes de baja polaridad.

La solubilidad en el agua se incrementa a medida que el grado de ethoxilación, pero es inverso con respecto a la temperatura. La solubilidad se le atribuye a la formación de iones provenientes de la molécula éter-oxígeno en la cadena del polímero. Por otro lado,

cualquier factor físico-químico que inhiba la formación de enlaces de hidrógeno inhibirá también la solubilidad del surfactante.

Reactividad:

Todo surfactante terminado en hidroxilo provocará reacciones típicas de los alcoholes. Bajo condiciones convencionales de reacción se produce la formación de esteres con ácidos carboxílicos. Los esteres formados por la reacción con ácidos inorgánicos especialmente sulfúrico y fosfórico, son funcionales como ciertos tipos de surfactantes.

Manejo:

Los surfactantes no presentan problemas de manejo mientras se observen buenas prácticas ocupacionales en el área de trabajo. No están definidos como peligrosos por el código canadiense.

Como con cualquier producto químico, su ingestión, inhalación, y contacto prolongado o repetido con la piel debe ser evitado con prácticas ocupacionales adecuadas.

Efectos en la Salud:

Piel:

La exposición no prolongada es considerada prácticamente no peligrosa en todo término. El contacto con la piel puede resultar en irritación. El contacto prolongado o repetido con la piel puede generar dermatitis.

Ojos:

Es un irritante ocular.

Inhalación:

No representa un riesgo dada la baja presión de vapor a temperatura ambiente. La inhalación del polvo puede generar irritación respiratoria.

Ingesta:

No se esperan efectos adversos, aunque la ingesta de grandes cantidades puede acarrear náuseas y vómitos.

Primeros Auxilios:

Piel:

Lavar la zona contaminada con suficiente agua. Remover la ropa contaminada y lavarla antes de volver a utilizarla. Si ocurre alguna irritación, consultar al médico.

Ojos:

Irrigar con copiosas cantidades de agua durante 15 minutos. En todos los casos debe considerarse sin excepción la visita médica.

Inhalación:

Remover a la víctima de la zona contaminada. Mantener reposo hasta la total recuperación. Buscar ayuda médica si los efectos persisten.

Ingesta:

Lavar la boca con suficiente agua, y beber grandes cantidades de ésta. Si ocurren vómitos, continuar con el suministro de agua para obtener una disolución efectiva. Buscar ayuda médica. [23]

1.3.4 DIESEL N° 2

Definición según API:

Destilado del petróleo con una viscosidad mínima de 32,6 SSU a 100°F hasta un máximo de 37,9 SSU a 100°F. Combinación compleja de aromáticos e hidrocarburos parafínicos, producto de la destilación del petróleo crudo. Consiste de hidrocarburos con un número de carbonos predominantemente en el rango C₉ a C₁₆, y una temperatura de ebullición entre 150°C y 290°C.

Propiedades físico Químicas:

- *Temperatura de ebullición:* 198 °C
- *Gravedad Específica:* 0,84
- *Densidad del Vapor (aire=1):* >1
- *Apariencia:* Líquido incoloro con tendencia amarillenta y color característico.
- *Solubilidad en Agua:* Insoluble.
- *Presión de Vapor:* No pertinente.

Efectos a la Salud:

Ojos: Esta sustancia no suele causar irritación ocular prolongada o significativa.

Piel:

Es un irritante moderado de la piel, de manera que el contacto con la piel puede ocasionar irritación prolongada (días) en el área afectada. El grado de la afección dependerá de la cantidad de material que entra en contacto con la piel y la rapidez y agresividad del tratamiento. De ser absorbido a través de la piel, esta sustancia es considerada como prácticamente no tóxica para los órganos internos.

Inhalación:

Concentraciones elevadas pueden ocasionar dolores de cabeza y náuseas, confusión, convulsiones, adormecimiento y coma en casos severos. Los productos de su combustión

(monóxido y bióxido de carbono) pueden provocar dolores de cabeza, náuseas, vómitos, confusión y aumento del ritmo cardíaco. Elevadas concentraciones de estos productos pueden originar daños al corazón y cerebro, pérdida de la conciencia, o la muerte.

Ingesta:

Puede causar náuseas, vómitos y en casos severos adormecimiento progresivo al coma, edema pulmonar hemorrágico, consecuencias renales y la muerte.

Prevención:

Usar anteojos protectores, guantes resistentes fabricados con nitrilo, filtros respiratorios del tipo absorbente y máscaras de oxígeno en áreas confinadas como contenedores. En todas las formas de exposición, debe buscarse atención médica inmediata. Los ojos deben ser lavados con grandes cantidades de agua fresca durante al menos 15 minutos. Las áreas de la piel que sean contaminadas deben ser lavadas con abundante agua y jabón, y deben aplicarse cremas humectantes para prevenir la resequedad de la piel. Los ropajes contaminados deben ser retirados. En caso de inhalación debe trasladarse al afectado a un área muy bien ventilada, y en casos extremos debe suministrársele oxígeno.

Seguridad Contra Incendios:

Los límites de inflamabilidad (% en el aire) están de 0,6 a 4,7. Al presentarse la combustión se generan Monóxido y bióxido de carbono los cuales pueden provocar

asfixia. Se recomiendan extintores de dióxido de carbono, espuma química seca. El agua puede resultar inefectiva.

[18]

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

II.1 GENERALIDADES

En este capítulo se resume la información técnica referente a los diversos y más significativos equipos que operan dentro de la planta portátil.

II.2 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

II.2.1 BOMBA PARA EL TANQUE DE ANSOL (BOMBA DE IMPULSOR FLEXIBLE)

II.2.1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El accionamiento de los álabes del impulsor se controla, en parte, con una leva o excéntrica dentro de la carcasa, entre los orificios de entrada y descarga y mediante el espesor, material y configuración de los alabes. Cada álabe empieza a flexionarse conforme sube por la excéntrica en el centro del orificio de descarga y se extiende a toda su longitud cuando se separa de la excéntrica después de pasar por el orificio de entrada. El aumento en volumen entre dos álabes contiguos en el orificio de entrada, produce un vacío que hace que el líquido circule hacia ese espacio más grande. La reducción volumétrica en el orificio de descarga, a su vez, obliga al líquido a salir al tubo de descarga. En la figura 2.1 puede detallarse el proceso de bombeo, y en la figura 2.2 una bomba de álabes flexibles tal y como se encuentra en las instalaciones.

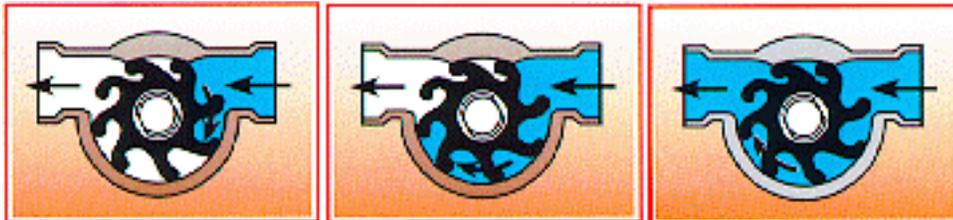


Fig. 2.1. Principio de funcionamiento de una bomba de álabes flexibles

II.2.1.2 APLICABILIDAD Y LIMITACIONES

Las bombas de impulsor flexible manejan muchos líquidos industriales, desde los ligeramente corrosivos hasta los muy ácidos o alcalinos y también los corrosivos que contienen sólidos suspendidos y aire arrastrado, líquidos con la viscosidad del agua y aquellos tan viscosos que se necesita vibrar el recipiente para hacer que fluyan.

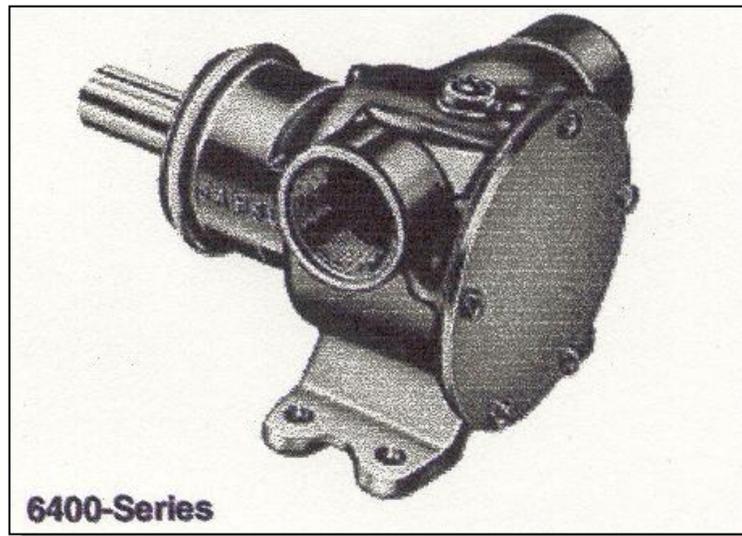


Fig. 2.2. Bomba de Álabes Flexibles

A diferencia de la mayor parte de las bombas rotatorias de desplazamiento positivo, las de impulsor flexible manejan líquidos con viscosidad menor de 50 SSU sin una pérdida apreciable de vacío. Esto es porque los álabes del impulsor siempre están en contacto con las superficies internas de la carcasa. Por contraste, en las bombas con elementos rotatorios rígidos se requiere

cierta holgura entre los rotores y las superficies de la carcasa.

Estas bombas se emplean para galvanoplastia, plantas textiles, descarga y tratamiento de aguas negras, limpieza de metales, desincrustación de tubos de intercambiadores de calor, producción de fertilizantes, bombeo de licores amoniacaes y para materiales químicos para fotografía.

En la selección y aplicación de estas bombas se deben tener en cuenta las limitaciones en la presión. La creciente flexión de los alabes cuando aumenta la presión, limita la presión máxima contra la cual puede trabajar la bomba. Aunque la flexión de los alabes permite el desahogo automático de la presión excesiva, limita a estas bombas a presiones en la tubería de unos 60 psi. Este tipo de bomba se suele seleccionar para aplicaciones con presiones bajas, menores a 30 psi (70 pies de agua).

Por su diseño, también se requiere el reemplazo periódico del impulsor de álabes flexibles, pues hacen contacto continuo con las superficies internas de la cámara de bombeo y se flexionan todo el tiempo contra una excéntrica o leva en la cámara. Esto va desgastando a los álabes con el tiempo.

Se aumenta la duración del impulsor cuando la bomba funciona a la mínima velocidad recomendada, pues la baja

velocidad reduce el calor generado por fricción en los álabes.

También se aumenta la duración del impulsor cuando los tubos son del tamaño para manejar líquidos viscosos y si los álabes se lubrican con el líquido que se bombea. Si se deje funcionar la bomba en seco, aunque sea unos pocos minutos, se reducirá mucho la duración de los álabes.

La falta de contacto de metal con metal o entre superficies duras, y el empleo de placas de desgaste, levas y placas de tapa de acero inoxidable permiten que la bomba de impulsor flexible maneje abrasivos sin dificultad. Los álabes sufren deformación elástica y absorben la acción cortante de las partículas grandes y de los abrasivos finos como lo son los polvos metálicos. Entonces el desgaste ocurre con más lentitud que en otras bombas rotatorias de desplazamiento positivo. La bomba de impulsor flexible no se dañará con facilidad si entran a la tubería, por accidente, una tuerca o un tornillo pequeños. Sin embargo, aunque el impulsor esté muy dañado y sea necesario reemplazarlo, seguirá funcionando con eficiencia durante un tiempo considerable, con sólo una pequeña disminución en el funcionamiento.

II.2.1.3 AUTOCEBADO

La flexión y enderezamiento constantes de los álabes del impulsor produce un vacío intenso para tener autocebado instantáneo. Por ello, no es necesario instalar válvulas de retención para detener el líquido en los tubos de succión y descarga. En las bombas centrífugas y de engranajes se utilizan a menudo válvulas especiales de ese tipo para tener una respuesta rápida de la bomba. Por el contrario, una bomba autocebante que no requiere válvulas, tiene menos sitios en donde pueda haber fugas, lo cual es una gran ventaja cuando se manejan líquidos muy corrosivos o costosos.

II.2.1.4 PRESIÓN Y FLUJO

La carga total (presiones de succión y descarga combinadas) contra la cual trabaja la bomba cambiará según las variaciones en la viscosidad del líquido. Cuando aumenta la viscosidad hay que disminuir la velocidad de la bomba para reducir la presión ocasionada por las pérdidas por fricción en las tuberías. En otra forma, la bomba tratará de entregar líquido con más rapidez de lo que pueden manejar los tubos de descarga. La contrapresión que se producirá alterará el rendimiento y se puede dañar la bomba o el producto. Si la contrapresión es un tanto alta, se puede interrumpir el flujo. Para presiones mayores de 30 psi, la bomba debe tener álabes de impulsor gruesos. Sin embargo, los álabes gruesos, aunque se flexionan menos con una presión dada,

pueden sufrir esfuerzos más grandes cuando se flexionan debajo de la leva. Para minimizar los esfuerzos y el desgaste abrasivo, se recomiendan impulsores para alta presión en bombas que funcionan a menos de 1160 rpm.

En teoría, con cada revolución del impulsor el volumen del líquido desplazado es equivalente a un anillo cuyo volumen se determina por el espesor de la leva y la longitud del impulsor. Si se disminuye el espesor de la leva se reducen menos el flujo y la presión con una velocidad dada. La leva estándar permite el máximo flujo posible con el impulsor estándar para alta presión. En la figura 2.3, se observan las partes de esta clase de bombas, y puede detallarse la leva antes mencionada.

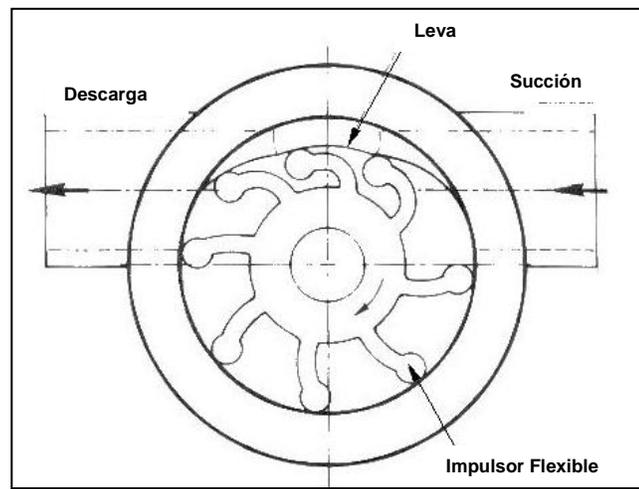


Fig. 2.3. Partes de la Bomba de Impulsor Flexible

II.2.1.5 SELECCIÓN DE LA VELOCIDAD.

La velocidad del impulsor debe concordar con la viscosidad del líquido. Una línea típica de bombas de impulsor flexible ofrece velocidades que van desde unas cuantas hasta 5000 rpm. Cuanto mayor sea el diámetro del impulsor, menor debe ser la velocidad recomendada para mantener un flujo suave. Además, con líquidos muy viscosos se debe trabajar con bajas velocidades, y con líquidos poco viscosos, como el agua, se necesitan velocidades más altas. Para los líquidos muy viscosos, se debe seleccionar un impulsor que resista la flexión excesiva a presiones altas. En la figura 2.4, se grafica la viscosidad versus las rpm, datos necesarios para seleccionar la velocidad de la bomba.

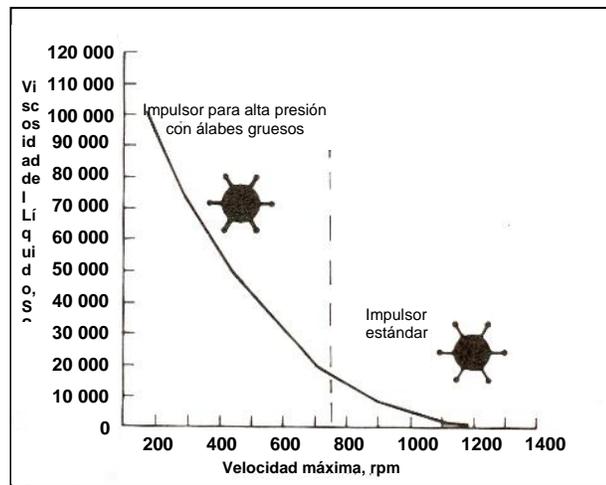


Fig. 2.4. Relación entre el espesor de los álabes, la viscosidad y las rpm

II.2.1.6 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

- **Carcasas:** Las carcasas de las bombas con impulsor flexible se construyen con cuatro materiales básicos: acero inoxidable, bronce, hierro fundido y plásticos reforzados. Se utilizan resinas termoendurecibles. Las resinas epoxi y fenólicas, reforzadas con fibra de vidrio y moldeadas por compresión, ofrecen muy buenas propiedades mecánicas, con resistencia a la corrosión igual o superior a la del acero inoxidable.

Las carcasas de acero inoxidable y de bronce tienen límites de temperatura mucho más altos que los de los sellos y el impulsor. Las fenólicas reforzadas sirven para conducir líquidos hasta 180°F; las resinas epóxicas reforzadas son para 200°F o más; el factor determinante es el límite de 180°F para el impulsor. Cuando el líquido que se maneja es ligeramente abrasivo, se prefiere la carcasa metálica en vez de una de plástico. Para mover abrasivos finos en suspensión, se recomiendan el hierro fundido o el acero inoxidable.

- **Impulsores.** Los impulsores se moldean con elastómeros elásticos. El Neopreno, que es apto para temperaturas de 45 a 180°F, es el recomendado para casi todas las aplicaciones. Aunque el caucho de nitrilo no es adecuado, suele ser el que se selecciona; es útil para temperaturas de 50 a 180°F y es más adecuado que el Neopreno para algunos aceites, emulsiones de aceites y ciertos productos químicos.

También se pueden adquirir algunos elastómeros especiales. Por ejemplo, los fluoroelastómeros son excelentes para manejar ciertos productos químicos corrosivos, combustible diesel y disolventes; son útiles para temperaturas de 60 a 180°F, pero tienen capacidad limitada de autocebado. Solo se recomiendan para presiones hasta de 15 psi en servicio continuo. El poliuretano es útil para líquidos como los disolventes para limpieza y pegamentos colorados, entre 45 y 120°F. El caucho natural se utiliza a menudo para algunos líquidos como agua salada fría, a temperaturas desde 27 hasta 120°F.

- **Levas y ejes.** La leva o excéntrica contra la cual se flexiona el impulsor puede ser de plástico o del mismo material que la carcasa de la bomba.

Los ejes (árboles) del impulsor suelen ser de un metal que puede ser el mismo que el de la carcasa. En algunas aplicaciones especiales se requieren metales raros para el eje, como las aleaciones de titanio o la Hastelloy B. Además, un eje metálico puede tener una camisa de plástico para mover el impulsor en las bombas de plástico en aplicaciones en que no debe haber contacto del líquido con un metal.

- **Sellos y Transmisiones.** Se utilizan tres tipos de sellos mecánicos en el eje de una bomba para evitar las fugas en la zona del impulsor. Los sellos de cara

rotatoria son los de mayor resistencia a la corrosión y a los líquidos poco abrasivos; por lo general, se seleccionan para bombas de alta velocidad. Los materiales típicos de los sellos de cara rotatoria, como son el carbón o la cerámica se utilizan también con sellos anulares ("O" ring) y juntas de asientos de sello hechos de fluoroelastómeros. Los sellos del tipo *de pestaña* de caucho de nitrilo o de fluoroelastómero se emplean para líquidos pegajosos y muy viscosos, porque no se ablandan ni se ponen pegajosos. El tercer tipo son los *materiales para empaquetaduras*, como los anillos preformados de alta calidad, impregnados con grafito. Las empaquetaduras, por lo general, se seleccionan porque ofrecen bajo costo, larga duración y facilidad de servicio. [10]

II.2.2 BOMBA PARA LA FASE ACEITE O STIR-POT (BOMBA DE ENGRANAJES)

Las bombas de engranajes se han situado en el mercado como una de las bombas de desplazamiento positivo más comúnmente manufacturadas debido a su sencillo diseño y posibilidades de producción económica. Es ampliamente usada en sistemas hidráulicos así como en procesos de transporte en las industrias química, petroquímica, farmacéutica y de procesamiento de bitumen.

II.2.2.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN

Dos o más engranajes acoplados giran en una carcasa encapsulante; durante este proceso se transfiere potencia de un engranaje al otro. Esto crea un sello excepcionalmente bueno entre los extremos de succión y descarga, en el punto de sellamiento entre el bloque y los perfiles de los dientes adyacentes. En los puntos de sellado de operación entre las cabezas de los dientes y la carcasa se obtiene una reducción de la presión, lo que permite que las bombas de engranajes tengan una buena eficiencia volumétrica. La condición necesaria para ello es que la velocidad sea la adecuada a la viscosidad del fluido, y evitar así la cavitación en la cámara de trabajo. Las aberturas creadas al girar los engranajes en la carcasa son llenadas con el fluido de trabajo dada la presión atmosférica o del sistema que actúa sobre el mismo. A medida que la rotación aumenta, el fluido es transportado en la dirección circunferencial y luego presionado en la cámara de presión a medida que el diente siguiente entra en la abertura dejada por el anterior. En la figura 2.5 se ilustra en tres pasos sucesivos el flujo a través de la bomba.

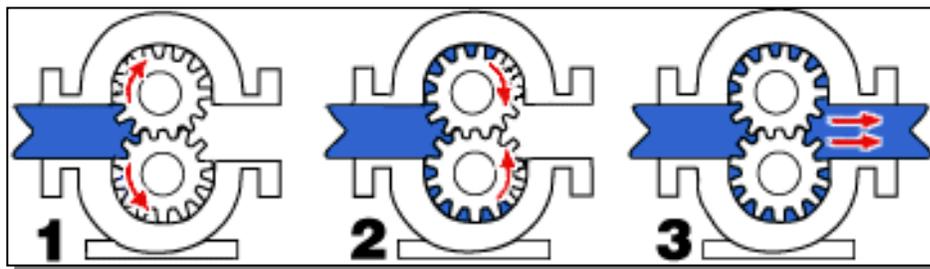


Fig. 2.5. Principio de operación de las Bomba de Engranajes

Al rotar los engranes en la dirección de la transición desde la succión hasta la descarga, se forma una cámara entre los dientes de los mismos, y el contenido existente en ella es reducido al mínimo. En orden a prevenir que el fluido residual en esta cámara sea excesivamente comprimido -acarreado sobrepresiones dañinas para la bomba- deben tomarse medidas para que el fluido "aplastado" sea guiado hacia la cámara de presión de la bomba.

Esto se logra mediante cortes especiales en la pared de la carcasa opuesta a las caras de los engranajes. Estos cortes no deben extenderse hasta la cámara de presión, ya que generarían un cortocircuito interno que reducirá la capacidad de succión de la bomba. Este proceso de aplastamiento está acompañado de una pérdida de energía. La precisión en la fabricación de los engranajes, cuya superficie debe ser endurecida tanto como sea posible, es una medida de la eficiencia de la bomba, y debe asegurar que el factor de relación de contacto de los dientes sea mayor que 1. Las holguras axiales y radiales entre la carcasa y los engranajes deben ser mantenida en un mínimo, particularmente en bombas que sean empleadas en el transporte de fluidos de baja viscosidad, a fin de obtener buenas eficiencias volumétricas. Se debe tener cuidado en la consideración de las expansiones térmicas y las deflexiones debidas a las cargas en los engranajes. En el caso de fluidos de alta viscosidad, son permisibles holguras mayores, y a

pesar de que disminuyen la eficiencia volumétrica, reducen la fricción lateral con las paredes de la carcasa. El bajo grado de holgura en el interior de la bomba y la transmisión de potencia de los engranajes hacen que estas bombas no sean adecuadas en fluidos con sólidos e inclusiones abrasivas. Sólo deben ser usadas en el transporte de fluidos que tengan cierto efecto lubricante y estén libres de componentes duros o sólidos. Si son empleadas para fluidos particularmente viscosos, las bombas son equipadas con una camisa de calentamiento en orden a reducir la viscosidad en el interior de las mismas.

II.2.2.2 VENTAJAS, DESVENTAJAS Y APLICACIONES

Las bombas de engranajes son altamente recomendables ya que soportan altas velocidades de operación, generan un nivel de presión mediano, no tiene cargas excesivas en los cojinetes ya que los ejes no están en voladizo, y su operación es muy poco ruidosa. Entre sus desventajas puede mencionarse que tiene cuatro puntos de apoyo sumergidos en el líquido de trabajo, no es buena en operación con sólidos y las holguras son fijas y muy cerradas.

Las aplicaciones de este tipo de bombas son muy variadas. Entre ellas podemos mencionar el transporte de lubricante en motores de combustión interna, transporte de combustible, mezcla de componentes en instalaciones multietapa, aplicaciones hidráulicas, transferencias de

volumen reducido, y operación liviana a semipesada. [25], [10]

II.2.3 BOMBA PARA LA EMULSION MATRIZ (BOMBA DE CAVIDAD PROGRESIVA)

II.2.3.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN

La bomba de cavidad progresiva consiste de un impulsor helicoidal roscado externamente (rotor) que rota excéntricamente dentro de una cámara helicoidal, doblemente roscada en su interior (estator) de igual diámetro o menor, y doble de paso longitudinal. El conjunto formado por el rotor y el estator forma una serie de cavidades selladas, separadas a 180° , que progresan desde la succión hasta la descarga de la bomba a medida que el rotor helicoidal gira dentro del estator. Mientras que una cavidad se va cerrando, la cavidad opuesta se va abriendo en igual medida, lo que mantiene el fluido en movimiento a un caudal fijo que es directamente proporcional a la velocidad de rotación, resultando en un flujo de desplazamiento positivo no pulsante.

La figura 2.6 muestra los pasos sucesivos del flujo a través de la bomba.

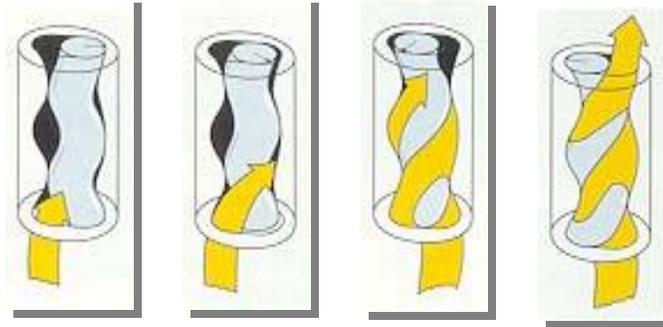


Fig. 2.6. Principio de funcionamiento de la bomba de cavidad progresiva

El área de sección total de las cavidades permanece constante sin importar la posición del rotor dentro del estator, como se muestra en la figura 2.7.

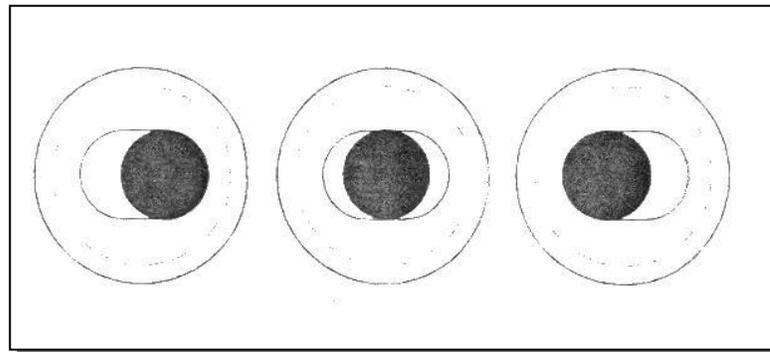


Fig. 2.7. El área transversal de las cavidades permanece constante

El desplazamiento de la bomba de Cavidad Progresiva además de ser función de la velocidad de rotación, es directamente proporcional a tres constantes: el diámetro seccional del rotor, su excentricidad (o radio del helicoide), y el paso del helicoide del estator. El desplazamiento por revolución puede variar con el área de

la cavidad. En la figura 2.8 se observan varios rotores con diferentes desplazamientos



Fig. 2.8. Rodetes de bomba de cavidad progresiva

La capacidad de presión en una bomba de Cavidad Progresiva es una función del número de veces que las líneas de sello que se forman entre rotor y estator son repetidas o el número de etapas de la bomba. Normalmente, cada etapa se diseña para ser de 1,1 a 1,5 veces el paso longitudinal del estator. Esto asegura un sello adecuado entre el rotor y el estator como se muestra en la figura 2.9.

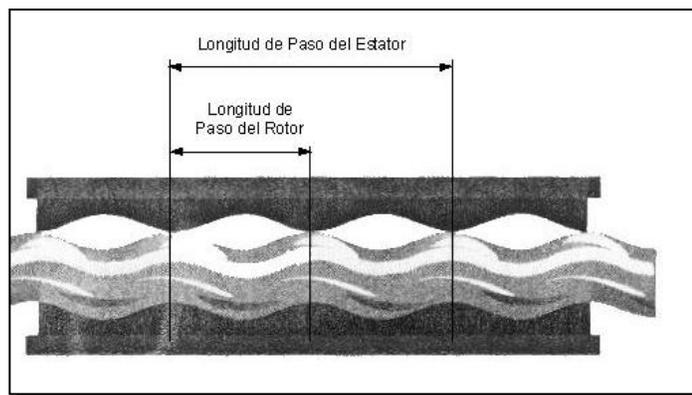


Fig. 2.9. Sello entre rotor y estator

A mayor cantidad de líneas de sello o etapas tenga una bomba de Cavidad Progresiva, se incrementará la capacidad de presión, permitiendo que una bomba opere en una fosa más profunda.

A medida que la presión se incrementa para un número dado de etapas y revoluciones, la tasa de flujo disminuirá. Esta reducción es llamada deslizamiento o "*slip*".

Toda bomba de cavidad progresiva experimenta deslizamiento entre los extremos de succión y descarga, y su intensidad es determinada por la presión y es independiente de las revoluciones del rotor.

Tres factores que afectarán la intensidad del deslizamiento además de la presión son: el número de líneas de sello o etapas, la viscosidad del fluido a bombear, y la compresión entre el rotor y el estator.

La bomba de cavidad progresiva ofrece uno de los métodos de bombeo artificial más eficientes. La mayoría de las bombas de este tipo tienen una eficiencia mayor que otros sistemas en aplicaciones similares. Un sistema típico de bomba de Cavidad Progresiva tiene una eficiencia del 70%-98%, mientras que otros sistemas operan entre 40% y 60%.

Uno de los grandes beneficios de la bomba de CP es que en los casos de los constructores con más experiencia

se puede alcanzar prácticamente cualquier eficiencia con solo cambiar el ajuste entre rotor y estator.

La eficiencia de las bombas de Cavidad Progresiva es mayor a velocidades elevadas. Aún así, el operador debe considerar el hecho de que a mayores velocidades se incrementa el desgaste no sólo en el rotor y estator sino también en la admisión y líneas de tuberías. Es mejor sacrificar un poco de eficiencia operando a velocidades menores para obtener un período de vida más largo y reducir el desgaste en todo el sistema.

Cuando es posible, se sugiere instalar una bomba ligeramente sobredimensionada para llegar a los niveles de producción deseados operando a velocidades menores. En la figura 2.10 se observa una bomba de cavidad progresiva como la de la instalación.



Fig. 2.10. Bomba de Cavidad progresiva

II.2.3.2 VENTAJAS Y APLICACIONES

Las bombas de cavidad progresiva tienen varias ventajas que las hacen las más idóneas para ciertos tipos de operación. Entre ellas puede mencionarse que tienen elevadas eficiencias volumétricas, emplean motores pequeños y pocas partes móviles que reducen los costos de operación y mantenimiento. Sus aplicaciones pueden resumirse en el siguiente cuadro: [12], [17]

INDUSTRIAS	APLICACIONES			FLUIDOS		
Municipal/ Industrial	Servicio de transferencia	Polímeros Alimentación Achique Sludge Transferencia	Química Alimentación	Efluentes con y sin sólidos, Leche o cal	Alcantarillado General, Slurry,	Químicos protectores
Industrial	Centrifugadoras Carga, Transferencia y filtrado	Carga y descarga de hornos, Medición, carga y descarga de tanques	Vaciado de fosas, Scrubbers	Ácidos. Adhesivos, Soda Cáustica, Celulosa, Cemento Slurry	Tintes, licores, enharinados, pastas, Tinta	tintes, Slurry de carbón o desechos
Química	Procesos de transferencia	Carga, descarga, medición	Colecta	Ácidos, Adhesivos, Colores, Cosméticos, Detergentes	Pegamento, Lacas, Aceites, Lavado de manos	Cremas, Pinturas, ceras, shampoos
Procesamiento y producción de alimentos	Procesos de Transferencia	Carga/Descarga Medición	Colecta	Bebidas alcohólicas, Puré de Manzana, Compotas, Cerveza, masa de galletas, pulpa de frutas	Queso Crema, Aceite comestible, Huevos, grasas crudas, Residuos de pescado, Pulpa de moras, miel, helado	Extractos de carne, leche, mostaza, pasta de tomate, vino, aceite vegetal, levadura
Procesos y producción petroquímica	Carga/Descarga	Carga/Descarga	Medición	Crudo	Residuos en tanques de petróleo, petróleo procesado.	Desechos

Tabla 2.1 Aplicaciones de las Bombas de Cavidad Progresiva

II.2.4 ROTÁMETROS

Los rotámetros son medidores de caudal de área variable en los cuales un flotador cambia su posición dentro de un tubo, proporcionalmente al flujo del fluido.

Los tubos empleados en los rotámetros pueden ser de vidrio y metálicos. Los fabricantes los mecanizan de tal modo que queda asegurada la intercambiabilidad de los diversos tubos y flotadores a fin de obtener caudales correspondientes sin necesidad de calibrar individualmente cada rotámetro.

Los tubos de vidrio pueden ser con nervios interiores que sirven para guiar el flotador o bien lisos. Los tubos metálicos son siempre cónico lisos y precisan de extensión por no tener una lectura directa. Los tubos tienen una conicidad que viene expresada como relación entre el diámetro interno del tubo en la escala máxima y el diámetro de la cabeza del flotador. Esta relación varía entre 1,20 a 1,35. En la figura 2.11 se detallan las partes de los rotámetros. [4]

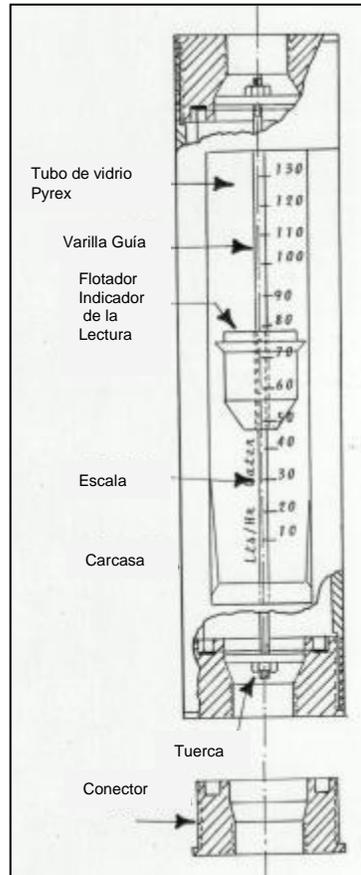


Fig. 2.11. Partes de un rotámetro

Los flotadores pueden tener varios perfiles de construcción. A continuación se señalan los más utilizados:

- Esférico para bajos caudales y poca precisión, con una influencia considerable de la viscosidad del fluido.
- Cilíndrico con borde plano para caudales medios y elevados con una influencia media de la viscosidad del fluido.
- Cilíndrico, con borde saliente, de cara inclinada contra el flujo con menor influencia de la viscosidad

que, por sus características de caudal, puede compararse a una tobera.

- Cilíndrico, con bordes salientes contra el flujo y con la mínima influencia de la viscosidad del fluido, que por su funcionamiento, puede compararse a una placa-orificio o diafragma.

El material mas empleado en los flotadores es el acero inoxidable 316 si bien, para satisfacer la gran variedad de requerimientos de resistencia a la corrosión que se presenta en la industria se utilizan también otros metales. Se utilizan también flotadores de plástico, si bien se prefieren los metálicos por su mayor facilidad de mecanización del borde superior.

Las escalas de los rotámetros están grabadas en una escala de latón o de aluminio montada a lo largo del tubo y situada en coincidencia con la línea de cero del tubo o bien directamente en el tubo de vidrio. La escala puede estar graduada en unidades directas del caudal (referido siempre a unas condiciones de servicio dadas) o bien en porcentaje de 10% a 100% de la escala total. En este último caso, se añade un factor de multiplicación a todas las lecturas para convertir a unidades de caudal en volumen o peso del fluido. Otra forma de graduar la escala es en mm acompañando con una curva de calibración caudal vs lectura para determinar el caudal del fluido. La curva de calibración se emplea en rotámetros de pequeña capacidad en los cuales el caudal no es lineal dentro del intervalo del campo de medida 10 a 1.

La pérdida de carga del rotámetro es constante en todo el recorrido del flotador y puede hacerse muy baja mediante una forma adecuada de éste.

Según la aplicación, los rotámetros se dividen en rotámetros de purga, de indicación directa para usos generales y armados con indicación magnética y transmisión neumática y electrónica.

Los rotámetros de purga se utilizan para caudales muy pequeños. Algunas de sus aplicaciones típicas son la purga hidráulica de los sellos mecánicos de las bombas generales de la planta, la medición del nivel por burbujeo, la purga de elementos de presión diferencial para la medida de caudal evitando la obturación de las tuberías y la purga de instrumentos que trabajan en atmósferas corrosivas o polvorientas.

Los rotámetros de vidrio de indicación directa pueden adoptar varias disposiciones: llevar placas laterales, estar cerrados con cuatro placas con ventana de cristal para ver el tubo; disponer de armadura de seguridad o blindada de cierre estanco para evitar que en caso de rotura del tubo el gas o el líquido interiores puedan dañar al operador; disponer de armadura anti-hielo con gel de sílice para evitar la presencia de humedad en el espacio entre la armadura y el tubo que podría impedir la visibilidad del flotador.

Los rotámetros armados incorporan un tubo metálico que no permite la lectura directa del caudal, por lo cual precisan pues de indicación o de transmisión.

Los rotámetros se emplean asimismo conectados a las tomas de una placa-orificio o diafragma, es decir, como rotámetros by-pass. En esta aplicación, en lugar de medirse la presión diferencial se mide el caudal del fluido que circula de la toma de alta presión, a la baja, debido a la presión diferencial creada por la placa. El rotámetro determina un caudal proporcionalmente lineal al caudal principal de paso por la tubería gracias a un segundo orificio calibrado situado en la tubería de by-pass. Este orificio esta calibrado de tal forma que el flotador marca el 100% de la escala cuando el caudal que pasa a través de la placa-orificio en la tubería principal llega al 100% con la presión diferencial máxima de cálculo.

Como el rotámetro en by-pass mide caudal y no presión diferencial (utilizándose solo la presión diferencial creada por la placa-orificio en la tubería principal como una bomba hidráulica que crea un caudal derivado del principal) la escala de medida es lineal y no de raíz cuadrada como seria de suponer siendo el elemento de medida un diafragma.

El intervalo de medida de los rotámetros es usualmente de 1 a 10 (relación entre el caudal mínimo y el máximo) con una escala lineal. Su precisión es del

orden de 2% de toda la escala cuando están sin calibrar y de 1% con calibración. Los rotámetros son adecuados para la medida de pequeños caudales llegando a límites mínimos de $0,1\text{cm}^3/\text{min}$ en agua y de $1\text{cm}^3/\text{min}$ en aire. El valor máximo que pueden alcanzar es de $3,5\text{m}^3/\text{min}$ en agua y $30\text{m}^3/\text{min}$ en aire. Pueden utilizarse en la medida de mayores caudales montándose como rotámetros by-pass en la tubería.

II.2.5 CALENTADORES ELÉCTRICOS DE INMERSIÓN

Los calentadores de inmersión tipo 'flange' o bridados consisten de varios elementos tubulares acodados o arqueados soldados a una brida y provistos con el cableado necesario para las conexiones eléctricas. Este tipo de calentador es instalado apernándolo a otra brida soldada a la pared del tanque.

Un amplio rango de selección de tamaños de las bridas, las tasas de calor de transmisión, voltajes, cajas de bornes y materiales de revestimiento hacen que estos calentadores sean ideales para todo tipo de aplicaciones en calentamiento.

Los calentadores de inmersión bridados son uno de los métodos para calentamiento mayormente usados cuando se trata de agua, aceite y soluciones corrosivas. Diseñados para emplearse en tanques presurizados o no, son fáciles de instalar y mantener para proveer de calor

a diversos procesos. El método de inmersión directa es térmicamente eficiente y es fácilmente monitoreado y controlado.

Este tipo de calentador utiliza bridas que van desde 3 pulgadas a 14 pulgadas de diámetro para soportar altas presiones, líquidos y gases comprimidos. Además son instalados a través de un par de bridas disponibles en el mercado. Los elementos tubulares pueden ser de cobre, acero al carbón y aceros inoxidable; asimismo, la brida puede ser de aceros al carbón y aceros inoxidable mayormente. Las tasas de calor de transmisión que este tipo de calentador proveen van desde 18 kW hasta más de 500 kW, según sea la aplicación. En la figura 2.12 se muestra detalle típico de este equipo. [2]



Fig. 2.12. Calentador eléctrico de inmersión

II.2.6 AGITADORES

Un estudio del proceso de agitación sugiere tomar en cuenta muchas consideraciones básicas. La primera es el efecto del recipiente o tanque en el proceso de mezclado; la geometría del recipiente, dimensiones y la estructura pueden llevar a la selección del agitador y su actuación en el proceso. Con frecuencia, los recipientes para planta existentes no se adecuan o corresponden con una situación específica porque algunos procesos de agitación son mejor perfeccionados en recipientes de cierta forma y tamaño específicos. La próxima consideración es el impulsor a ser empleado en un proceso dado. Hoy en día los impulsores son hechos normalmente bajo series homólogas y similarmente geométricas. Hay básicamente dos tipos de patrón de flujo que pueden ser desarrollados por los impulsores: flujo axial y flujo radial.

Los impulsores de flujo radial descargan fluido hacia la pared del recipiente en una dirección radial u horizontal. Si son provistos deflectores, un impulsor radial producirá fuertes corrientes en la dirección tope-fondo. Si lo anterior no ocurre se pueden desarrollar vórtices y remolinos.

Un impulsor axial normalmente produce flujo paralelo al eje del impulsor. Estos impulsores por lo general producen mas flujo por HP que el radial. Son generalmente usados en aplicaciones de flujo controlado; y al igual que en los impulsores radiales, en un recipiente sin

deflectores se pueden desarrollar remolinos y vórtices. Dos de los impulsores axiales mas usados son el tipo marino (propela) y el tipo turbina los cuales se muestra en la figura 2.13.



Fig. 2.13. Agitadores: tipo propela y tipo turbina

Básicamente, los elementos de diseño de un agitador son: el proceso de diseño, características de potencia del impulsor y el diseño mecánico.

El diseño del proceso incluye consideraciones de mecánica de fluidos referidas al impulsor (tipo y cantidad de flujo, carga o cizallamiento producido), el régimen de fluido requerido y el comportamiento en diferentes recipientes.

Las características de potencia del impulsor se refieren a los efectos de las propiedades del fluido,

diámetro del impulsor, velocidad y la geometría al consumo de potencia.

En el diseño mecánico, se consideran los principales elementos de diseño incluyendo el accionamiento, eje, impulsor, sistema de sello del eje y la máquina motriz. Una determinación de diseño, instalación y relaciones de costo para varias combinaciones de potencia, velocidad y diámetro deben incluir las tantas alternativas mecánicas que sean posibles. [14]

CAPÍTULO III

INSPECCIÓN Y PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES

III.1 GENERALIDADES

Este capítulo da a conocer el estado actual en que se encuentra la planta portátil de explosivos. Se realizó una inspección con el objeto de tener una primera aproximación de la situación operativa de la misma, se revisaron documentos operativos y se realizaron algunas mediciones.

También se plantean los problemas que presenta la instalación, se proponen soluciones y se construyen las matrices morfológicas para decidir la solución definitiva de cada situación.

III.2 INSPECCIÓN

El proceso de inspección consta de dos fases, la primera que comprende la inspección visual de la planta, y la segunda que comprende las mediciones necesarias para registrar el funcionamiento de la misma.

Debido a la creciente demanda de explosivos, en la mina Pasodiablo se instaló una Planta Fija para mayor producción de Emulsión, la cual sustituye a la planta móvil que se quiere repotenciar para ser utilizada en otras localidades. Las mediciones de las variables, no se pudieron realizar a cabalidad al momento de la inspección visual, pero se recolectaron los datos físicos de las instalaciones, diámetros y longitudes de las tuberías, distribución de equipos: bombas, calentadores, agitadores y tanques, además de recoger la data existente la cual fue recolectada por el grupo Orica-Merand en un período de 30 años de funcionamiento.

El propósito de esta inspección, es determinar el mayor número de factores que afectan negativamente la producción de la planta portátil. Para lograr esto se siguieron las siguientes pautas:

- Revisión de la documentación técnica de los equipos existentes en la planta.
- Revisión de la normativa vigente que regula el proceso productivo.
- Conocimiento del funcionamiento de la planta.

- Recolección de datos de operación de la planta: caudales, temperaturas, tiempos de calentamiento y tiempo de mezclado, a fin de determinar las etapas del proceso.

El esquema que se siguió en la inspección, obedece a la subdivisión de la planta según las diferentes actividades que se realizan:

- Sala de Generación.
- Sala de Procesos.
- Sala de Laboratorio y Control.

III.2.1 SALA DE GENERACIÓN

En esta sala se encuentra el generador Diesel. Su estado es aceptable, solo se requiere de un plan de mantenimiento correctivo para su reincorporación al proceso. Figuras 3.1, 3.2 y 3.3.



Fig. 3.1. Vista General del Generador



Fig. 3.2. Detalle del Motor Diesel



Fig. 3.3. Detalle del Control del Generador

III.2.2 SALA DE PROCESOS

La descripción se hará siguiendo el diagrama 3.1 del proceso. Primeramente, se encuentra el tanque principal o Tanque de ANSOL con una capacidad de 5000 l. En la figura 3.4 pueden observarse las resistencias calentadoras que suministran 18kW cada una, así como el agitador tipo propela, que gira a 400rpm. Las resistencias están en la parte inferior del tanque, atravesando la pared principal del mismo, sujetas

mediante bridas e instaladas a 90 grados una de otra, formando un cuadrado. Aquí se encuentran unos sellos o empaquetaduras para evitar fugas de líquido los cuales presentan fallas en su función sellante.



Fig. 3.4. Detalle del Interior del Tanque

En la parte superior del tanque, se encuentra un motor que gira a 1140rpm, y 10HP y a través de un sistema de transmisión por poleas acciona el agitador. El motor se encuentra a la intemperie, y la polea se encuentra encerrada bajo una cubierta adecuada. La disposición de estos elementos puede observarse en la figura 3.5.



Fig. 3.5. Detalle del Impulsor del Mezclador de ANSOL

Las paredes del tanque pintadas de color blanco, al igual que el resto de la planta están en buen estado considerando los materiales manipulados y el posible maltrato del personal operativo. En la figura 3.6 se observa un medidor de temperatura de la parte inferior del tanque.



Fig. 3.6. Termómetro del Tanque de ANSOL

Después se encuentra la bomba de ANSOL, es de desplazamiento positivo, de rotor flexible y está comunicada con el tanque de ANSOL por medio de una manguera de 1,55m y 1½" de diámetro. Dicha bomba opera a un caudal másico de 75kg/min girando a una velocidad constante de 1140rpm y a una potencia de 2HP. A la salida de la bomba, existe un sistema de recirculación y un rotámetro, que no tiene escala y sus niveles de operación se encuentran señalados con pintura blanca como se observa en la figura 3.7.

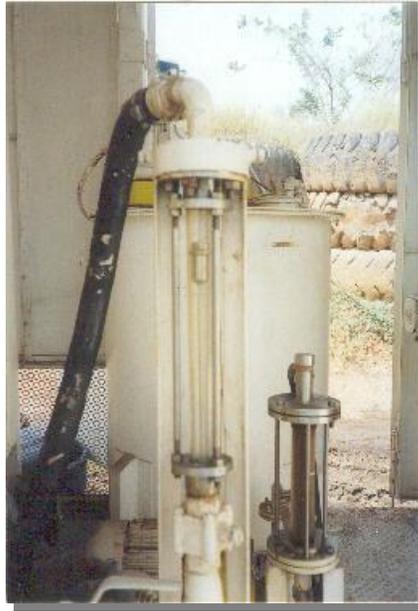


Fig. 3.7. Detalle de los Rotámetros

La descarga en la bomba es el mezclador (emulsificador) y se realiza a través de una manguera que tiene una longitud de 5m y un diámetro de 1½", que conecta la descarga de la bomba con el mezclador o emulsificador. En general las mangueras y tuberías están en buen estado, no presentan corrosión ni fibras abiertas; las bridas de acople rápido son de acero inoxidable y funcionan correctamente.

Paralelo a los equipos mencionados, se encuentra un tanque con una capacidad de 450 l, con un mezclador en su parte superior accionado por un motor eléctrico. Actualmente este sistema tanque-mezclador no está en funcionamiento debido a que el Stirpot o fase aceite se adquiere premezclado, por lo cual este sistema sólo funciona como reservorio. El tanque posee un vaso comunicante para indicar el nivel del mismo. El contenido

es bombeado por la bomba de engranajes o bomba de Stirpot, la cual opera con un caudal de 5kg/min, impulsada por un motor eléctrico de 2HP a 1140rpm. Tiene un arreglo de bypass análogo a la bomba de ANSOL. En la figura 3.8 puede detallarse la disposición de las bombas de ANSOL y Stirpot.



Fig. 3.8. Disposición de las Bombas de ANSOL y Stirpot

Estos dos sistemas descargan los fluidos en el mezclador o emulsificador, el cual es un tanque de aproximadamente 0,8m de alto y 0,2m de diámetro. En su interior gira un mezclador de propela a 1200rpm impulsado por un motor eléctrico que opera a 1750rpm y 7,5HP a través de una polea y correa convenientemente acopladas y cubiertas como se observa en la figura 3.9.



Fig. 3.9. Emulsificador

La descarga de este tanque está conectada a través de una manguera de 1m de longitud y 1½" de diámetro a una bomba de cavidad progresiva que opera a 80kg/min, la cual es el último equipo del proceso, y puede observarse en la figura 3.10.



Fig. 3.10. Bomba de Cavidad Progresiva

En su admisión, posee una pequeña tolva que tiene adosado un filtro que opera como colador. En las adyacencias de la tolva y el colador se observaron restos de Emulsión.

III.2.3 SALA DE LABORATORIO Y CONTROL

En esta zona, se encuentra un lavamanos de acero inoxidable con una conexión normal de grifería. Sobre éste se encuentra un gabinete de dos puertas de 0,9 m de ancho y 1 m de alto, en el interior del cual se encontraron vasos con muestras de la emulsión, manuales para efectuar pruebas químicas al producto y manuales de manejo de los insumos químicos involucrados. Frente a este gabinete se encuentra el panel de control, de 1 m de ancho y 1 m de alto. En su interior se encuentran los equipos principales de control de la planta, así como varios fusibles de repuesto para los interruptores de las resistencias. Al fondo de esta sala, se observa la parte trasera del tanque de ANSOL, y fue aquí donde se observaron dos sacos conteniendo Nitrato de Amonio en polvo. En la figura 3.11, puede observarse el lavamanos y los objetos dejados en él.



Fig. 3.11. Detalle del Lavamanos del Laboratorio

III.2.4 CONCLUSIONES DE LA INSPECCIÓN

Después de haberse llevado a cabo la inspección a la planta portátil de explosivos se llegó a la conclusión de que la instalación, a pesar de su largo período de funcionamiento, se encuentra en un estado de conservación aceptable.

Los equipos o maquinaria rotativa (bombas, motores) operan de manera idónea de acuerdo a sus especificaciones, exceptuando la bomba de ANSOL cuyo rodete debe ser reemplazado por uno nuevo. Los tanques se encuentran en óptimas condiciones al igual que las mangueras y tuberías de conexión.

Sin embargo, la instalación carece de higiene y de algunas medidas de seguridad como lo son, la correcta colocación de un extintor contra fuego, señalización de emergencia y falta de barandas en el techo, entre otras.

A continuación se presenta el diagrama de flujo del proceso original, con un cuadro-leyenda donde se listan las características de los equipos y las variables obtenidas de la inspección visual y de la recolección de data por la empresa. Diagrama 3.1

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS ORIGINAL

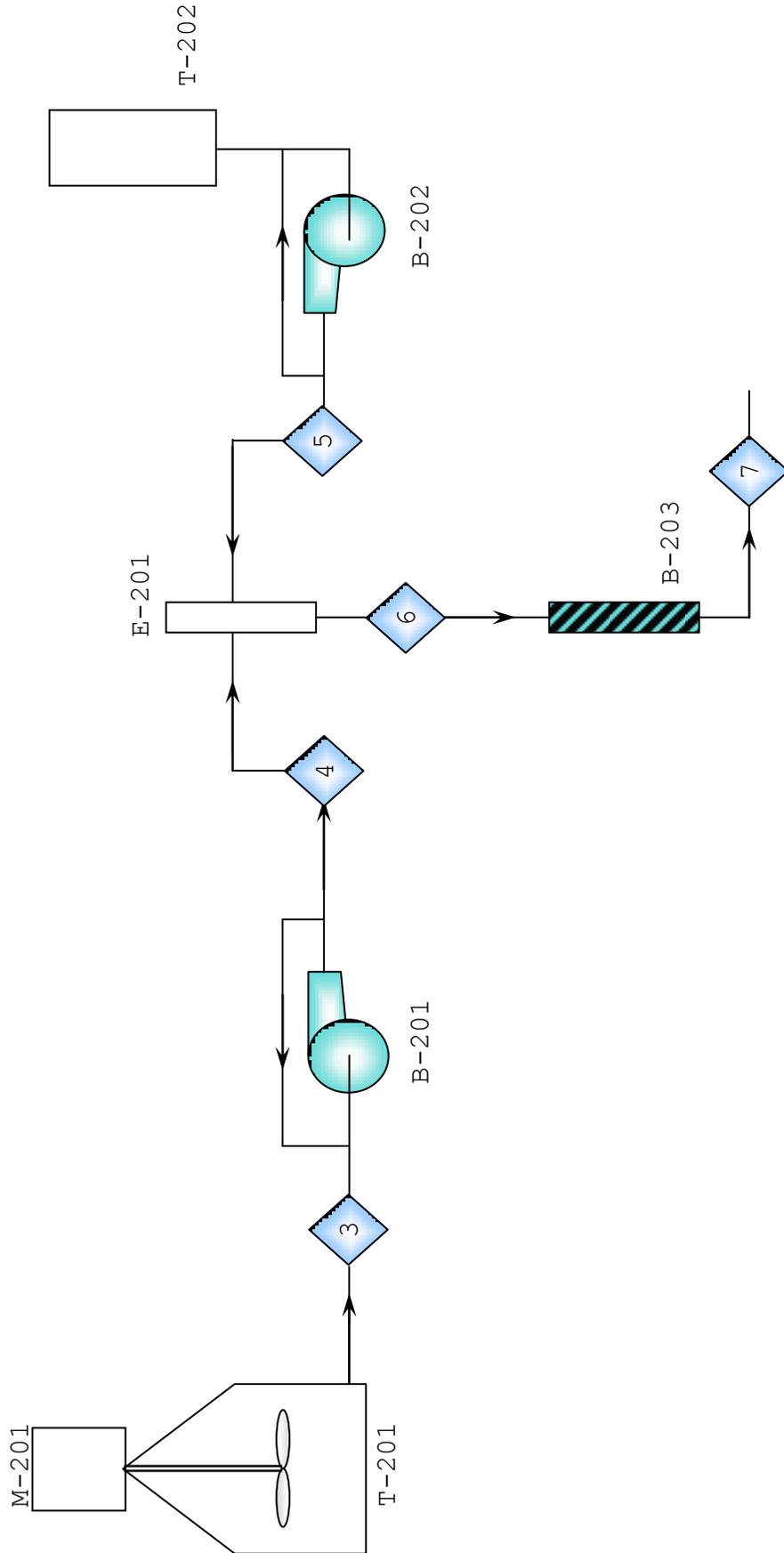
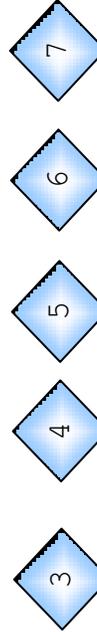


Diagrama 3.1. DFP Original

CUADRO DE EQUIPOS Y FLUJOS DE LA INSTALACIÓN ORIGINAL

TAG	DESCRIPCIÓN	FLUJO MÁSSICO [kg/min]	FLUJO VOLUMÉTRICO [L/s]	RPM	POTENCIA [hp]	CAPACIDAD [L]
M-201	Mezclador de propela	-	-	400	10	-
T-201	Tanque de ansol	-	-	-	-	5000
B-201	Bomba de impulsor flexibe	75	0.892	1140	2	-
E-201	Emulsificador	-	-	1200	7.5	-
T-202	Tanque de Stirpot	-	-	-	-	450
B-202	Bomba de engranajes externos	5	0.098	1140	2	-
B-203	Bomba de cavidad progresiva	80	0.988	200	7.5	-

Tabla 3.1 Equipos de la Instalación Oroginal



TEMPERATURA [°C]	85	85	30	85	85
DENSIDAD [g/cc]	1.38	1.38	0.85	1.35	1.35
VISCOSIDAD [cp]	2	2	14.45	Desconocido	Desconocido
FLUJO MÁSSICO [kg/min]	75	75	5	80	80
FLUJO VOLUMÉTRICO [L/s]	0.892	0.892	0.098	0.988	0.988

Tabla 3.2 Flujos de la Instalación Oroginal

III.3 PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES AL PROBLEMA PRODUCTIVO

A continuación se presentan los problema productivo de la planta y sus posibles soluciones:

- Estado actual de conservación de la planta
- Sistema de admisión del ANSOL a la planta
- Disminución del tiempo de calentamiento del ANSOL

III.3.1 ADMISIÓN DEL ANSOL A LA PLANTA

Para realizar la repotenciación de la planta, se trata de evaluar la forma más fácil y sencilla de aumentar la producción de la misma, como resultado de la inspección se concluye que: las bombas, mangueras, tuberías internas y otros, se encuentran en buen estado.

Por otro lado, el detallado estudio y análisis del sistema de admisión del ANSOL juega un papel imprescindible para el incremento en la producción de la planta. Y se demostrará, que es fundamental para la repotenciación.

En la admisión de la solución de Nitrato de Amonio, son presentadas dos alternativas, que más allá de verse independientes, pueden ser consideradas una como consecuencia de la otra; la primera, alternativa tradicional y la segunda, innovación tecnológica para ser empleada en caso de que la primera falle.

A continuación se explican ambas alternativas.

III.3.1.1 ALTERNATIVA 1: SISTEMA TRADICIONAL

Este ha sido el procedimiento que se ha empleado en la planta durante sus treinta años de funcionamiento: En el tanque son vertidos 17% en peso entre agua y ácido acético contra 83% en peso de Nitrato de Amonio en forma de pequeñas esferas de libre fluidez o prills. Este último viene previamente en sacos de 25kg y después de molido es transportado mediante un tornillo sinfín al tanque. Una vez lleno el tanque, se procede al mezclado continuo mediante un agitador tipo propela, y a su vez al calentamiento mediante resistencias eléctricas o calentadores eléctricos que lleven la temperatura de la mezcla desde 30°C hasta 85°C, temperatura a la cual debe salir del tanque para luego seguir el proceso.

III.3.1.2 ALTERNATIVA 2: SISTEMA CAVIM

Esta alternativa sugiere avances tecnológicos en lo que a diseño del sistema se refiere:

CAVIM (Compañía Anónima Venezolana de la Industria Militar) ofrece o proporciona la mezcla de ANSOL ya preparada sin necesidad de mezclar sus componentes. La mezcla viene en tanques de 22 toneladas, pero con la limitante de una temperatura de aproximadamente 100°C, lo cual implica un exceso de 15°C por encima de la temperatura a la que debe estar la mezcla en la planta.

Es aquí donde interviene el diseño de un sistema de transferencia de calor que garantice el enfriamiento de la mezcla hasta la temperatura deseada; pero no sólo se trata de un problema de transferencia de calor, también se habla de todo un sistema de conexión y transporte entre los tanques contenedores de la mezcla y la planta; es decir, un sistema de bombeo de conexión rápida que extraiga la mezcla para así introducirla al tanque principal de la planta en las condiciones deseadas.

Para este sistema de conexión se tiene pensado emplear tuberías y mangueras flexibles, similares a las de la planta. A la salida del camión, es decir, comenzando la conexión, se colocará un filtro, el cual una vez utilizado, y con ayuda de una válvula, podrá ser limpiado con agua mediante una conexión y toma de agua adicionales. Posteriormente se instalará la bomba (previamente seleccionada), para luego llegar al sistema de enfriamiento de la mezcla, que puede ser un ICTC (Intercambiador de Calor de Tubos Concéntricos) o un ICEA (Intercambiador de Calor Enfriado por Aire), y finalmente al tanque principal o tanque de ANSOL.

Se puede definir entonces, lo que se llamará un Sistema de Conexión-Trasvasijamiento que estará constituido por la succión o extracción de la mezcla desde los camiones, un sistema de enfriamiento principal capaz de enfriar la mezcla hasta la temperatura deseada y un sistema de enfriamiento auxiliar. Basándose en lo dicho anteriormente, se expondrán varias alternativas

para estos sistemas a fin de seleccionar aquellas que cumplan mejor dichas funciones.

III.3.1.2.1 SUCCIÓN

Básicamente, se refiere a una bomba que por sus características de operación: caudal de operación, carga, revoluciones por minuto, potencia al freno, rendimiento, temperatura, y características de construcción: materiales empleados, sellos, carcasa, impulsor o rodete, eje, transmisión, etc., sea la más viable y ofrezca mayor confiabilidad en la operación.

Esta bomba puede ser rotatoria, de engranajes, similar a la empleada dentro de la planta en la fase Stirpot pero limitada a las condiciones de flujo del sistema de admisión; o puede ser una bomba centrífuga para las condiciones de operación adecuadas, compatible con el fluido, y que garantice una larga vida útil dentro de su operación.

III.3.1.2.2 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PRINCIPAL

Este sistema está destinado a enfriar la mezcla proveniente de los camiones, desde 100°C hasta 85°C. Se tienen presentes varias opciones; una es un intercambiador de calor de tubo concéntrico (ICTC) o tubo enchaquetado en contraflujo con agua enfriada mediante un intercambiador de calor enfriado por aire (ICEA).

Otra opción es colocar el intercambiador de calor enfriado por aire directamente en contacto con el fluido de trabajo, eliminando el circuito de agua y por ende el tubo enchaquetado, dicho ICEA debería ser de tiro inducido dada la pequeña diferencia de temperatura ($\Delta T = 15^{\circ}\text{C}$).

III.3.1.2.3 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO AUXILIAR

Al igual que sistema de enfriamiento principal, el auxiliar implica un caso de transferencia de calor. Se ha decidido separarlos para tener una mejor visión de los problemas y sus respectivas soluciones.

Como única opción, para el intercambiador de tubo concéntrico, se puede emplear un circuito de agua de enfriamiento, a la cual se le disminuye la temperatura por medio de un pequeño intercambiador enfriado por aire, es decir, un radiador o intercambiador de calor compacto.

III.3.2 DISMINUCIÓN DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO

Se ha calculado que el tiempo de calentamiento homogéneo de la mezcla es aproximadamente 6,5 horas, que representa mucho tiempo si se considera que sólo se cuenta con 12 horas diarias de producción. Por este motivo se ha establecido como una de las prioridades de trabajo, reducir este tiempo a 4 horas aproximadamente,

lo cual será significativo en el proceso productivo de la planta.

Para reducir el tiempo actual, se tiene previsto realizar un estudio de transferencia de calor que conlleve a incrementar la tasa de calor que se transfiere a la mezcla, mantener la tasa actual o reducir la tasa de calor que se libera al ambiente

III.3.2.1 ALTERNATIVA 1: SISTEMA TRADICIONAL

Una vez que se han vertido en el tanque todos los componentes en sus respectivas proporciones, se procede al calentamiento y mezclado. Una opción a considerar para disminuir el tiempo es aumentar el número de resistencias calentadoras; esto reducirá la duración del proceso antes descrito.

Otra opción a considerar es mantener el mismo número de resistencias calentadoras pero con mayor tasa de calor generado.

La tercera alternativa es el aislamiento del tanque con un material capaz de mantener el calor generado por las resistencias calentadoras, minimizando así el calor que se escapa por la pared y techo del tanque. Esta opción reduciría el tiempo de calentamiento de la mezcla.

III.3.2.2 ALTERNATIVA 2: SISTEMA CAVIM

Luego que ANSOL premezclado, ha sido enfriado y llevado a la temperatura deseada (85°C), es vertido al tanque eliminando el proceso de calentamiento; pero se sabe que a medida que se vacía el tanque, la mezcla se enfriará debido al calor que se pierde por el techo y las paredes del tanque.

Para solventar esta situación se propone utilizar a bajo régimen una de las resistencias calentadoras de manera que se compensen las pérdidas de calor.

La otra propuesta es emplear el aislamiento del tanque sin utilizar las resistencias calentadoras. El material aislante que se utilice mantendrá el calor de la mezcla evitando la pérdida de calor en el tanque.

III.3.3 EQUIPOS DENTRO DE LA PLANTA

Importante para la repotenciación de la planta, es verificar el comportamiento de los equipos de bombeo que en ella operan y que juegan un papel importante en el desempeño de la misma. Como se puede observar en el esquema de la planta, el proceso puede subdividirse en dos etapas: una previa al emulsificador, y otra siguiente a éste. Tal y como se ha mencionado, el emulsificador y la bomba de cavidad progresiva operan a 80kg/min, sólo durante una fracción de tiempo dentro de la jornada de

trabajo. Por ello su promedio diario de operación es aproximadamente de 12kg/min, muy por debajo del nivel normal de operación, es decir que estos equipos no operan a plena carga, y de hacerlo, sucede durante un período corto de tiempo (correspondiente al trasvasije de la mezcla). Por otro lado, la bomba de cavidad progresiva a pesar de tener un principio de funcionamiento muy sencillo, es un equipo sumamente costoso por las técnicas de fabricación de sus componentes, por ello no se harán estudios exhaustivos de estos equipos, sino que se plantearán sugerencias concernientes al mantenimiento y operación de éstos.

Actualmente, dentro de la planta todos los equipos se desempeñan de manera normal acorde a sus especificaciones y a la información técnica consultada. Sin embargo, dado que con la implementación del sistema de admisión de ANSOL premezclado, el tiempo de producción se ve disminuido, se hace necesario seguir un programa de mantenimiento correctivo y preventivo que compense el aumento de producción que se produce como consecuencia de la instalación de este sistema.

De la data existente y por información obtenida del personal que opera la planta, el rodete de la bomba interna del ANSOL se encuentra desgastado debido al tiempo que lleva operando, por el material del que está fabricado (neopreno o nitrilo para proporcionarle flexibilidad) y por la acción erosiva de la solución de Nitrato de Amonio. Por estas razones debe ser reemplazado

por un nuevo. Otra opción para esta situación sería adquirir una nueva bomba con las mismas características de la actual pero con nueva tecnología y más duradera.

Otros equipos o dispositivos que deben ser reemplazados son los rotámetros adyacentes a las bombas de ANSOL y STIR-POT o fase aceite, a fin de tener un mejor y más preciso control del flujo de los fluidos que por ellos circulan.

III.4 MATRIZ DE SELECCIÓN O MATRIZ MORFOLÓGICA

Es una herramienta muy eficaz, sencilla y precisa de exposición y selección de soluciones que permite ponderar los parámetros más significativos a analizar. Se refiere a varias propuestas, según un porcentaje de ponderación.

La evaluación de cada solución propuesta se realiza empleando la siguiente escala de puntuación:

Deficiente	1
Aceptable o regular	2
Bueno	3
Muy bueno	4
Excelente	5

Cada punto a estudiar en las diferentes soluciones propuestas tiene asignado un porcentaje de importancia. Multiplicando éste por el valor obtenido en la escala de puntuación antes mencionada se obtiene la ponderación

de cada característica. Para llegar al valor final, se suman todas las ponderaciones correspondientes a cada solución a fin de obtener la base comparativa entre las soluciones.

Se selecciona aquella propuesta que alcanza mayor puntaje final; es decir, la que favorecerá mayormente la situación en cuestión. A continuación, se muestran las matrices morfológicas según los problemas antes descritos.

III.4.1 PROBLEMA: SUCCIÓN

Para la succión se tienen como posibles soluciones una bomba centrífuga y una bomba rotativa, la cual en este caso es de engranajes.

PARÁMETRO	% IMPORT.	BOMBA CENTRÍFUGA	BOMBA ROTATIVA
Instalación y Montaje	10	3	3
Equipos auxiliares	9	2	2
Mantenimiento	10	3	4
Costo de inversión	12	3	3
Costo de mantenimiento	12	3	3
Disponibilidad en el mercado nacional	6	3	5
Autocebante	9	1	5
Eficiencia	10	4	4
Bajos par de arranque y HP	9	5	2
Bombea líquidos viscosos	8	3	5
Servicio continuo	3	5	3
Necesita desahogos de presión	2	5	5
TOTAL	100	3,11	3,52

Tabla 3.3 Matriz Morfológica del Equipo de Succión

Al comparar las propuestas, se observa que el mayor puntaje fue obtenido por la bomba rotativa; de esta clase de bombas la más ideal es la de engranajes, por su largo período de vida útil, por su costo relativamente bajo, su capacidad de bombear líquidos viscosos y por su amplia disponibilidad en el mercado.

III.4.2 PROBLEMA: SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PRINCIPAL

Son consideradas dos soluciones: un intercambiador de calor de tubo concéntrico (ICTC) y un intercambiador de calor enfriado por aire (ICEA) de tiro inducido.

PARAMETRO	% IMPORT.	ICTC	ICEA
Instalación y montaje	10	3	4
Equipos auxiliares	9	3	4
Mantenimiento	12	2	3
Costo de inversión	14	4	2
Costo de mantenimiento	14	4	2
Espacio ocupado	7	4	3
Eficiencia	12	4	3
Disponibilidad en el mercado nacional	10	5	4
Se ajusta bien a la situación	9	5	1
Diseño	3	4	3
TOTAL	100	3,76	2,83

Tabla 3.4 Matriz Morfológica del Enfriamiento Peincipal

Los resultados obtenidos de la matriz de selección demuestran que el intercambiador de calor de tubo concéntrico es apropiado para el enfriamiento del ANSOL. Es un equipo muy sencillo, de fácil mantenimiento, más

adaptable a situaciones diversas; siendo mucho más económico que el otro intercambiador de calor.

III.4.3 PROBLEMA: DISMINUCIÓN DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO DEL ANSOL

III.4.3.1 SISTEMA TRADICIONAL

Las soluciones propuestas son: aumentar el número de resistencias calentadoras, aumentar el calor de transmisión de las actuales y el aislamiento del tanque.

PARÁMETRO	% IMPORT	AUMENTAR		AISLAR EL TANQUE
		N° RESISTENCIAS	kW ACTUALES	
Instalación	10	1	2	4
Durabilidad	18	3	3	4
Costo de inversión	20	1	2	5
Efectividad	10	5	5	5
Disponibilidad en el mercado nacional	17	5	5	5
Se ajusta al sist. CAVIM	5	4	4	5
Consumo de electricidad	20	1	1	5
TOTAL	100	2,59	2,79	4,72

Tabla 3.5 Matriz Morfológica Para disminuir el Tiempo de Calentamiento (Sist. Tradicional)

El aislamiento del tanque, como se puede apreciar está muy por encima de las otras posibles propuestas. El aislamiento térmico es muy efectivo, sencillo de instalar, mucho más económico que las resistencias y se ahorra el consumo de electricidad para el calentamiento de la mezcla. Lo que se traduce en mayores aspectos positivos para solventar el problema.

III.4.3.2 SISTEMA CAVIM

Para este sistema se tienen como posibles soluciones utilizar una de las resistencias instaladas actualmente o aislar el tanque, a fin de mantener la temperatura de la mezcla constante.

PARÁMETRO	% IMPORT.	UTILIZAR RESISTENCIA	AISLAR TANQUE
Instalación	10	5	4
Durabilidad	18	3	4
Costo de inversión	20	3	5
Efectividad	10	5	5
Disponibilidad en el mercado nacional	17	5	5
Se ajusta al sistema tradicional	5	5	5
Consumo de electricidad	20	4	5
TOTAL	100	4,04	4,72

Tabla 3.6 Matriz Morfológica para mantener la Temperatura en el Tanque

Esta matriz morfológica indica, que la solución más idónea para esta situación es el aislamiento térmico del tanque. Esto permite deducir que tanto para el proceso tradicional como para el que incluye la admisión de ANSOL, se debe aplicar la misma propuesta, lo cual es más beneficioso que aplicar propuestas diferentes a cada sistema. Se observa que no hay mucha diferencia entre ambas puntuaciones, pero el costo de inversión y el ahorro de consumo eléctrico son decisivos en la selección del aislante.

Luego de estudiar las matrices morfológicas, se introduce en el esquema de la planta el sistema de

admisión de ANSOL de CAVIM, el cual es descrito en el diagrama 3.2.

CAPÍTULO IV

CÁLCULOS

IV.1 GENERALIDADES

En este capítulo se realizan los cálculos involucrados en las soluciones definitivas que se aplicarán, tanto para incrementar la producción como para actualizar las instalaciones de la planta portátil de explosivos.

IV.2 METODOLOGÍA

Los cálculos se desarrollarán de la siguiente manera:

- Cálculos involucrados con el sistema-conexión de admisión del ANSOL. Es decir, cálculo del intercambiador de calor, tuberías y accesorios, y selección de la bomba.
- Cálculos involucrados con el tiempo de calentamiento del ANSOL en el tanque dentro de la planta portátil. Es decir, modelado de la ecuación de calor que rige el comportamiento actual del tanque, modelado de la ecuación de calor que rige el comportamiento del tanque con la mezcla de CAVIM, efecto del aislamiento del tanque (sistema tradicional), efecto del aislamiento del tanque (sistema CAVIM), efecto del aumento en los kW de las resistencias actuales (sistema tradicional) y finalmente, efecto de una sola resistencia funcionando (sistema CAVIM).

IV.3 CÁLCULO DEL INTERCAMBIADOR DE TUBO CONCÉNTRICO

Como se estableció en el capítulo anterior, el intercambiador de calor que se empleará para enfriar la mezcla de CAVIM de 100°C a 85°C será uno de tubos concéntricos a contraflujo, comúnmente llamado "tubo enchaquetado", el cual se ilustra en la figura 4.1:

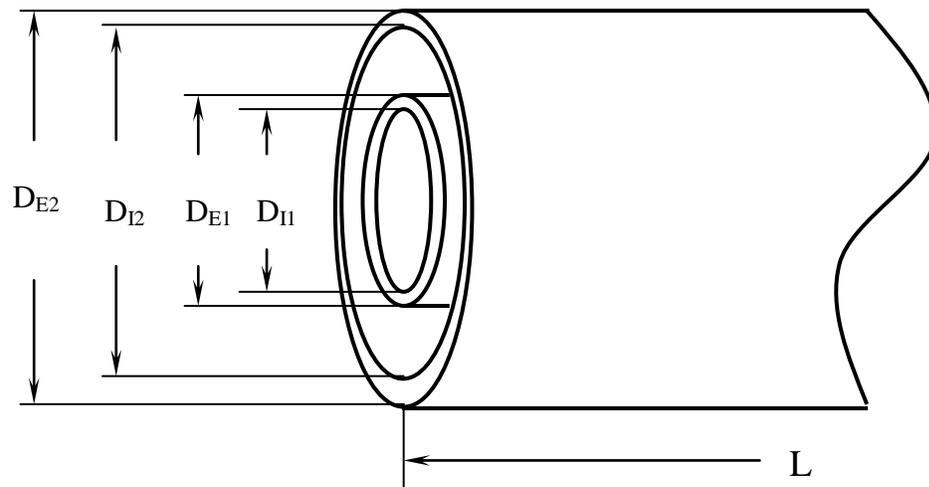


Fig. 4.1. Esquema y Nomenclatura del Tubo Enchaquetado

Por el tubo interno circulará agua (fluido frío o FF en adelante) y por el ánulo fluirá el ANSOL (fluido caliente o FC en adelante).

Para fijar el caudal que fluirá por el intercambiador de calor, que a su vez será el caudal de alimentación al tanque de ANSOL, se tomará un tiempo de una hora de llenado del tanque, que tiene una capacidad de 5000 litros. Esto arroja un caudal de alimentación de $5000 \text{ l/h} = 1,388 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$. Luego, conocido el caudal volumétrico y la densidad del ANSOL, se puede determinar el flujo másico:

$$5000 \text{ l/h} @ \rho = 1,4 \text{ kg/l}$$

$$\dot{m}_{\text{ansol}} = 7000 \text{ kg/h} = 116,66 \text{ kg/min}$$

Conocido el caudal que se maneja, y teniendo una velocidad recomendada por Orica de Venezuela de $0,78 \text{ m/s}$,

se tiene que el área de la sección anular por donde fluye el ANSOL es:

$$\dot{Q}/V = A \quad (4.1)$$

$$V = 0,78\text{m/s}$$

$$A = \frac{1,388.10^{-3}\text{m}^3/\text{s}}{0,78\text{m/s}}$$

$$A = 1,78.10^{-3}\text{m}^2 = 17,8\text{cm}^2 \quad (4.2)$$

El área de una sección anular es:

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{I2}^2 - D_{E1}^2) \quad (4.3)$$

Igualando las ecuaciones 4.2 y 4.3, se obtiene la relación de diámetros que se expresa a continuación:

$$(D_{I2}^2 - D_{E1}^2) = 22,84\text{cm}^2 \quad (4.4)$$

Puede estimarse el diámetro del tubo interno, según CRANE [3], en la tabla B-13a (APÉNDICE A2), de donde las especificaciones de tubería normalizada de Schedule 40, para acero inoxidable son:

$$D_{E1} = 4,22.10^{-2}\text{m}$$

$$D_{I1} = 3,51.10^{-2}\text{m}$$

$$e = 3,56\text{ mm}$$

Sustituyendo en la ecuación 4.4 se tiene que:

$$D_{12}^2 - D_{E1}^2 = 22,84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$D_{12} = \sqrt{22,84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 + (4,22 \cdot 10^{-2})^2}$$

$$D_{12} = 6,375 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

El valor más cercano a este diámetro, que aparece en CRANE [3] es 6,27cm. Por lo tanto, será tomado como referencia:

$$D_{E2} = 7,30 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$D_{12} = 6,27 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$e = 5,76 \text{ mm}$$

Luego, se procede a calcular el flujo másico del agua. Para ello se emplean los diámetros de tubería seleccionados anteriormente. De la ecuación 4.1:

$$\dot{Q} = V \cdot A = 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{\pi(0,035 \text{ m})^2}{4} = 2,4210^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2,42 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_{\text{AGUA}} = \rho_{\text{AGUA}} \cdot \dot{Q}_{\text{AGUA}} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \cdot 2,42 \frac{\text{l}}{\text{s}} \quad (4.5)$$

$$\dot{m}_{\text{AGUA}} = 2,42 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

A continuación, y para comenzar con los cálculos de calor, se determinan algunas propiedades de los fluidos en cuestión.

Los datos físico-químicos de la solución acuosa de Nitrato de Amonio dependen de la concentración del mismo, por ello no existe una data que liste el calor específico de esta mezcla. Para calcularlo, se efectuó un promedio ponderado de los calores específicos del Nitrato de Amonio y Agua basado en sus masas (83% NA y 17% agua). Estos datos se listan en la tabla 4.1⁶:

	Nitrato de Amonio	Agua
C_p [cal/gr.°C]	0,3975	1,0032
Proporción [%]	83	17

Tabla 4.1: Calor específico y concentración del Nitrato de Amonio y del agua

$$C_{p_{ANSOL}} = \frac{C_{p_{NA}} \cdot m_{NA} + C_{p_{AGUA}} \cdot m_{AGUA}}{m_{TOTAL}} \quad (4.6)$$

$$C_{p_{ANSOL}} = \frac{0,3975 \frac{\text{cal}}{\text{gr } ^\circ\text{C}} \cdot 0,83\text{kg} + 1,0032 \frac{\text{cal}}{\text{gr } ^\circ\text{C}} \cdot 0,17\text{kg}}{1\text{kg}}$$

$$C_{p_{ANSOL}} = 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{gr } ^\circ\text{C}} = 21604 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

Conocidos el calor específico del ANSOL, su flujo másico y las temperaturas de entrada y salida del intercambiador, puede calcularse la tasa de calor que éste cederá al agua:

⁶ Estos valores fueron obtenidos del PERRY [15]

$$T_{EFC} = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{SFC} = 85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_{FC} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (4.7)$$

$$\dot{Q}_{FC} = 116,66 \cdot 10^3 \text{ gr/min} \cdot 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{gr } ^\circ\text{C}} \cdot 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_{FC} = 874950 \frac{\text{cal}}{\text{min}} = 62,8 \text{ kW}$$

Sabiendo que el calor que cede el ANSOL es igual al absorbido por el agua⁷, se puede determinarse su temperatura de salida del intercambiador de calor mediante la ecuación 4.7:

$$\dot{Q}_{FF} = \dot{Q}_{FC} = \dot{m}_{AGUA} \cdot C_{pAGUA} \cdot \Delta T_{AGUA}$$

Despejando T_{SF} :

$$T_{SF} = \frac{\dot{Q}_{FF}}{\dot{m}_{AGUA} \cdot C_{pAGUA}} + T_{EF} = \frac{155696 \frac{\text{cal}}{\text{s}}}{2,42 \cdot 10^3 \text{ gr} \cdot 1,0032 \frac{\text{cal}}{\text{gr } ^\circ\text{C}}} + 32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{SF} = 38,41 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Seguidamente, para obtener las propiedades termofísicas de ambas sustancias se determinarán las temperaturas promedio:

$$T_{ANSOLp} = \frac{100 + 85}{2} = 92,5^\circ\text{C} = 365,5\text{K}$$

$$T_{AGUAp} = \frac{36,41 + 30}{2} = 33,21^\circ\text{C} = 306,21\text{K}$$

⁷ Principio de Conservación de la Energía

A fin de conocer los regímenes de los flujos de ambas sustancias, se calculan los números de Reynolds, según CRANE [3]:

$$\Re = \frac{\dot{m}}{\pi \cdot D \cdot \mu} \quad (4.8)$$

$$\Re_{AGUA} = \frac{4.2,42\text{kg/s}}{\pi \cdot 3,51 \cdot 10^{-2} \text{m} \cdot 855 \cdot 10^{-6} \text{N.s/m}} \Rightarrow \Re_{AGUA} = 102672$$

$$\Re_{ANSOL} = \frac{4.1,944\text{kg/s}}{\pi \cdot (6,27 + 7,3) \cdot 10^{-2} \text{m} \cdot 0,002 \text{N.s/m}} \Rightarrow \Re_{ANSOL} = 9120$$

En el siguiente cuadro se resumen las propiedades y características de los flujos involucrados en el denominado "Tubo Enchaquetado". Las propiedades termofísicas de ANSOL y agua a sus respectivas temperaturas promedio fueron tomadas de INCROPERA [7]

PROPIEDADES	ANSOL	AGUA
Flujo Másico (kg/seg)	1,94	2,97
Caudal (m ³ /seg)	1,388.10 ⁻³	2,97.10 ⁻³
Diámetro Externo (m)	7,3.10 ⁻²	4,22.10 ⁻²
Diámetro Interno (m)	6,27.10 ⁻²	3,89.10 ⁻²
Temp. de Entrada (°C)	100	30
Temp. de Salida (°C)	85	35,54
Calor Específico (cal/gr°C)	0,516 (2160,4 J/kg.K)	1,0032 (4179 J/kg.K)
Viscosidad (N.s/m ²)	0,002	0,000855
Número de Reynolds	102672	9120
Número de Prandtl ⁸	85000(Glicerina)	5,83
Conductividad Térmica (W/m.K)	0,282 (Glicerina)	0,613

Tabla 4.2 Propiedades del agua y el ANSOL

⁸ Por ser el Nitrato de Amonio un compuesto regulado y no usual en cálculos de calor se aproximó su conductividad térmica y Prandtl a los de la glicerina mediante aproximación por densidades y calores específicos [7].

Debido a que el ANSOL fluye dentro de una sección anular, para realizar los cálculos que siguen debe emplearse el diámetro hidráulico:

$$D_H = D_{I2} - D_{E1} = (6,27 \cdot 10^{-3} - 4,22 \cdot 10^{-3}) \text{ m} \quad (4.9)$$
$$D_H = 2,05 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Las suposiciones que se consideraron para el tubo enchaquetado son:

- Flujo interno para el agua.
- Flujo anular para el ANSOL.
- Pared externa totalmente aislada, y flujo de calor a través de la pared interna con temperatura de pared constante.
- La conductividad térmica del ANSOL se aproximará a la de la glicerina.

Se requiere conocer la longitud del tubo enchaquetado a fin de obtener su diseño, y a su vez, poder estimar la pérdida de presión que éste ocasiona a la descarga de la bomba a seleccionar.

A continuación, para calcular los coeficientes convectivos deben hallarse los números de Nusselt respectivos:

Para ello, se puede utilizar la correlación para flujo turbulento completamente desarrollado por Dittus y Boelter, tomada de HOLMAN [6]:

$$\text{Nu} = 0,023.\text{Re}^{0,8}\text{Pr}^n \quad (4.10)$$

Donde:

$n = 0,4 \Rightarrow$ calentamiento

$n = 0,3 \Rightarrow$ enfriamiento

$$\text{Nu}_I = 0,023.(100298,55)^{0,8} .(5,83)^{0,4} = 466,7$$

$$\text{Nu}_O = 0,023.(9120)^{0,8} .(85000)^{0,3} = 1019,88$$

Los coeficientes convectivos interno (agua) y externo (ANSOL) se calculan a continuación sabiendo que [7]:

$$h = \frac{\text{Nu}.k}{D} \quad (4.11)$$

$$h_I = \frac{\text{Nu}_I.k_I}{D_I} = \frac{466,7.613.10^{-3} \text{ W / K.m}}{3,89.10^{-2} \text{ m}} \Rightarrow h_I = 7354,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$$h_O = \frac{\text{Nu}_O.k_O}{D_O} = \frac{1019,88.0,282 \text{ W / K.m}}{(6,27 - 4,22).10^{-2} \text{ m}} \Rightarrow h_O = 14029,57 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Se sabe que el coeficiente global de transferencia de calor, a través de una analogía eléctrico-térmica, es inversamente proporcional a la sumatoria de las resistencias por conducción y convección [7]. Sin embargo, en el diseño de intercambiadores de calor se desprecia la resistencia a la conducción. Esto es:

$$U_O = \frac{1}{A_O \left(\frac{1}{A_O.h_O} + \frac{\text{Ln}(r_2/r_1)}{2.\pi.k.l} + \frac{1}{A_I.h_I} \right)} \quad (4.12)$$

$$U_o = \frac{1}{A_o \left(\frac{1}{A_o \cdot h_o} + \frac{1}{A_i \cdot h_i} \right)}$$

$$U_o = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_o} + \frac{D_o}{D_i \cdot h_i} \right)}$$

Sustituyendo los valores respectivos:

$$U_o = \frac{1}{\left(\frac{1}{14029,57 \frac{W}{m^2 K}} + \frac{4,22}{3,89.7354,4 \frac{W}{m^2 K}} \right)}$$

$$U_o = 4570,67 \frac{W}{m^2 K}$$

Para poder evaluar la longitud del tubo enchaquetado, debe conocerse previamente la Diferencia Media Logarítmica de Temperaturas (LMTD) [7], cuya ecuación es la siguiente:

$$LMTD = \frac{(T_{EC} - T_{SF}) - (T_{SC} - T_{EF})}{\ln \left[\frac{(T_{EC} - T_{SF})}{(T_{SC} - T_{EF})} \right]} = \frac{(100 - 38,41) - (85 - 32)}{\ln \left[\frac{(100 - 38,41)}{(85 - 32)} \right]} = 57,18^\circ C$$

Para calcular la longitud del tubo enchaquetado, se recurre ecuación 4.7, y por igualación con la ecuación de

la diferencia de temperatura media logarítmica se tiene que:

$$\dot{q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \Rightarrow \dot{q}_{FC} = \dot{q}_{FF} = 1,944 \text{ kg/s} \cdot 2160,4 \text{ J/kg.K} (100 - 85) \text{ C}$$

$$\dot{q} = 62997,264 \text{ W}$$

$$\dot{q} = U_o \cdot A_o \cdot \text{LMTD} \Rightarrow L = \frac{62997,264 \text{ W}}{4570,67 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot \pi \cdot 4,22 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot 57,18}$$

$$L = 1,82 \text{ m.}$$

Esta es la longitud que debe tener el intercambiador de calor de tubo concéntrico para enfriar el ANSOL hasta 85°C.

IV.4 CÁLCULO PARA LA SELECCIÓN DE LA BOMBA DE ADMISIÓN DEL ANSOL

Antes de comenzar con los cálculos correspondientes a esta sección, es necesario incluir un diagrama donde se presentan en forma esquemática los diferentes accesorios y equipos que se encuentran en la línea de admisión del ANSOL premezclado. En el diagrama 4.1 se detallan estos elementos:

DETALLE DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ADMISIÓN DE ANSOL

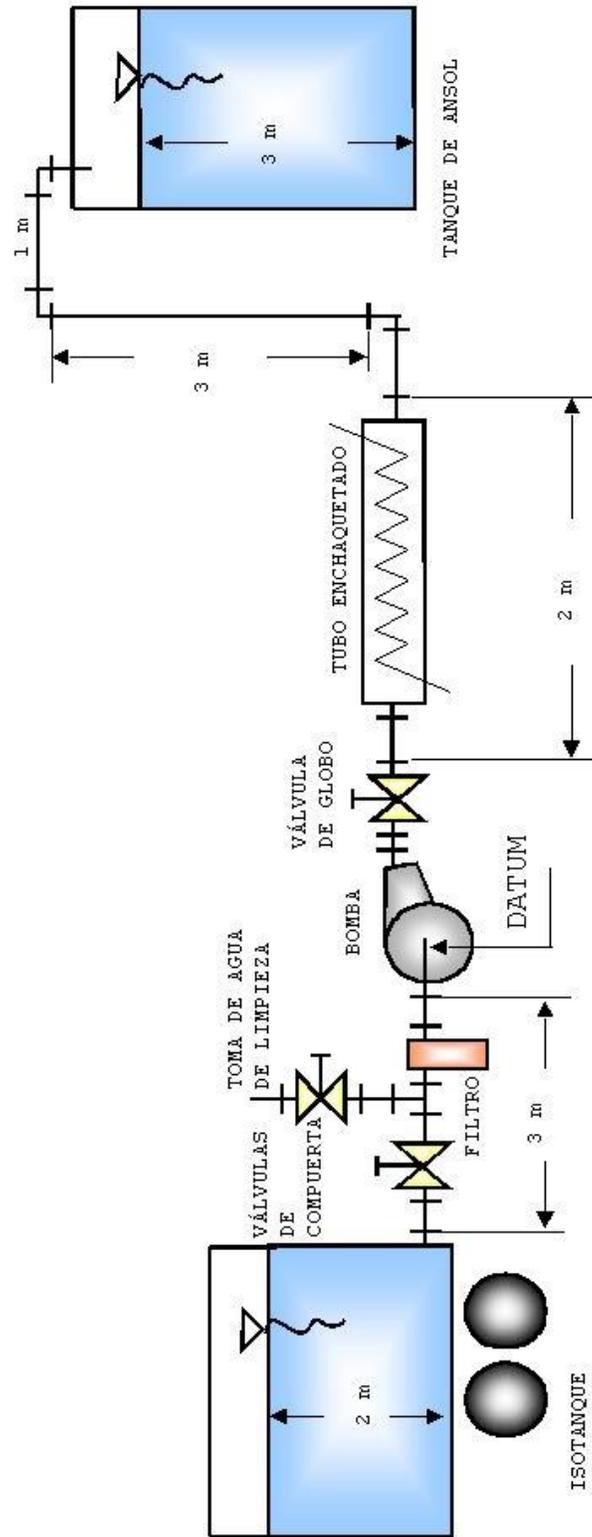


Diagrama 4.1. Detalle de la admisión de ANSOL

IV.4.1 CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA DEL SISTEMA

Antes de seleccionar la bomba, que tendrá como función extraer la mezcla (ANSOL) de los camiones y trasvasiarla en el tanque de la planta portátil, es necesario conocer los requerimientos hidráulicos que debe tener. Para ello, a continuación se determinará la curva del sistema:

Fluido de trabajo: ANSOL (ANEXO A)

$T = 100^{\circ}\text{C}$

$\rho = 1,4\text{kg/l}$

$\mu = 2\text{Cp}$

$\dot{m} = 116,66\text{kg/min} = 1,388 \cdot 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$

$P_{\text{vapor}} = 39,6 \text{kPa}$

A continuación, se seleccionará la tubería de succión y de descarga. Volviendo a la ecuación 4.1, se obtienen los valores nominales mediante el empleo de la misma velocidad manejada por la bomba de ANSOL interna, denominada $V_{\text{recomendada}}$ ⁴:

$$Q = V \cdot A$$

$$V_{\text{recomendada}} = 0,78\text{m/s}$$

Luego:

$$A = \frac{1,388 \cdot 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}}{0,78\text{m/s}} \Rightarrow A = 1,78 \cdot 10^{-3} \text{m}^2 = \frac{\pi}{4} \phi_i^2$$

$$\phi_i = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot 1,78 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow \phi_i = 0,0476 \text{m} = 47,61 \text{mm} = 1,87''$$

⁴ En el sistema interno de ANSOL se maneja un caudal de $899 \cdot 10^{-6} \text{m}^3/\text{s}$ con un área transversal de la tubería de $0,00114 \text{m}^2$, lo que arroja una velocidad de $0,78\text{m/s}$. Este valor se empleará como referencia y se denominará $V_{\text{recomendada}}$.

Al comparar este valor con los listados por CRANE [3] (APÉNDICE A2) en los catálogos de tuberías, se selecciona el inmediato superior, ya que el valor exacto no está normalizado, y es además el que menos influye sobre la velocidad recomendada:

SUCCIÓN :

Sch.40 s - xs:

$$D_i = 52,5 \text{ mm} = 0,0525 \text{ m}$$

$$D_E = 60,3 \text{ mm} = 0,0603 \text{ m}$$

$$e = 3,91 \text{ mm} = 0,00391 \text{ m}$$

Nominal= 2"

Ya que este valor no coincide de forma exacta con el calculado, debe verificarse que para el caudal que se maneja y el diámetro obtenido, la velocidad recomendada no varíe considerablemente:

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (0,0525)^2 = 2,164 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1,388 \cdot 10^{-3}}{2,164 \cdot 10^{-3}} = 0,64 \text{ m/s} \Rightarrow \text{Aceptable}$$

Luego, para la descarga:

DESCARGA :

Sch.40 s - xs:

$$D_i = 0,0409 \text{ m}$$

$$D_E = 0,0483 \text{ m}$$

$$e = 0,00368 \text{ m}$$

Nominal= 1 $\frac{1}{2}$ "

Y la verificación de la velocidad recomendada:

Luego:

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (0,0409)^2 = 1,31 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1,388 \cdot 10^{-3}}{1,31 \cdot 10^{-3}} = 1,056 \text{ m/s}$$

De aquí pueden obtenerse los valores de Reynolds a la succión y a la descarga, para conocer el régimen al que se encuentran los flujos. Por la ecuación 4.8:

$$\text{Re}_{\text{ANSOLsucción}} = \frac{4,1,944 \text{ kg/s}}{\pi \cdot 0,0525 \text{ m} \cdot 0,002 \text{ N.s/m}} = 23573$$

$$\text{Re}_{\text{ANSOLdescarga}} = \frac{4,1,944 \text{ kg/s}}{\pi \cdot 0,0409 \text{ m} \cdot 0,002 \text{ N.s/m}} = 302588$$

Con esto se observa que el flujo se encuentra en régimen turbulento, y puede emplearse la siguiente ecuación para obtener los factores de fricción a la succión y a la descarga según POTTER [16]:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0,86 \cdot \text{Ln} \left(\frac{e}{3,7 \cdot D} \right) \quad (4.13)$$

Según CRANE [3] en su "diagrama de rugosidades relativas de los materiales de las tuberías para flujo turbulento" se tiene que para el acero comercial las rugosidades relativas son:

$$\frac{e}{D}(\text{succión}) = 0,0009$$

$$\frac{e}{D}(\text{descarga}) = 0,0012$$

Luego, de la ecuación 4.13, los factores de fricción obtenidos son:

$$f_{\text{succión}} = 0,01952$$

$$f_{\text{descarga}} = 0,02095$$

Por otro lado, se observa que se tienen los siguientes accesorios en la línea de admisión con sus respectivos coeficientes de pérdida de presión [3],[1]:

ACCESORIOS	SUCCIÓN		DESCARGA	
	Cant.	K	Cant.	K
Codos 90°	0	0	3	0,63
Válvula de globo	0	0	1	7,14
"T"	0	0	1	0,42
Salida	0	0	1	1
Entrada	1	0,5	0	0
Filtro	1	6,5	0	0
Intercambiador de Calor	0	0	1	?
Válvula de Compuerta	1	0,152	0	0

Tabla 4.3: Accesorios en la admisión del ANSOL

Es necesario conocer la "K" del intercambiador de calor. Por ello se efectúan los siguientes cálculos según KERN [9]. De la ecuación 4.9:

$$D_H = D_{i2} - D_{o1} = (6,27 \cdot 10^{-2} - 4,22 \cdot 10^{-2}) = 2,05 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 6,725 \cdot 10^{-2} \text{ pie}$$

A continuación se debe conocer la velocidad de masa:

$$G = \frac{\dot{m}_{ANSOL}}{A_{flujos}} \quad (4.14)$$

$$\dot{m}_{ANSOL} = 1,944 \text{kg/s} = 1542883 \text{lb/h}$$

$$A_{flujos} = \frac{\pi}{4} \cdot ((6,27 \cdot 10^{-2})^2 - (4,22 \cdot 10^{-2})^2) = 1,818 \cdot 10^{-2} \text{pie}^2$$

Luego:

$$G = \frac{1542883}{1,818 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow G = 84867057 \frac{\text{lb}}{\text{h} \cdot \text{pie}^2}$$

Calculando el número de Reynolds según la ecuación obtenida de KERN [9]:

$$\Re_e = \frac{G \cdot D_H}{\mu} \quad (4.15)$$

$$\Re_e = \frac{84867057 \frac{\text{lb}}{\text{h} \cdot \text{pie}^2} \cdot 6,725 \cdot 10^{-2} \text{pie}}{2 \text{Cp} \cdot 2,42 \frac{\text{lb}}{\text{pie} \cdot \text{h} \cdot \text{Cp}}}$$

$$\Re_e = 1179196$$

$$f_{INTERCAMBIADOR} = 0,0035 + \frac{0,264}{\Re_e^{0,42}} = 0,00864 \quad (4.16)$$

Las pérdidas por fricción dentro del intercambiador se pueden calcular por la siguiente relación, en la cual, la aceleración de la gravedad está en pie/h^2 , densidad en lb/pie^3 y longitud del intercambiador en pies:

$$\Delta F_1 = \frac{4 \cdot f \cdot G^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot \rho^2 \cdot D_H} \quad (4.17)$$

$$\Delta F_1 = \frac{4.0,00864.(848670,57)^2 .5,97}{2.4,18.10^8 .6,725.10^{-2} .(86,875)^2}$$

$$\Delta F_1 = 0,309 \text{ pie}$$

Las pérdidas a la entrada y la salida están referidas a un cabezal de velocidad (Energías cinéticas a la entrada y salida del intercambiador).

$$\Delta F_2 = \frac{C^2}{2.g} \quad (4.18)$$

$$C = \frac{848670,57}{3600.86,875} \Rightarrow C = 2,71 \text{ pie/s}$$

$$\Delta F_2 = \frac{(2,71)^2}{2.32,2} = 0,114 \text{ pie}$$

La pérdida total en el intercambiador de calor será la suma de las pérdidas parciales:

$$\begin{aligned} \Delta F_{\text{TOTAL}} &= \Delta F_1 + \Delta F_2 & (4.19) \\ \Delta F_{\text{TOTAL}} &= 0,309 + 0,114 = 0,423 \text{ pie} \end{aligned}$$

$$\Delta F_{\text{TOTAL}} = 0,128 \text{ m}$$

Luego, la ecuación 4.19 puede ser expresada de la siguiente manera:

$$\Delta F_{\text{TOTAL}} = k_{\text{INTERCAMBIADOR}} \cdot \frac{C^2}{2.g} = 0,128 \text{ m} \quad (4.20)$$

$$\frac{C^2}{2.g} = \frac{(2,71)^2}{2.32,2} = 0,114 \text{ pie} = 0,0347 \text{ m}$$

De aquí, se despeja el valor de $k_{\text{INTERCAMBIADOR}}$:

$$k_{\text{INTERCAMBIADOR}} = \frac{0,128}{0,0347}$$

$$k_{\text{INTERCAMBIADOR}} = 3,71$$

Al efectuar la sumatoria de los diferentes accesorios, se tiene que:

$$\sum K_{\text{SUCCIÓN}} = 0,5 + 6,5 + 0,1525 = 7,152$$

$$\sum K_{\text{DESCARGA}} = 3 \cdot (0,56) + 7,14 + 0,42 + 3,71 = 13,16$$

Siguiendo el método de CAMERON [1] y aplicando la ecuación de Bernoulli (ec. 4.21) en el cálculo de la curva del sistema, se tiene que la altura dinámica de la bomba a seleccionar tiene el siguiente comportamiento (ec.4.22):

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2 \cdot g} + (z_2 - z_1) + hf \quad (4.21)$$

Relacionando con las líneas de succión y descarga (Subíndices "s" y "d" respectivamente):

$$H = 2 + 2 \cdot \left(7,152 \cdot \frac{C_s^2}{2 \cdot g} + 0,03 \cdot f_s \right) + 2 \cdot \left(13,16 \cdot \frac{C_d^2}{2 \cdot g} + 0,06 \cdot f_d \right) \quad (4.22)$$

Cuyos valores de energía cinética, factores de fricción y alturas se detallan a continuación en la tabla 4.4:

CAUDAL (GPM)	Ec (succión) (pies)	Pérdida (succ)	Ec (descarga) (pies)	Pérdida (desc)	Ec (succión) (m)	Ec (descarga) (m)	ALTURA (m)
10	0.014	0.252	0.039	0.848	0.0042672	0.0118872	2.49078913
14	0.028	0.461	0.076	1.51	0.0085344	0.0231648	2.94063359
18	0.046	0.725	0.125	2.4	0.0140208	0.0381	3.53484552
20	0.057	0.878	0.154	2.92	0.0173736	0.0469392	3.88703172
22	0.069	1.05	0.187	3.48	0.0210312	0.0569976	4.28160712
30	0.128	1.82	0.347	6.23	0.0390144	0.1057656	6.19861257
50	0.355	4.66	0.965	16.5	0.108204	0.294132	13.5489043
75	0.799	10.1	2.17	36	0.2435352	0.661416	27.8179966

Tabla 4.4 Valores de la curva del sistema de ANSOL

Sustituyendo los valores de esta tabla en la ecuación 4.22, se obtienen valores de altura en función de los caudales, con lo cual se traza la gráfica de la curva del sistema.

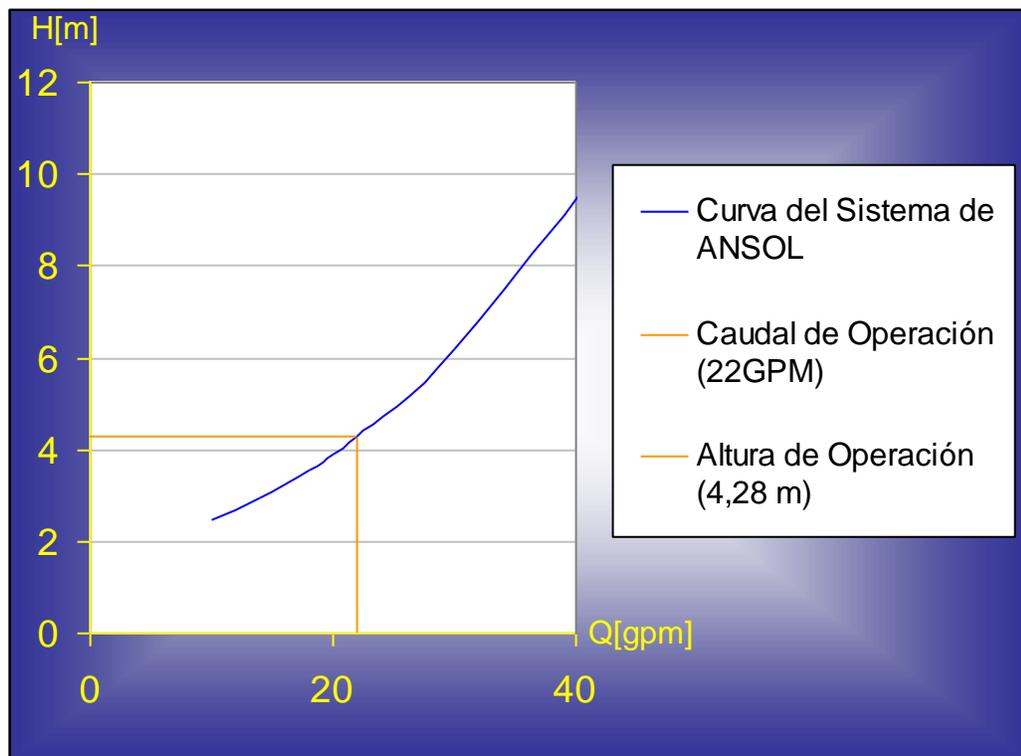


Diagrama 4.2 Curva de requerimientos del sistema de admisión del ANSOL

IV.4.2 CAVITACIÓN

Luego de haber calculado los requerimientos hidráulicos que debe presentar la bomba a seleccionar, es importante estudiar la cavitación, fenómeno muy común y dañino en bombas (especialmente en bombas centrífugas).

Por esta razón se calculará la carga neta positiva de succión o NPSH disponible que debe poseer la bomba a seleccionar para así evitar este fenómeno. Se conoce que la presión atmosférica es 101325Pa, la presión de vapor del ANSOL a 100°C es 39600Pa, las pérdidas a la succión suman 0,47m y la altura de succión, es decir, la altura desde el eje de la bomba hasta el nivel del ANSOL en el isotanque, es de 2m.

La carga neta positiva de succión puede calcularse mediante la siguiente ecuación [10]:

$$NPSH_{DISPONIBLE} = \frac{P_{atm} - P_{vapor}}{\gamma} + H_{succión} - hf_{succión} \quad (4.23)$$

$$NPSH_{DISPONIBLE} = \frac{101325 \text{ Pa} - 39600 \text{ Pa}}{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + 2 \text{ m} - 0,47\text{m}$$

$$NPSH_{DISPONIBLE} = 6,03 \text{ m}$$

Es decir, la bomba de engranes a seleccionar debe contar con una NPSH disponible de 6,03m para asegurar que no cavitará. En el capítulo VI se detallarán las especificaciones de la bomba.

A fin de seleccionar la bomba adecuada, es necesario conocer la presión de descarga de la misma. Observando la Gráfica 4.1, se tiene que la altura dinámica es la altura correspondiente al punto de operación seleccionado, es decir 4,28m.

Multiplicando este valor por el peso específico del fluido, se tiene la presión de descarga de la bomba operando en dicho punto:

$$P_{\text{descarga}} = \gamma_{\text{ANSOL}} \cdot H_{\text{DINÁMICA}} = 13720 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \cdot 4,28\text{m}$$

$$P_{\text{descarga}} = 58,721,6\text{kPa} = 8,5 \text{ lpsi}$$

Este parámetro es decisivo en la selección de la bomba, cuyos detalles técnicos se especifican en el capítulo VI.

IV.5 ESTIMACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO AUXILIAR

Se tomarán como punto de partida las siguientes temperaturas para el agua y el aire:

$$T_{\text{E-AGUA}} = 38,41^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{S-AGUA}} = 32^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{E-AIRE}} = 30^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{S-AIRE}} \approx 36^{\circ}\text{C}$$

Estos valores arrojan una diferencia media logarítmica de temperaturas (LMTD) que se calcula a continuación:

$$LMTD = \frac{(T_{EC} - T_{SF}) - (T_{SC} - T_{EF})}{\ln \left[\frac{(T_{EC} - T_{SF})}{(T_{SC} - T_{EF})} \right]} = \frac{(38,41 - 36) - (32 - 30)}{\ln \left[\frac{(38,41 - 36)}{(32 - 30)} \right]} = 2,194^{\circ}\text{C}$$

La tasa de calor de transferencia entre el agua y el aire es por la ecuación 4.7 la siguiente:

$$\dot{q}_{AGUA} = 2,42 \text{ kg/s} \cdot 4,17 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} (38,4 - 32) = 64,72 \text{ kW}$$

Suponiendo el mismo coeficiente global de transferencia de calor calculado para el tubo enchaquetado, y sustituyendo en la ecuación de transferencia de calor en función del LMTD, se tiene que:

$$A_0 = \frac{64720 \text{ W}}{4570,67 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}} \cdot 2,194^{\circ}\text{C}} = 6,45 \text{ m}^2$$

Esta área está referida al lado del aire, es decir, la superficie de tubo desnudo más la superficie que abarca la suma de la totalidad de las aletas. El coeficiente global de transferencia de calor depende entre otros aspectos de la geometría del intercambiador, por ello para el caso que se está estudiando el valor antes empleado es muy elevado y sirve sólo como una

primera aproximación. La experiencia señala [6] que para una configuración de tubos y aletas con agua fluyendo dentro de los primeros, y aire fluyendo a través de las aletas, el coeficiente global de transferencia de calor está alrededor de $60 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

$$A_0 = \frac{64720\text{W}}{60 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}} \cdot 2,194^\circ\text{C}}$$

$$A_0 = 491,64\text{m}^2$$

Igualmente se desea que el intercambiador sea lo más compacto posible a fin de mantener la propiedad portátil de la planta. Se toma así una configuración básica con un área frontal de 1m^2 y en general el conjunto de aletas se agrupa en una relación de alrededor de 300 a 350 aletas/metro [8]. Con esto se justifica lo elevado del área de transferencia de calor.

IV.6 CÁLCULOS PARA LA DISMINUCIÓN DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO DEL ANSOL EN EL TANQUE

Antes de analizar y calcular cómo disminuir el tiempo invertido en el calentamiento del ANSOL en el tanque, es imprescindible modelar la ecuación de calor que rige el comportamiento actual de la temperatura en el mismo. Por ello, se presentan los cálculos de transferencia de calor seguidos por INCROPERA [7], para obtener la ecuación de calor. Seguidamente se detallan

los cálculos para cada uno de los casos que se presentan en el funcionamiento del tanque de ANSOL:

- Modelado de la ecuación de calor que rige el comportamiento actual del tanque (Sistema Tradicional)
- Modelado de la ecuación de calor que rige el comportamiento del tanque (Sistema CAVIM)
- Aislamiento del tanque de ANSOL (Sistema Tradicional)
- Aislamiento del tanque de ANSOL (Sistema CAVIM)
- Efecto del aumento del calor de transmisión de las resistencias actuales sobre el tiempo de calentamiento (Sistema Tradicional)
- Efecto de una sola resistencia calentadora funcionando sobre el tiempo de calentamiento (Sistema CAVIM)

IV.6.1 MODELADO DE LA ECUACIÓN DE CALOR ACTUAL DEL TANQUE DE ANSOL

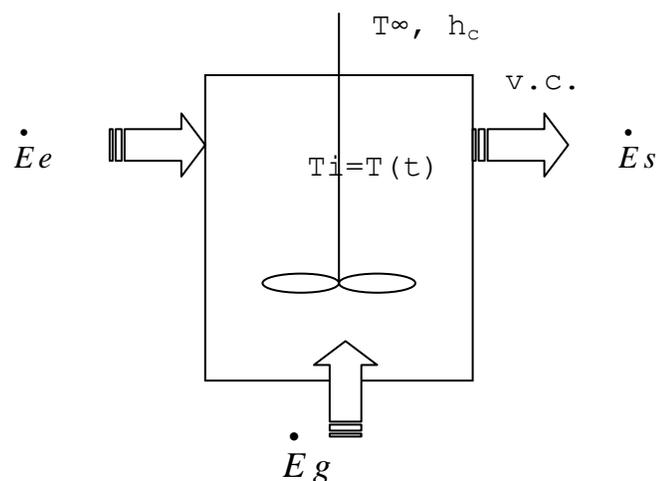


Fig. 4.2. Esquema del Tanque de ANSOL según sistema tradicional

Datos del tanque obtenidos en la inspección:

$$D = 1,5\text{m}$$

$$h = 3,0\text{m}$$

$$e_{\text{pared}} = 1\text{cm}$$

$$A_{\text{techo}} = 1,77\text{m}^2$$

$$A_{\text{pared}} = 14,13\text{m}^2$$

$$T_{\infty} = 30^{\circ}\text{C} = 303,15\text{ K}$$

$$hc = 70 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$$T_i = 30^{\circ}\text{C} = 303,15\text{ K}$$

4 Resistencias eléctricas colocadas en el fondo del tanque generando 18 kW cada una.

SUPOSICIONES

- Temperatura uniformemente distribuida en el tanque
- No hay pérdida de calor en la superficie inferior del tanque
- Se desprecia el calor que absorbe el tanque desde el ambiente ($E_e = 0$)
- K_{ACERO} (acero 316) = 13,4 W/m.K [6]

De acuerdo al volumen de control de la figura, se tiene la ecuación de conservación de energía:

$$\dot{E}_e + \dot{E}_g - \dot{E}_s = \frac{dE_{\text{ALMACENADA}}}{dt} \quad (4.24)$$

$$\text{Donde: } \dot{E}_e = 0$$

Luego:

$$\dot{E}_g - (\dot{E}_{\text{TECHO}} + \dot{E}_{\text{PARED}}) = \frac{dE_{\text{ALMACENADA}}}{dt}$$

Para determinar el valor la energía almacenada se conoce que para 5000 l de volumen de ANSOL se tiene una masa de 7000kg. Bajo los porcentajes de 83% y 17% en peso de Nitrato de Amonio y agua respectivamente, se conoce que la masa de Nitrato de Amonio es 5810kg y la masa de agua es 1190kg. Los calores específicos fueron calculados anteriormente.

$$\frac{dE_{\text{ALMACENADA}}}{dt} = (m_{\text{NA}} \cdot Cp_{\text{NA}} + m_{\text{AGUA}} \cdot Cp_{\text{AGUA}}) \frac{dT}{dt} \quad (4.25)$$

$$(m_{\text{NA}} \cdot Cp_{\text{NA}} + m_{\text{AGUA}} \cdot Cp_{\text{AGUA}}) = \left(5810 \text{kg} \cdot 1,664 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} + 1190 \text{kg} \cdot 4,203 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \frac{dT}{dt}$$

$$\frac{dE_{\text{ALMACENADA}}}{dt} = \left(14669,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \cdot \frac{dT}{dt} \quad (4.25a)$$

$$\dot{E}_{\text{g}_{\text{RESISTENCIAS}}} = 72000 \text{W}$$

Sabiendo que el calor que se disipa por las paredes y techo del tanque se da en forma de conducción y convección, la ecuación de energía queda de la siguiente manera:

$$72000 - \left(\frac{T - T_{\infty}}{\frac{1}{hc \cdot A_{\text{PARED}}} + \frac{\text{Ln}(r_2 / r_1)}{2 \cdot \pi \cdot K_{\text{ACERO}} \cdot L_{\text{CIL}}}} \right) - \left(\frac{T - T_{\infty}}{\frac{1}{hc \cdot A_{\text{TECHO}}} + \frac{L}{K_{\text{ACERO}} \cdot A_{\text{TECHO}}}} \right) = \frac{dE_{\text{ALMACENADA}}}{dt}$$

Sustituyendo en esta ecuación los valores correspondientes de conductividades, longitudes y coeficientes convectivos, así como el resultado obtenido en la ecuación 4.25a, se tiene que:

$$72000 - \left(\frac{T - T_{\infty}}{\frac{1}{70 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 14,13 \text{m}^2} + \frac{\text{Ln}(0,75/0,74)}{2 \cdot \pi \cdot 13,4 \cdot 3 \text{m}}} \right) - \left(\frac{T - T_{\infty}}{\frac{1}{70 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 1,77 \text{m}^2} + \frac{1 \cdot 10^{-2} \text{m}}{13,4 \text{ W/m.K} \cdot 1,77 \text{m}^2}} \right) = \frac{dE_{\text{ALM}}}{dt}$$

Resolviendo y agrupando:

$$14669400 \frac{dT}{dt} = 72000 - [939,7 \cdot (T - T_{\infty}) + 117,75 \cdot (T - T_{\infty})]$$

$$14669400 \frac{dT}{dt} = 72000 - 1057,44(T - T_{\infty}) \quad (4.26)$$

Realizando el siguiente cambio de variable:

$$\dot{\theta} = \frac{dT}{dt}; \theta = T - T_{\infty}$$

La ecuación 4.26 queda de la siguiente manera:

$$14669400 \cdot \dot{\theta} + 1057,44 \cdot \theta = 72000 \quad (4.27)$$

Se observa que el resultado obtenido es una ecuación diferencial ordinaria de primer orden a coeficiente constante. Dividiendo toda la ecuación por 14669400, se observa que la ecuación 4.27 se simplifica en:

$$\dot{\theta} + 7,028 \cdot 10^{-5} \cdot \theta = 4,9 \cdot 10^{-3} \quad (4.28)$$

Esta es la ecuación de calor que rige actualmente el comportamiento del tanque. Su solución es la distribución de temperaturas en función del tiempo, la cual es:

$$T = 303,15 + 67,97(1 - e^{-7,20810^{-5} \cdot t}) \quad (4.29)$$

Validación de la ecuación anterior:

Si esta ecuación corresponde con las condiciones reales, debería cumplirse que para $t=0s$ la temperatura de la mezcla es ambiente ($T=30^{\circ}C$), y para $t=6,5$ horas (23400 s) la temperatura debe ser $85^{\circ}C$:

$$T(0) = 303,15 + 67,97(1 - e^0) = 303,15 \text{ K}$$

$$T(6,5h) = 303,15 + 67,97(1 - e^{-7,20810^{-5} \cdot 23400})$$

$$T(6,5h) = 358,53 \text{ K}$$

Como se observa, la ecuación cumple con las dos condiciones, demostrándose así, que se ajusta a la realidad.

Las ecuaciones 4.28 y 4.29 serán de gran utilidad en los cálculos respectivos a las diferentes modalidades que se apliquen al tanque, las cuales son explicadas en detalle a continuación.

IV.6.2 MODELADO DE LA ECUACIÓN PARA EL SISTEMA CAVIM

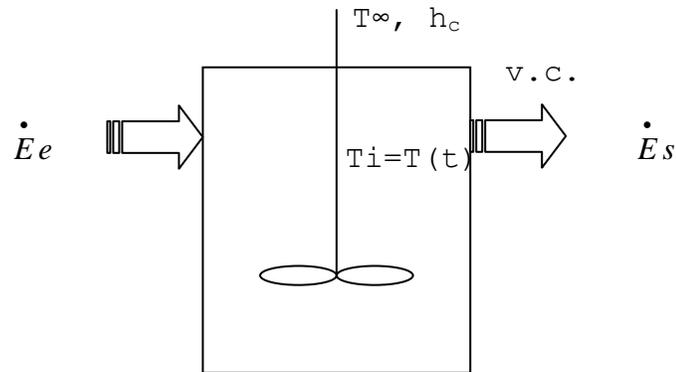


Fig. 4.3. Esquema del Tanque de ANSOL según sistema CAVIM

SUPOSICIONES

- Las resistencias no están operando (no hay energía de generación, $E_g=0$)
- Temperatura uniformemente distribuida en el tanque
- No hay pérdida de calor en la parte inferior del tanque
- Se desprecia el calor que absorbe el tanque desde el ambiente ($E_e=0$)
- El ANSOL entra al tanque premezclado a 85°C

En este caso, la ecuación de conservación de la energía es:

$$-E_s = \frac{dE_{\text{ALMACENADA}}}{dt} \quad (4.30)$$

Al igual que en el caso anterior, el calor que se disipa del tanque es debido a la conducción y la convección. Así se tiene que:

$$-(\dot{E}_{TECHO} + \dot{E}_{PARED}) = \frac{dE_{ALMACENADA}}{dt}$$

$$-\left(\frac{T - T_{\infty}}{\frac{1}{hc \cdot A_{PARED}} + \frac{\ln(r_2 / r_1)}{2 \cdot \pi \cdot K_{ACERO} \cdot L_{CIL}}} \right) - \left(\frac{T - T_{\infty}}{\frac{1}{hc \cdot A_{TECHO}} + \frac{L}{K_{ACERO} \cdot A_{TECHO}}} \right) = \frac{dE_{ALMACENADA}}{dt} = 14669400 \frac{dT}{dt}$$

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación anterior, se obtiene:

$$14669400 \frac{dT}{dt} = -[939,7 \cdot (T - T_{\infty}) + 117,75 \cdot (T - T_{\infty})]$$

$$14669400 \frac{dT}{dt} + 1057,44 \cdot (T - T_{\infty}) = 0 \quad (4.31)$$

Efectuando el siguiente cambio de variable:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{d\theta}{dt} = \dot{\theta}$$

$$T - T_{\infty} = \theta$$

Se tiene que la ecuación 4.31 queda de la siguiente manera:

$$\frac{d\theta}{dt} + 7,208 \cdot 10^{-5} \cdot \theta = 0 \quad (4.32)$$

Se puede observar que la ecuación anterior es una ecuación diferencial de primer orden, homogénea, cuya solución se da a continuación:

$$\frac{\theta}{\theta_i} = e^{-7,20810^{-5} \cdot t} \Rightarrow \theta = \theta_i \cdot e^{-7,20810^{-5} \cdot t}$$

De esta manera, la distribución de temperaturas en el tanque tiene la siguiente forma:

$$T(t) = T_{\infty} + (T_i - T_{\infty}) \cdot e^{-7,20810^{-5} \cdot t}$$

$$T(t) = 303,15 + (358,15 - 303,15) \cdot e^{-7,20810^{-5} \cdot t}$$

La distribución de temperaturas para este caso es:

$$T(t) = 303,15 + 55 \cdot e^{-7,20810^{-5} \cdot t} \quad (4.33)$$

Validación de la ecuación anterior:

Para un instante inicial ($t=0$ seg), la temperatura de la mezcla debería permanecer a 85°C ; luego sustituyendo esta condición en la ecuación 4.33:

$$T = 0\text{s}, T=85^{\circ}\text{C} = 358,15 \text{ K}$$

$$T(0) = 303,15 + 55 \cdot e^0 = 358,15 \text{ K}$$

Se observa que la ecuación cumple la condición establecida.

Ahora bien, conforme el tiempo pasa, la temperatura de la mezcla debería disminuir por el calor que se disipa del tanque al ambiente:

Supóngase un tiempo de prueba de 1 hora (3600s), y sustituyendo nuevamente en la ecuación 4.33:

$$T(1h) = 303,15 + 55.e^{-7,20810^{-5} \cdot (3600)}$$

$$T(1h) = 72,43^{\circ}\text{C}$$

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{1057,44 \cdot (85 - 30)}{14669400} = -3,964 \cdot 10^{-3} \text{ K/s}$$

Esto se traduce en que cada segundo, la temperatura cae 0,003964K. Es decir, que la caída de temperatura no se hace significativa.

IV.6.3 AISLAMIENTO DEL TANQUE EMPLEANDO EL SISTEMA TRADICIONAL

SUPOSICIONES:

- Aislante de manta de fibra de vidrio (Lana AW), $K_{\text{aislante}} = 0,039 \text{ W/m.K}$ de espesor constante de 2,5 cm⁽⁶⁾.
- El aislante se colocar las paredes como en el techo
- Mismas suposiciones que en los casos anteriores

La ecuación de energía correspondiente a este caso, es:

$$\frac{dE}{dt} = \dot{E}_g - (\dot{E}_{\text{PARED}} + \dot{E}_{\text{TECHO}})$$

⁽⁶⁾ Estas especificaciones fueron obtenidas de RIECE INDUSTRIAL.

Siguiendo una analogía eléctrico-térmica, se tiene una resistencia a la transferencia de calor debida a la conducción adicional ocasionada por el aislante:

$$\frac{dE}{dt} = 72000 - \left(\frac{T - T_{\infty}}{R_{hp} + R_{k_{1p}} + R_{k_{2p}}} + \frac{T - T_{\infty}}{R_{ht} + R_{k_{1t}} + R_{k_{2t}}} \right) \quad (4.34)$$

$$\frac{dE}{dt} = 72000 - \left(\frac{T - T_{\infty}}{\frac{1}{A_p \cdot h_c} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi \cdot K_{ac} \cdot L_{cil}} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi \cdot K_{aisl} \cdot L_{cil}}} + \frac{T - T_{\infty}}{\frac{1}{A_t \cdot h_c} + \frac{L_t}{K_{ac} \cdot A_t} + \frac{L_{ails}}{K_{aisl} \cdot A_t}} \right)$$

Sustituyendo los valores correspondientes, se tiene que:

$$\frac{dE}{dt} = 72000 - \left(\frac{T - T_{\infty}}{\frac{1}{14,13,70} + \frac{\ln(0,75/0,74)}{2\pi \cdot 13,4,3} + \frac{\ln(0,775/0,75)}{2\pi \cdot 0,039,3}} + \frac{T - T_{\infty}}{\frac{1}{70,1,77} + \frac{1 \cdot 10^{-2}}{13,4,1,77} + \frac{2,5 \cdot 10^{-2}}{0,039,1,77}} \right)$$

$$\frac{dE}{dt} = 72000 - [21,89 \cdot (T - T_{\infty}) + 2,69 \cdot (T - T_{\infty})] = 14669400 \frac{dT}{dt}$$

$$\frac{dE}{dt} = 72000 - [24,595 \cdot (T - T_{\infty})] = 14669400 \frac{dT}{dt}$$

$$\frac{dT}{dt} + 1,676 \cdot 10^{-6} (T - T_{\infty}) = 4,9 \cdot 10^{-3}$$

De aquí se tiene la ecuación diferencial del calor y su respectiva distribución de temperaturas, después de efectuar los cambios de variable que se han realizado con anterioridad:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{d\theta}{dt} = \dot{\theta}$$

$$T - T_{\infty} = \theta$$

$$\frac{d\theta}{dt} + 1,676 \cdot 10^{-6} \cdot \theta = 4,9 \cdot 10^{-3} \quad (4.35)$$

La solución a la ecuación diferencial anterior es:

$$T - T_{\infty} = \frac{4,9 \cdot 10^{-3}}{1,676 \cdot 10^{-6}} (1 - e^{-1,676 \cdot 10^{-6} \cdot t})$$

Y se tiene que la distribución de temperaturas para el caso en cuestión es:

$$T(t) = 303,15 + 2922,53 \cdot (1 - e^{-1,676 \cdot 10^{-6} \cdot t}) \quad (4.36)$$

A continuación, al sustituir $T=85^{\circ}\text{C}$ en la ecuación 4.36 se halla el tiempo que debe invertirse en el calentamiento de la mezcla desde 30°C hasta esa temperatura:

$$85^{\circ}\text{C} = 358,15^{\circ}\text{K} = 303,15 + 2922,53 \cdot (1 - e^{-1,676 \cdot 10^{-6} \cdot t})$$

$$t = 1133570 \text{ s} = 3,15 \text{ h}$$

Es decir, con esta configuración (sistema tradicional con aislamiento del tanque) el tiempo de

calentamiento se reduce de 6,5 horas a 3 horas, 9 minutos aproximadamente.

IV.6.4 AISLAMIENTO DEL TANQUE EMPLEANDO LA ADMISIÓN DEL ANSOL DE CAVIM

SUPOSICIONES

- Las resistencias no están operando ($E_g=0$)
- El ANSOL es admitido al tanque premezclado a 85°C
- Se desprecia el calor que entra al tanque ($E_e=0$)
- Aislante de manta de fibra de vidrio (Lana AW) con conductividad $k=0,039 \text{ W/m.K}$
- Espesor del aislante constante de $2,5\text{cm}$, tanto en las paredes como en el techo.

La ecuación de energía es la siguiente:

$$-E_s = \frac{dE_{\text{ALMACENADA}}}{dt}$$

Al igual que en los casos anteriores, esta energía disipada es a través de fenómenos de conducción y convección:

$$\frac{dE}{dt} = - \left(\frac{T - T_\infty}{R_{hp} + R_{k_1p} + R_{k_2p}} + \frac{T - T_\infty}{R_{ht} + R_{k_1t} + R_{k_2t}} \right)$$

Luego:

$$\frac{dE}{dt} = - \left(\frac{T - T_\infty}{\frac{1}{A_p \cdot h_c} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi \cdot K_{ac} \cdot L_{cil}} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi \cdot K_{aisl} \cdot L_{cil}}} + \frac{T - T_\infty}{\frac{1}{A_t \cdot h_c} + \frac{L_t}{K_{ac} \cdot A_t} + \frac{L_{ails}}{K_{aisl} \cdot A_t}} \right)$$

Sustituyendo los valores respectivos se obtiene lo siguiente:

$$\frac{dE}{dt} = -[21,89.(T - T_{\infty}) + 2,69.(T - T_{\infty})] = 14669400 \frac{dT}{dt} \quad (4.37)$$

La ecuación diferencial de calor para este caso es:

$$\frac{dT}{dt} + 1,676.10^{-6}.(T - T_{\infty}) = 0$$

Donde al efectuar el siguiente cambio de variable:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{d\theta}{dt} = \dot{\theta}$$

$$T - T_{\infty} = \theta$$

Se obtiene:

$$\frac{d\theta}{dt} + 1,676.10^{-6}.\theta = 0$$

Cuya solución general es:

$$T = T_{\infty} + (T_i - T_{\infty}).e^{-1,676.10^{-6}.t} \quad (4.38)$$

Y la distribución de temperaturas es:

$$T(t) = 303,15 + 55.e^{-1,676.10^{-6}.t} \quad (4.39)$$

Para verificar la efectividad del aislante empleado para el sistema CAVIM, se evalúa la ecuación anterior para un tiempo de prueba de 1 hora:

$$T(3600) = 303,15 + 55 \cdot e^{-1,676 \cdot E \cdot 10^{-6} (3600)} = 357,82 \text{ K}$$

Se observa que el cambio de temperatura al cabo de una hora es menor a un grado centígrado lo que indica que el calor que se pierde es mínimo; se verifica entonces que la tasa a la que disminuye la temperatura en el tanque es:

$$dT/dt = -1,676 \cdot 10^{-6} (T_i - T_\infty) = -0,00009218 \text{ K/s}$$

Con lo que se concluye que el calor que se pierde es mínimo, manteniéndose la temperatura suficientemente estable.

IV.6.5 EFECTO DEL AUMENTO DE LA TASA DE CALOR DE TRANSMISIÓN DE LAS RESISTENCIAS CALENTADORAS ACTUALES SOBRE EL TIEMPO DE CALENTAMIENTO

SUPOSICIONES

- Se mantiene el número actual de resistencias pero se supone la instalación de otras con mayor generación de calor
- Siguiendo el catálogo de CHROMALOX [2], el valor de calor de transmisión inmediato superior a las actualmente instaladas es de 24 kW

Luego la energía generada es:

$$\begin{aligned} \dot{E}_g &= 4 \cdot 24 = 96 \text{ kW} & (4.40) \\ 96000 - 1057,44 \cdot (T - T_\infty) &= 14669400 \frac{dT}{dt} \end{aligned}$$

Y la ecuación que rige el comportamiento del tanque es:

$$\frac{d\theta}{dt} + 7,208 \cdot 10^{-5} \theta = 6,54 \cdot 10^{-3} \quad (4.41)$$

De aquí se tiene que la distribución de temperatura está regida por la siguiente ecuación:

$$T(t) = 303,15 + 90,79 \left(1 - e^{-7,20810^{-5} t} \right) \quad (4.42)$$

Hallando el tiempo para $T=385,15\text{K}$, al sustituir este valor en la ecuación 4.42, se tiene que:

$$358,15 = 303,15 + 90,79 \left(1 - e^{-7,20810^{-5} t} \right)$$

$$t = 1291456 \text{ s} = 3,58 \text{ h} = 3 \text{ horas } 35 \text{ minutos}$$

De aquí se tiene que el tiempo de calentamiento se reduce de 6,5 horas a 3,58 horas mediante la generación de calor con cuatro resistencias de 24 kW.

IV.6.6 EFECTO DE UNA SOLA RESISTENCIA CALENTADORA FUNCIONANDO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA EMPLEANDO EL SISTEMA CAVIM

SUPOSICIONES

- El ANSOL se admite premezclado a 85°C
- Se mantiene en funcionamiento una resistencia para compensar las pérdidas de calor que se disipan en el tanque ($E_g=18$ kW)

$$14669400 \frac{dT}{dt} + 1057,44(T - T_\infty) = 18000$$

$$\frac{dT}{dt} + 7,208 \cdot 10^{-5}(T - T_\infty) = 1,227 \cdot 10^{-3}$$

$$T = 358,15 + \frac{1,227 \cdot 10^{-3}}{7,208 \cdot 10^{-5}} \cdot (1 - e^{-7,20810^{-5}t})$$

Luego, la ecuación de la distribución de temperaturas es:

$$T(t) = 358,15 + 17,022(1 - e^{-7,20810^{-5}t}) \quad (4.43)$$

Para $T = 358,15$ K

$$358,15 = 358,15 + 17,022(1 - e^{-7,20810^{-5}t}) \quad (4.44)$$

$t = 0$ s

Ya que el ANSOL no necesita ser calentado, la energía generada por la resistencia que se mantiene en funcionamiento no es empleada para tal fin; es mantenida encendida para mantener la temperatura del ANSOL; por esto el tiempo de calentamiento es cero segundos, como se observa en la igualdad 4.44.

CAPÍTULO V

AUTOMATIZACIÓN

V.1 GENERALIDADES

A fin de cubrir con los objetivos y alcances establecidos al inicio de este trabajo, este capítulo sugiere un sistema para la automatización de las resistencias calentadoras. De esta manera, se describe brevemente el funcionamiento del equipo, sus partes y características, así como el control de nivel del tanque de ANSOL.

V.2 RECOMENDACIONES PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LAS RESISTENCIAS CALENTADORAS:

En el tanque de ANSOL se tiene una distribución de temperatura más o menos uniforme, siendo la zona de mayores temperaturas la parte inferior del tanque, donde se encuentran instaladas las resistencias. Por esto se desea controlar un nivel de temperatura en el seno del tanque a 85°C (temperatura promedio de la mezcla), y un nivel de protección a 100°C en las cercanías de las resistencias. Los puntos significativos de estos niveles de temperatura, son la zona central del tanque, aproximadamente a 1,5m del fondo para los 85°C, con la termocupla instalada en la pared del tanque, y el fondo del mismo para los 100°C con una termocupla instalada en las cercanías del agitador. El nivel de seguridad, se controlará con un protector que monitoreará esta zona de manera que si se tienen elevaciones indeseadas de la temperatura, envía una señal de apagado a las cuatro resistencias. Por otro lado se tienen dos alarmas en el sistema asociadas al protector. La primera que desconecta las resistencias al elevarse demasiado la temperatura en el fondo al nivel de protección, y una segunda, de emergencia que acciona una bocina en caso de que se tengan elevaciones no controlables de la temperatura.

Esto se logra mediante un controlador y un protector que normalmente son los siguientes:

A) Un controlador principal tipo ON-OFF con banda muerta ajustable, que gobierna al equipo que ejecuta la

acción (en este caso enciende y apaga las resistencias) con su termocupla midiendo la temperatura promedio de la mezcla.

B) Un controlador indicador para protección con doble alarma, que impide que en los alrededores de las resistencias se sobrepase un límite preestablecido cortando el suministro de calor, con una termocupla midiendo la temperatura de esta zona, y una bocina asociada a la segunda alarma.

En el diagrama 5.1 se observa la distribución unifilar de potencia de las resistencias, en el diagrama 5.2 un esquema general del sistema de control y en el 5.3 un esquema general del proceso de control de temperatura:

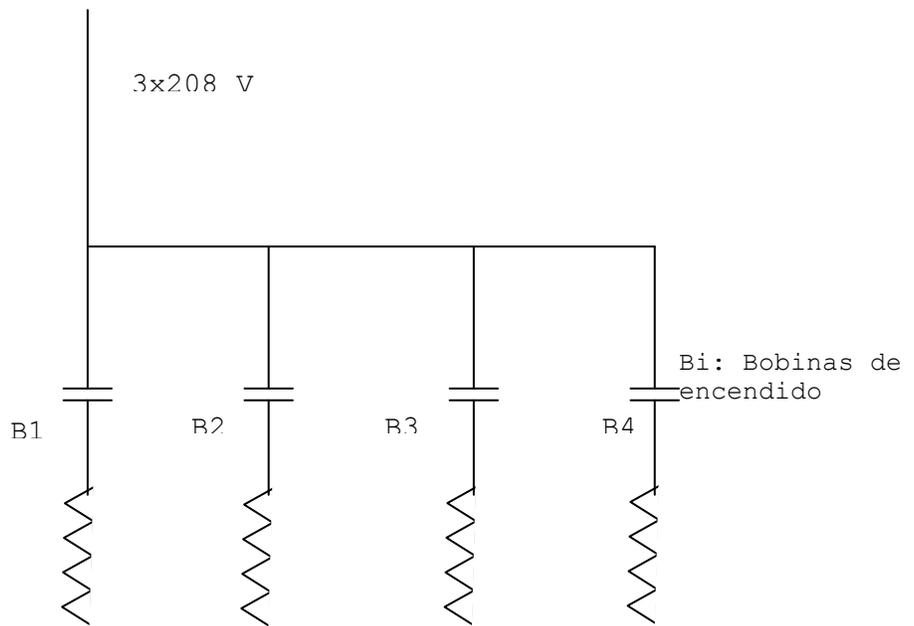
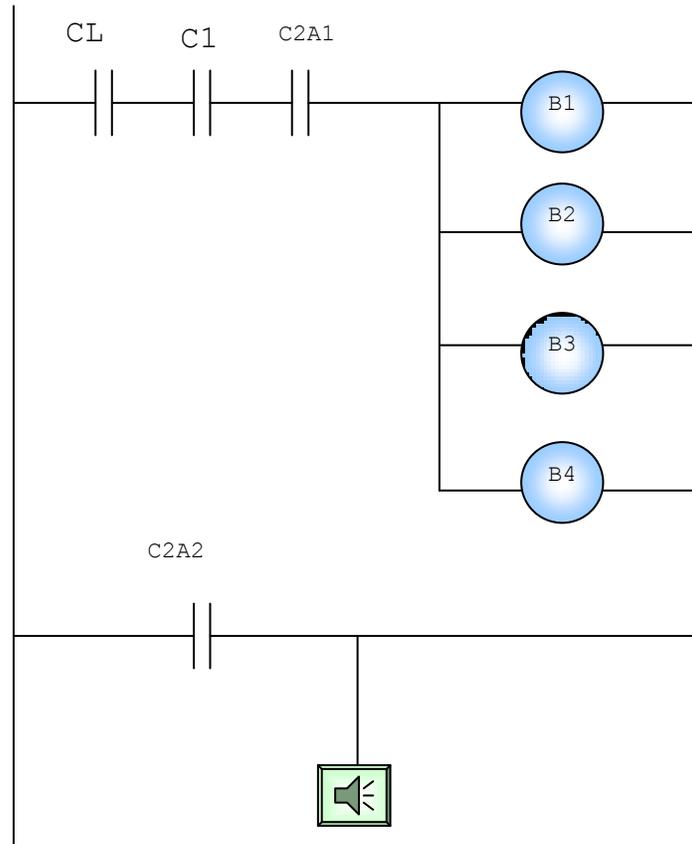
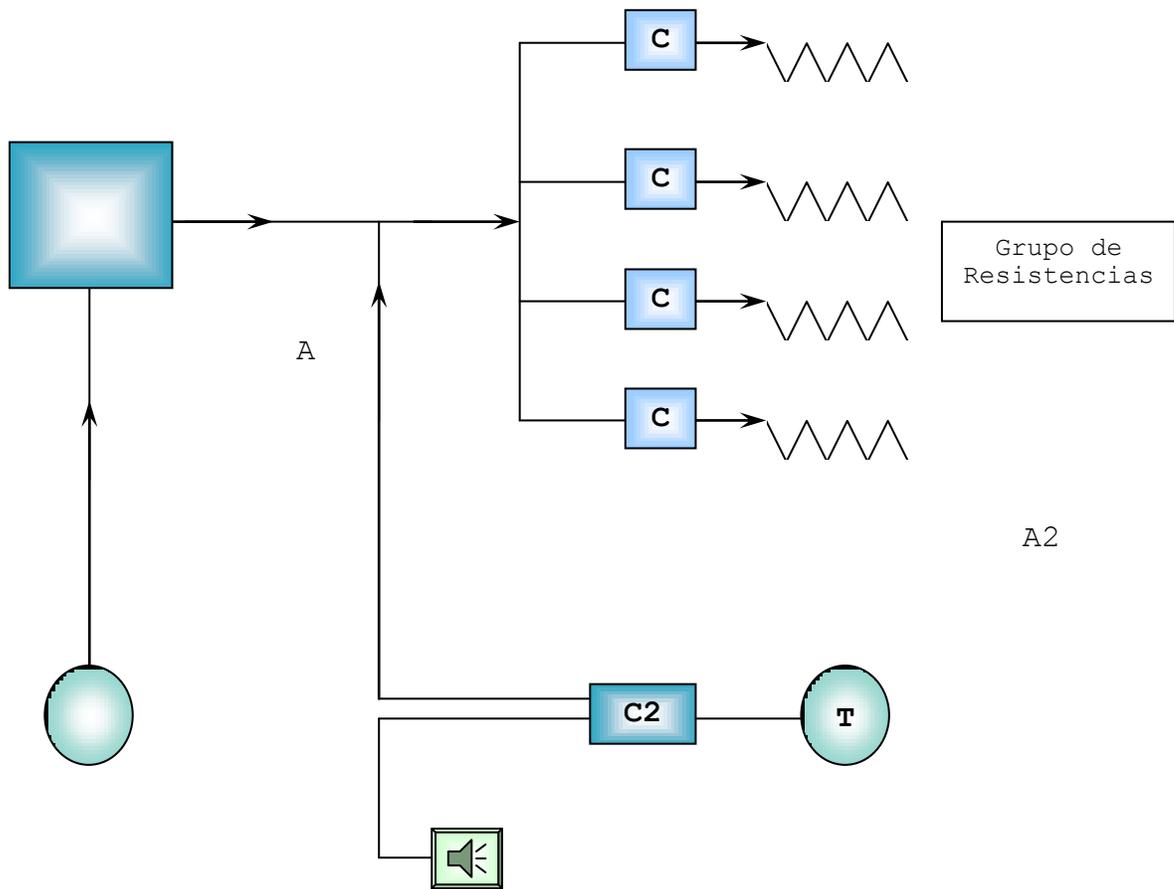


Diagrama 5.1 Esquema unifilar de las resistencias



CL: Contacto de bajo nivel de líquido
C2A1: Contacto de la primera alarma de desconexión
C2A2: Contacto de la bocina de alarma de emergencia
Bi: bobinas de encendido de las resistencias

Diagrama 5.2. Esquema de Control



TC: TERMOCUPLA

C: Contactores trifásicos de las resistencias

C1: Control ON-OFF - Con Banda Muerta Ajustable

C2: Control de Protección Indicador con alarma de alta para desconectar contactores (A1) y segunda alarma para emergencia que activa una bocina cuando el sistema está fuera de control (A2).

Diagrama 5.3. Esquema General del Sistema de Control

V.3 MEDIDORES DE NIVELES PARA EL TANQUE DE ANSOL

Como consecuencia del aumento en la producción, al reducir el tiempo de calentamiento, el tanque de ANSOL debe ser llenado más de una vez por día, por ello se recomienda la instalación de un equipo de control de nivel mediante la utilización de dos interruptores de flotación, como los indicados en el Anexo D, colocados en cada uno de los niveles deseados, es decir, uno en la parte superior del tanque, que envíe una señal de apagado a la bomba de admisión de la mezcla de ANSOL, y otro, que envíe una señal de encendido a la misma colocado por encima de la termocupla de control de temperatura, aproximadamente a 25cm de ésta, para garantizar que esté constantemente sumergida y alejada de la superficie y así evitar que la temperatura controlada no sea muy baja.

CAPÍTULO VI

ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS

VI.1 GENERALIDADES

En este capítulo se dan a conocer las especificaciones de los equipos definitivos y cuyos cálculos se realizaron en el capítulo IV.

También se da una breve indicación o sugerencia sobre la instalación de los equipos o accesorios.

VI.2 AISLANTE TÉRMICO

Tipo de Aislante	Denominación Técnica	Conductividad [W/m.K]	Espesor [cm]	Dimensiones del pliego [m2]	Costo [Bs./rollo]
Fibra de vidrio	Lana AW	0,039	2,5	15x1,22	28600
Lana Mineral	Lana Roca	0,0418	2,5	5x1	45300

Tabla 6.1 Especificación del aislante térmico

Fuente: RIESE INDUSTRIAL

INDICACIONES:

Área total del tanque: 15,90m²

Área de pliego del aislante: 18,30m²

Un pliego de lana aislante es suficiente para aislar todo el tanque.

Sobran $18,30 - 15,90 = 2,40\text{m}^2$ de lana aislante.

Recubrir con aluminio para confinar la lana aislante y para evitar el contacto de la misma con la piel.

Área de pliego de aluminio: 27,30m²

Sobran $27,30 - 15,90 = 11,40\text{m}^2$ de aluminio.

El costo total correspondiente al sistema aislante es de aproximadamente Bs. 103600

**VI.3 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBO
CONCÉNTRICO (TUBO ENCHAQUETADO)**

CARACTERÍSTICA	ESPECIFICACIÓN	
	TUBO INTERNO	TUBO EXTERNO
Material	Acero Inoxidable Sch 40	Acero Inoxidable Sch 40
Diámetro interno	3,51 cm	6,27 cm
Diámetro externo	4,22 cm	7,30 cm
Espesor	3,56 mm	5,16 mm
Diámetro nominal	1 ^{1/4} "	2 ^{1/2} "
Longitud	1,74 m	1,74 m
Bridas	SS 316	SS 316
Aislamiento	-----	Manta de fibra de vidrio

Tabla 6.2 Especificación de ICTC

- Tubo interno: Basado en ANSI B36.19 y BS1600: PARTE 2:1970.
- Tubo externo: Basado en ANSI B36.10 y BS1600: PARTE 2: 1970.

INDICACIONES:

Tubo externo aislado.

Se sugiere emplear el sobrante de lana aislante para el tanque: Área superficial del tubo externo: 0,366m².

Igualmente se recomienda el recubrimiento con lámina de aluminio sobrante.

VI.4 TUBERÍA CONEXIÓN Y ACCESORIOS

Tubería	Material de fabricación	Normativa	Diám. Externo [mm]	Diám. Interno [mm]	Diám. Nominal [pulg.]
Succión	Acero Inoxidable	ANSI B36.10: 1970 y BS 1600: Parte II : 1970	60,3	49,2	2
Descarga	Acero Inoxidable	ANSI B36.10: 1970 y BS 1600: Parte II : 1970	48,3	38,1	1 1/2

Tabla 6.3 Especificaciones de tuberías

Accesorios	Material	Empaques	Temperatura (°C)	Observaciones
Codo 90°	Acero Inoxidable 316	---	---	Tratados térmicamente y fundidos en arena
"T"	Acero Inoxidable 316	---	---	Tratadas térmicamente y fundidas en arena
Válvula de Compuerta	Acero Inoxidable 316	Teflón	178	Resistente a la corrosión química
Válvula de Globo	Acero Inoxidable 316	Asiento metal-metal	178	Cubierta roscada, alta resistencia a la corrosión química
Filtro	Acero Inoxidable 316	---	---	Filtro tipo "strainer"

Tabla 6.4 Especificaciones de accesorios

VI.5 BOMBA ROTATIVA DE ADMISIÓN DE ANSOL

Bomba de Engranajes Internos: Al tratar con solución de Nitrato de Amonio, debe presentar las siguientes características:

Tipo de bomba	Requerimientos Hidráulicos	Requerimientos Mecánicos
Engranajes Internos	Caudal: 22 GPM Presión de Descarga: 10,5 psi (a lo sumo) Altura de Bombeo: 5,28 m NPSH(dis):6,03 m Temperatura Máxima: 204 °C	Motor de 1,5 HP, @ 1750 rpm, Trifásico @ 230/460 V - 60 Hz.

Tabla 6.5 Especificación de equipo de bombeo

Características adicionales:

- Carcasa de hierro endurecido, partes húmedas de acero inoxidable 316, sellos mecánicos de teflón T9 o Vitón T21.
- Válvula de control interna y cojinetes en TBS.

VI.6 AUTOMATIZACIÓN DE LAS RESISTENCIAS CALENTADORAS

Accesorio	Material	Dimensiones	Observaciones
Termocupla	Acero inoxidable 316	Niple de 1/4" de acople con el termopozo	Cabezal de Aluminio, construcción telescópica con muelle de contacto
Termopozo	Acero inoxidable 316	Rosca interna de 1/4", externa de 3/4" y longitud de 7 1/2"	Inserción en el tanque de 7 1/2"

Tabla 6.6 Especificación de los sensores de temperatura

Controlador	Entrada	Salida	Tipo de Operación
Principal	Termocupla tipo j	Relé	on-off con Banda Muerta Ajustable
Protector	Termocupla tipo j	2 relés de alarma	Alarma

Tabla 6.7 Especificación de los controladores

En el Anexo C se observa el dimensionamiento del conjunto termopozo-termocupla, de donde se obtiene el serial que especifica el conjunto:

J49G-S4D-09-08-6HN-31-SL

A continuación se describe el significado de cada una de estas siglas:

- J49G: Termocupla simple con rosca de 1/4".

- S4D: Termopozo de acero inoxidable con rosca externa de $\frac{3}{4}$ ".
- 09: 7 $\frac{1}{2}$ " de inserción.
- 08: Acero inoxidable 316.
- 6HN: Termocupla con niple hexagonal de acero de $\frac{1}{4}$ " de acople al termopozo.
- 31: Cabezal de aluminio.

Las termocuplas y los termopozos escogidos son de la marca Pyromation, y los controladores son de la marca WEST modelos 6100 y 6010. Los costos de los dispositivos antes mencionados se resumen a continuación:

Termopozo: Bs. 45000

Termocuplas: Bs. 34000

Cableado: Bs./m 850

Controlador principal modelo 6100: Bs. 200000

Controlador de protección modelo 6010: Bs. 160000

Relé adicional de alarma: Bs. 30000

Total estimado: Bs. 550000, sin incluir mano de obra.

Fuente: TECNO CICLO CA.

CAPÍTULO VII

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

VII.1 GENERALIDADES

En este capítulo se realiza un análisis de los resultados obtenidos, a fin de evaluar el efecto que éstos tendrán sobre la actual concepción de la planta portátil de explosivos. Se evaluará el sistema-conexión para la admisión del ANSOL, se evaluará la disminución del tiempo de calentamiento de la mezcla en el tanque.

También se evaluará lo referente al estado actual de la planta portátil; su mantenimiento, higiene y seguridad.

VII.2 ANÁLISIS

Como se expuso en la Introducción, la demanda de explosivos aumenta, y como consecuencia se necesita incrementar la producción de la planta portátil. La planta tiene una producción teórica de 248 toneladas al mes, y en la práctica produce 200 toneladas en promedio, lo que arroja una eficiencia del 80%. A pesar de que esta eficiencia es razonablemente elevada se piensa que su producción podría ser aun mayor. Con la instalación original, la planta tardaba 8 horas para producir 5,5 toneladas de emulsión, 6,5 horas eran para calentar el ANSOL y 1,5 horas para emulsificar la mezcla. Al reducir el tiempo de calentamiento por lo menos a 4 horas, se podría obtener una producción de 5,5 toneladas en 5,5 horas, es decir, 1 tonelada por hora; con un consecuente aumento en la producción mensual teórica a 360 toneladas. Manteniendo una eficiencia del 80%, se esperaría una producción real de 288 toneladas al mes, lo cual representa un aumento del 44% en la producción.

A continuación se comparan los valores de producción antes mencionados con los obtenidos con las diferentes variaciones introducidas en la planta.

	Sistema Original	Resultados Esperados	Sistema Tradicional	Sistema CAVIM
Tiempo de Calentamiento para producir 5,5 toneladas de EMULSIÓN (h)	6,5	4	3,15	0
Tiempo empleado para producir 5,5 toneladas de EMULSIÓN (h)	8	5,5	4,65	2,5
Producción Teórica de EMULSIÓN (ton/mes)	248	360	412	900
Producción Real de EMULSIÓN (ton/mes)	200	288	344	792
Incremento en la producción respecto al sistema original (%)	44	72	296

Tabla 7.1. Comparación de resultados

- Con el aislamiento del tanque de ANSOL, el tiempo de calentamiento se redujo en 0,85 horas disminuyéndolo a 3,15 horas, reduciendo el tiempo de producción de las 5,5 toneladas a 4,65 horas. Se tiene entonces una producción mensual real de 344 toneladas, que manteniendo su eficiencia en 80% se obtiene una producción mensual teórica de 412 toneladas. Con esto, la producción se vio elevada en un 72%, muy por encima del 44% esperado con un tiempo de 4 horas estimado inicialmente.

- Si la planta es operada con el ANSOL premezclado que provee CAVIM, el tiempo de calentamiento es cero; por ello el tiempo de producción de 5,5 toneladas de ANSOL se reduce a 1 hora de llenado del tanque, más 1,5 horas de emulsificación, dando un total de 2,5 horas, produciendo 26,4 toneladas de Emulsión por batch (turno de 12 horas diarias). Operando los 30 días del mes, se tiene una producción real de 792 toneladas, que manteniendo nuevamente una eficiencia del 80%, se tendrá una producción mensual teórica de 990 toneladas. Estos valores indican un aumento en la producción del 296%.
- Trabajando con el sistema de admisión de ANSOL, se producen diariamente 26,4 toneladas de Emulsión, lo que representa 24,8 toneladas de ANSOL, que son 22498,2 kilos, o 16070,13 litros. Con esto, el tanque de ANSOL interno se llena 3,2 veces en un día, justificando la instalación de un sistema de control de nivel conectado a la bomba de admisión de ANSOL de manera que se automatice el llenado del tanque.
- Con lo arriba mencionado, se observa que el tiempo de calentamiento es decisivo en la producción de la planta. Una reducción en 0,85 horas (51 minutos) sobre el tiempo de calentamiento estimado, trajo como consecuencia un aumento del crecimiento de la producción en un 28%, por ello se hace imprescindible instalar y mantener adecuadamente los equipos recomendados, en especial los referentes al tanque de

ANSOL, ya que es aquí donde está involucrado el flujo de calor.

Como se dio a conocer en el capítulo II, según la inspección se observó, evaluó y concluyó que la planta portátil se encontraba en un estado aceptable que cumple los requerimientos mínimos para su funcionamiento. No obstante, se dijo anteriormente, que la misma presenta deficiencias en cuanto a higiene y seguridad industrial. Por ello, a continuación se acotan los siguientes resultados:

- Falta de barandas en los laterales de las escaleras portátiles que dan acceso al trailer.
- No se observó algún extintor en la pared del trailer.
- No todos los reductores tenían guardas protectoras.
- Las conexiones eléctricas estaban rematadas con cinta adhesiva aislante.
- Sólo un lateral en el techo del trailer presentaba barandas.
- Los envases con contenido químico encontrados en el laboratorio no estaban debidamente identificados.
- A los peldaños de la escalera portátil les falta mantenimiento.
- Se observó que la planta no contaba con material absorbente para casos de derrame.
- No se encontraron avisos de riesgo eléctrico en el tablero principal.
- No se encontraron identificados todos los tanques con el nombre de la sustancia que contienen.

- No se observó alguna medida de seguridad para evitar el impacto ambiental que puedan ocasionar derrames de los químicos utilizados en la planta.

CONCLUSIONES

- La instalación de una planta fija de producción de Emulsión en Guasare, trajo como consecuencia el abandono de la planta portátil, mermando su capacidad de producción y confiabilidad.
- La implantación de nuevas tecnologías es determinante en la producción. El sistema de admisión de ANSOL elimina el tiempo invertido en el calentamiento. La producción en la planta se incrementó en un 296%.
- Con la aplicación de la manta de lana AW (fibra de vidrio) se reduce notablemente la tasa de calor que se disipa por la pared y la superficie superior del tanque de ANSOL. El tiempo de calentamiento del ANSOL, en el sistema tradicional, se redujo de 6,5 horas a 3,15 horas, con lo cual, la producción de emulsión en la planta portátil se incrementa en un 72%.
- Con la implementación del sistema de admisión de ANSOL, se producen diariamente 26,4 toneladas de Emulsión, de las cuales 24,8 son de ANSOL. Esto implica el consumo diario de un isotanque de esta mezcla (22 toneladas).
- No sólo la instalación de nuevas tecnologías, el reemplazo de equipos o cualquier otra modificación

física hacen a la planta eficiente; también es necesario considerar como una prioridad la seguridad industrial de la planta, así como también la higiene dentro de la misma y el impacto que pueda producir al medio ambiente. Por esto último, se debe construir una fosa de 1 m de profundidad y una base de 10 x 4 m², con la finalidad de recoger los materiales que eventualmente puedan ser derramados

- El proceso de calentamiento del ANSOL en el tanque por medio de las resistencias calentadoras debe ser automatizado, para así lograr una mayor confiabilidad en el proceso que se realiza en la planta portátil.

- El rodete de la bomba interna de ANSOL tiene que ser cambiado periódicamente, lo cual se debe evitar. Por lo tanto el material del rodete de la bomba actual debe ser cambiado. Otra opción es reemplazar la bomba de rotor flexible por una de engranajes.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda llevar a cabo un estudio de mercado en otras localidades en las que exista demanda de explosivos a fin de reubicar la planta portátil y aprovechar su potencial.
- Es recomendable instalar el sistema-conexión del ANSOL que se diseñó en el capítulo IV. Se recomienda aislar el tubo externo del intercambiador de calor con el mismo material aislante empleado en el tanque de ANSOL. Asimismo, es recomendable tener disponible una toma de agua para limpiar el filtro y para cualquier eventualidad en el circuito cerrado de agua.
- Es recomendable recubrir la manta de fibra de vidrio con láminas de aluminio para confinar las partículas aislantes. También es recomendable ya que este material expide partículas dañinas para la piel de los operarios de la planta.
- Se recomienda la instalación de un sistema de almacenamiento de ANSOL de mayor capacidad, la instalación de un tanque de ANSOL interno más grande, o el almacenamiento de la Emulsión y la paralización de la planta según la demanda del explosivo.
- Es recomendable realizar un plan de mantenimiento correctivo y preventivo a los tanques, bomba de

cavidad progresiva, emulsificador, sistemas reductores, etc. Igualmente se recomienda poner al día la instalación en cuanto a seguridad industrial, cumpliendo con las normativas vigentes estipuladas para este caso.

- Se recomienda emplear concreto para recubrir las paredes de la fosa. Asimismo se recomienda el frisado de las superficies de la fosa, y su recubrimiento con un material absorbente conocido como *geotextil*, a fin de asegurar la no absorción por parte del terreno.
- Se recomienda la aplicación del sistema automatizado descrito en el capítulo V, ya que es sencillo, de fácil instalación, económico y cumple con los requerimientos exigidos para el fin en cuestión.
- Es recomendable que el material del rodete de la bomba interna de ANSOL sea nitrilo o nordel®; son más duraderos y sugeridos por la casa que comercializa este tipo de bombas. Si se decide reemplazar la bomba, se recomienda una de engranajes similar a la seleccionada en la admisión del ANSOL pero a las condiciones de operación establecidas para este proceso.

BIBLIOGRAFIA

- [1] **CAMERON**, "Hydraulic Data", décima séptima edición, INGERSOLL-RAND, USA, 1990, 416 pág.

- [2] **CHROMALOX (KENT)** "Electric Heating Products, Controls and Systems", Emerson Electric CO, Pittsburgh, USA, 1988, 656 pág.

- [3] **CRANE, División de Ingeniería**, "Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías", McGraw-Hill, México, 1992, 188 pág.

- [4] **CREUS, S., Antonio**, "Instrumentación Industrial", 4ta. Edición, Editorial Marcumbo, Barcelona, España, 1979, 717 pág.

- [5] **FREITES José y Eduardo ASSOWAD**, "Seminario de Explosivos y Voladura", Publicado por Quarterdeck y Exploservicios, Caracas, 2000, 68 pág.

- [6] **HOLMAN, J. P.**, "Transferencia de Calor", 8^a edición, McGraw-Hill, Madrid, España, 1998, 484 pág.

- [7] **INCROPERA, F. y D. DeWitt**, "Fundamentos de Transferencia de Calor". 4^a edición., PRENTICE HALL, México, 1999, 657 pág.

- [8] **KAYS, W. y A. LONDON**, "Compact Heat Exchangers", 2da. Edición, McGraw-Hill Company, New York, 1964, 356 pág.
- [9] **KERN, Donald**, "Procesos de Transferencia de Calor", Editorial Continental, México, 1965, 435 pág.
- [10] **MC. NAUGHTON, Kenneth**, "Bombas: Selección, Uso y Mantenimiento", Editorial McGraw-Hill, México, 1992, 373 pág.
- [11] **MICROSOFT**, "Enciclopedia Encarta", Microsoft Corporation, USA, 1997.
- [12] **NEUMAIER, Robert**, "Hermetic Pumps", Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1997.
- [13] **OGATA**, "Automatización Industrial"
- [14] **OLDSHUE, James**, "Fluid Mixing Technology", Editorial McGraw-Hill, New York, 1983, 565 pág.
- [15] **PERRY, John H.**, "Manual Del Ingeniero Químico", McGraw-Hill Book Company INC. USA, 1978.
- [16] **POTTER, Merle y Wiggert, David**, "Mecánica De Fluidos" 2° Edición. Editorial Prentice Hall, 1997, 752 pág.

- [17] **REVARD, James**, "The Progressing Cavity Pump Handbook", Penwell Book, Estados Unidos de Norteamérica, 1995.

WEB SITE VISITADOS:

- [18] <http://www.brownon.com/msdsdreser>
[19] <http://www.deepacknitrite.com>
[20] <http://www.mcmaster.com>
[21] <http://www.orica.com>
[22] <http://www.oricaexplosives.com>
[23] <http://www.orica-specialtychemicals.com>
[24] <http://www.orica-miningchemicals.com>
[25] <http://www.pumpschool.com>

ANEXOS