



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DE UNA PLANTA DE FOSFATACIÓN AL  
MANGANESO, POR INMERSIÓN, PARA  
HERRAMIENTAS DE TRANSPORTE DE PETRÓLEO EN  
LA EMPRESA SERTECPET S.A. – BASE COCA”**

**TESIS DE GRADO**

**PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADO POR:**

**STEVEN RENE MEDINA CELA**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2014**

Agradezco a Dios por brindarme el regalo de la vida, a mi madre brindarme su amor incondicional, a mi esposa por alentarme constantemente, a mi tío por ser un ejemplo en el campo profesional.

También agradezco a los ingenieros César Ávalos y Marco Chuiza por el apoyo conferido durante mi formación profesional así como también, en la realización de este trabajo de investigación.

A mis amigos, compañeros y docentes de la Facultad de ciencias

*Al amor, sacrificio, confianza y perseverancia  
de mi madre, María del Pilar Cela.*

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El tribunal de tesis certifica que: el trabajo de investigación “DISEÑO DE UNA PLANTA DE FOSFATACIÓN AL MANGANESO. POR INMERSIÓN, DE HERRAMIENTAS PARA TRANSPORTE DE PETRÓLEO EN LA EMPRESA SERTECPET S.A. – BASE COCA”, de responsabilidad del señor Steven Rene Medina Cela ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizado su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Silvio Álvarez DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS	.....	.....
Ing. Mario Villacrés DIRECTOR DE ESCUELA	.....	.....
Ing. César Ávalos DIRECTOR DE TESIS	.....	.....
Ing. Marco Chuiza MIEMBRO DEL TRIBUNAL	.....	.....
Tec. Carlos Rodríguez DIRECTOR CENTRO DE DOCUMENTACIÓN	.....	.....
Nota de Tesis Escrita	.....	

“Yo STEVEN RENE MEDINA CELA, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

---

STEVEN RENE MEDINA CELA

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<i>A. L.</i>	<i>Acidez libre</i>
<i>A. T.</i>	<i>Acidez total</i>
<i>C</i>	<i>Concentración</i>
<i>C<sub>0</sub></i>	<i>Concentración inicial</i>
<i>E</i>	<i>Eficiencia mecánica de la bomba</i>
<i>F</i>	<i>Factor de relación</i>
<i>f</i>	<i>Factor de fricción</i>
<i>ft<sup>2</sup></i>	<i>Pies cuadrados</i>
<i>HDT</i>	<i>Altura dinámica total</i>
<i>HP</i>	<i>Caballos de fuerza</i>
<i>h</i>	<i>Entalpía específica</i>
<i>ID</i>	<i>Diámetro interno de X – Over</i>
<i>h<sub>L</sub></i>	<i>Pérdidas totales</i>
<i>K</i>	<i>Coefficiente de resistencia de los accesorios</i>
<i>kW</i>	<i>Kilovatio</i>
<i>kWh</i>	<i>Kilovatio hora</i>
<i>L</i>	<i>Longitud</i>
<i>L</i>	<i>Litro</i>
<i>m</i>	<i>Metro</i>

$m$	<i>Masa</i>
$mL$	<i>Militro</i>
$m^2$	<i>Metro cuadrado</i>
$m^3$	<i>Metro cúbico</i>
$m^3/s$	<i>Metro cúbico por segundo</i>
$N_{Re}$	<i>Número de Reynolds</i>
$OD$	<i>Diámetro externo de X – Over</i>
$\emptyset$	<i>Diámetro de tubería</i>
$P$	<i>Presión</i>
$P$	<i>Peso del cupón</i>
$P_A$	<i>Potencia hidráulica</i>
$P_N$	<i>Potencia nominal de la bomba</i>
$Q$	<i>Calor</i>
$q$	<i>Calor específico</i>
$Q_V$	<i>Caudal volumétrico</i>
$Q_{aux}$	<i>Caudal volumétrico auxiliar</i>
$R$	<i>Relación de acidez</i>
$S$	<i>Superficie del cupón</i>
$V$	<i>Volumen</i>
$V_{op}$	<i>Volumen de operación</i>

$V_{aux}$	<i>Volumen auxiliar de operación</i>
$v$	<i>Velocidad</i>
$W$	<i>Peso de capa</i>
$X$	<i>Ancho de tanque</i>
$X_C$	<i>Ancho de canasta</i>
$Y$	<i>Longitud de tanque</i>
$Y_C$	<i>Longitud de canasta</i>
$Z$	<i>Altura de tanque</i>
$Z_C$	<i>Altura de canasta</i>
$z$	<i>Altura hidrostática</i>



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pp
AGRADECIMIENTO .....	2
DEDICATORIA .....	3
HOJA DE FIRMAS .....	4
RESPONSABILIDAD DEL AUTOR .....	5
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	6
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	9
ÍNDICE DE FIGURAS .....	11
ÍNDICE DE TABLAS .....	11
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	15
ÍNDICE DE ANEXOS .....	16
RESUMEN .....	i
SUMMARY .....	ii
INTRODUCCIÓN .....	iii
ANTECEDENTES .....	iv
JUSTIFICACIÓN .....	vi
OBJETIVOS .....	vii
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>- 25 -</b>
1.1 HISTORIA DE LA PROTECCIÓN FOSFÁTICA .....	- 25 -
1.1.1 PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN QUÍMICA.....	- 25 -
1.1.2 HISTORIA DE LOS TRATAMIENTOS FOSFÁTICOS.....	- 26 -
1.2 TEORÍA DE LA FOSFATACIÓN.....	- 28 -
1.2.1 PRINCIPIOS DE LA FOSFATACIÓN .....	- 28 -
1.2.2 REACCIONES QUÍMICAS DE LA FOSFATACIÓN .....	- 29 -
1.2.3 ACIDEZ LIBRE Y ACIDEZ TOTAL.....	- 30 -
1.2.4 ACELERANTES DE LA FOSFATACIÓN.....	- 31 -
1.3 COMPOSICIÓN DE LOS BAÑOS FOSFATANTES.....	- 36 -
1.3.1 ÁCIDO FOSFÓRICO.....	- 36 -
1.3.2 FOSFATOS DE HIERRO .....	- 37 -
1.3.3 FOSFATOS DE ZINC.....	- 38 -
1.3.4 FOSFATOS DE MANGANESO.....	- 38 -
1.4 FACTORES INFLUYENTES EN LA FORMACIÓN DEL RECUBRIMIENTO.....	- 38 -
1.4.1 COMPOSICIÓN DEL METAL BASE .....	- 38 -
1.4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL METAL A FOSFATAR .....	- 40 -
1.4.3 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE.....	- 40 -
1.4.4 CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN FOSFATANTE.....	- 41 -
1.4.5 TEMPERATURA DE TRABAJO.....	- 42 -
1.5 ETAPAS DEL PROCESO DE FOSFATACIÓN.....	- 42 -
1.5.1 DECAPADO CON ÁCIDOS .....	- 44 -
1.5.2 DESENGRASE .....	- 46 -
1.5.3 ENJUAGUES INTERMEDIOS .....	- 49 -
1.5.4 ACTIVADO.....	- 50 -
1.5.5 FOSFATADO .....	- 51 -
1.6 PROPIEDADES DE LOS RECUBRIMIENTOS FOSFÁTICOS .....	- 57 -

1.7	APLICACIONES DE LOS RECUBRIMIENTOS FOSFÁTICOS.....	- 57 -
1.8	DEFECTOS EN LOS RECUBRIMIENTOS FOSFÁTICOS .....	- 58 -
1.9	CONEXIONES TENARIS BLUE®.....	- 60 -
1.9.1	DISEÑO DEL SELLO.....	- 60 -
1.10	IMPORTANCIA DEL RECUBRIMIENTO DE FOSFATO DE MANGANESO EN LAS CONEXIONES TENARIS BLUE® .....	- 60 -
<b>CAPÍTULO II .....</b>		<b>- 63 -</b>
2.1	METODOLOGÍA .....	- 63 -
2.1.1	SIMULACIÓN DEL PROCESO.....	- 63 -
2.1.2	ENSAYOS DE LABORATORIO .....	- 66 -
2.1.3	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	- 67 -
2.2	DATOS EXPERIMENTALES .....	- 68 -
2.2.1	DATOS DE LAS DIMENSIONES DE LOS CUPONES .....	- 68 -
2.2.2	DATOS DE LAS SOLUCIONES DE TRABAJO .....	- 70 -
2.2.3	DATOS DE PESOS DE CAPA A CONCENTRACIÓN DE 210 mL..	- 73 -
2.2.4	DATOS DE PESOS DE CAPA A DIFERENTES CONCENTRACIONES - 74 -	
2.2.5	DATOS DE ACIDEZ .....	- 77 -
2.3	DATOS ADICIONALES .....	- 79 -
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>- 84 -</b>
3.1	CÁLCULOS .....	- 84 -
3.1.1	CÁLCULO DE LOS PESOS DE CAPA.....	- 84 -
3.1.2	CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE ACIDEZ Y EL FACTOR DE RELACIÓN ENTRE CONCENTRACIÓN Y ACIDEZ TOTAL .....	- 88 -
3.1.3	DISEÑO DE LA CANASTA CONTENEDORA DE X - OVER.....	- 91 -
3.1.4	DISEÑO DE LOS TANQUES DE DESENGRASE, AFINADO, FOSFATADO Y NEUTRALIZADO .....	- 93 -
3.1.5	DISEÑO DE LOS TANQUES DE ENJUAGUE .....	- 109 -
3.1.6	PREPARACIÓN DE LOS BAÑOS DEL PROCESO .....	- 125 -
3.1.7	CONTROL QUÍMICO DEL BAÑO FOSFATANTE .....	- 127 -
3.1.8	BALANCE DE ENERGÍA PARA CADA ETAPA DEL PROCESO -	128 -
3.1.9	CÁLCULO DE LOS COSTOS DE CALEFACCIÓN EN FUNCIÓN DE LOS BALANCES DE ENERGÍA .....	- 130 -
3.2	RESULTADOS .....	- 132 -
3.3	PROPUESTA.....	- 137 -
3.4	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	- 138 -
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>- 141 -</b>
4.1	CONCLUSIONES .....	- 141 -
4.2	RECOMENDACIONES.....	- 142 -
BIBLIOGRAFÍA .....		<b>143</b>
ANEXOS .....		<b>145</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.2.4.1.2 – 1: Esquema de las reacciones que tienen lugar en un baño acelerado con nitratos o con nitratos y nitritos.....	33
Figura 1.5 – 1: Diagrama de flujo de un proceso general de fosfatación.....	44
Figura 1.5.3 – 1: Tipos de tanques de enjuague.....	50
Figura 1.5.5.1.1 – 1: Sección de un tanque para fosfatar, con fondo inclinado.....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.2.3 – 1: Titulante e indicadores usados para determinar acidez libre y acidez total.....	31
Tabla 1.4.4 – 1: Relación entre el pH y la relación de acidez en una solución fosfatante a base de fosfato de manganeso.....	42
Tabla 1.5.1 – 1: Comparación de las características decapantes de los ácidos sulfúrico, clorhídrico y fosfórico.....	45
Tabla 1.5.2 – 1: Propiedades fisicoquímicas del tricloroetileno y percloroetileno.....	47
Tabla 1.5.5.1.1 – 1: Aceros inoxidables utilizados para instalaciones de fosfatado.....	52
Tabla 1.5.5.1.1 – 2: Potencia eléctrica necesaria para suplir las pérdidas de calor de un tanque, a través de su superficie y paredes, en kW-h/m <sup>2</sup> .....	55
Tabla 1.8 – 1: Resumen esquemático de los defectos que pueden presentar los recubrimientos fosfáticos.....	59
Tabla 2.1.3 – 1: Descripción de los métodos de análisis.....	67
Tabla 2.2.1 – 1: Dimensiones de cupones circulares AISI 4140.....	68

Tabla 2.2.1 – 2: Dimensiones de cupones rectangulares AISI 4130.....	69
Tabla 2.2.2 – 1: Parámetros fisicoquímicos de los baños del proceso.....	70
Tabla 2.2.2 – 2: Parámetros fisicoquímicos del agua de alimentación.....	70
Tabla 2.2.2 – 3: Alcalinidad a la fenolftaleína y total del desengrasante Kleanex 40....	71
Tabla 2.2.2 – 4: pH de la solución afinadora de Fosfation 16.....	71
Tabla 2.2.2 – 5: Alcalinidad a la fenolftaleína y total de la solución neutralizante Ferrinox 3.....	71
Tabla 2.2.2 – 6: Potencial hidrógeno del agua de enjuague tanto después del desengrase como del fosfatado.....	72
Tabla 2.2.2 – 7: Generación de precipitados en la etapa de fosfatado durante 1 hora de operación.....	73
Tabla 2.2.3 – 1: Pesos de los cupones circulares AISI 4140 a temperatura variable y tiempo constante de 20 min.....	74
Tabla 2.2.3 – 2: Pesos del cupón circular AISI 4140 a temperatura de 95° C y tiempo 10 min.....	74
Tabla 2.2.3 – 3: Pesos de los cupones circulares AISI 4140 a tiempo variable y temperatura constante de 80 °C.....	74
Tabla 2.2.3 – 4: Pesos del cupón circular AISI 4140 a temperatura de 90° C y tiempo 5 min.....	74
Tabla 2.2.4 – 1: Pesos del cupón circular AISI 4140 a temperatura de 90 ° C y tiempo 10 min.....	74
Tabla 2.2.4 – 2: Pesos del cupón circular AISI 4140 a temperatura de 80 ° C y tiempo 5 min.....	75
Tabla 2.2.4 – 3: Pesos del cupón circular AISI 4140 a temperatura de 80 ° C y tiempo 5 min.....	75
Tabla 2.2.4 – 4: Pesos de los cupones circulares AISI 4140 a temperatura de 90° C y tiempo 5 min.....	75

Tabla 2.2.4 – 5: Prueba 1 de peso de capa de los cupones rectangulares AISI 4130. Temperatura de 90 °C y tiempo de 5 min.....	76
Tabla 2.2.4 – 6: Prueba 2 de peso de capa de los cupones rectangulares AISI 4130. Temperatura de 90 °C y tiempo de 5 min.....	76
Tabla 2.2.4 – 7: Prueba 3 de peso de capa de los cupones rectangulares AISI 4130. Temperatura de 90 °C y tiempo de 5 min.....	76
Tabla 2.2.5 – 1: Valores de acidez las soluciones empleadas desde el cupón STP-Mn-015 hasta el cupón STP-Mn-020.....	77
Tabla 2.2.5 – 2: Prueba 1 de valores de acidez de las soluciones empleadas en los cupones rectangulares AISI 4130. ....	77
Tabla 2.2.5 – 3: Prueba 2 de valores de acidez de las soluciones empleadas en los cupones rectangulares AISI 4130. ....	78
Tabla 2.2.5 – 4: Prueba 3 de valores de acidez de las soluciones empleadas en los cupones rectangulares AISI 4130. ....	78
Tabla 2.2.5 – 5: Promedio de valores de acidez de las soluciones empleadas en los cupones rectangulares AISI 4130. ....	78
Tabla 2.3 – 1: Dimensiones del X – Over.....	79
Tabla 2.3 – 2: Datos para el cálculo de las dimensiones de la canasta.....	79
Tabla 2.3 – 3: Datos para el cálculo de las dimensiones de los tanques de desengrase, de afinado, de fosfatado y de neutralizado.....	79
Tabla 2.3 – 4: Datos de las dimensiones de los tanques de enjuague.....	80
Tabla 2.3 – 5: Pesos de capa para recubrimientos de fosfato de manganeso.....	80
Tabla 2.3 – 6: Datos de entalpía específica de agua saturada.....	81
Tabla 2.3 – 7: Viscosidad dinámica del baño fosfatante .....	81
Tabla 2.3 – 8: Condiciones estándar del aire.....	81
Tabla 2.3 – 9: Tamaños sugeridos de tubería para aire comprimido.....	81
Tabla 2.3 – 10: Valores límite de potencial hidrógeno en el agua de enjuague.....	82
Tabla 2.3 – 11: Rugosidad del acero inoxidable y del PVC.....	82

Tabla 2.3 – 12: Características técnicas del compresor de aire.....	82
Tabla 2.3 – 13: Poder calorífico del gas licuado de petróleo. ....	82
Tabla 3.1.1.1 – 1: Pesos de capa de los cupones circulares AISI 4140 a temperatura variable y tiempo constante de 20 min.....	84
Tabla 3.1.1.1 – 2: Pesos de capa del cupón circular AISI 4140 a temperatura de 95° C y tiempo 10 min.....	85
Tabla 3.1.1.1 – 3: Pesos de capa de los cupones circulares AISI 4140 a tiempo variable y temperatura constante de 80 °C.....	85
Tabla 3.1.1.1 – 4: Pesos de capa del cupón circular AISI 4140 a temperatura de 90° C y tiempo 5 min.....	85
Tabla 3.1.1.2 – 1: Pesos de capa del cupón circular AISI 4140 a temperatura de 90 ° C y tiempo 10 min.....	86
Tabla 3.1.1.2 – 2: Pesos de capa del cupón circular AISI 4140 a temperatura de 90 ° C y tiempo 5 min.....	86
Tabla 3.1.1.2 – 3: Pesos de capa del cupón circular AISI 4140 a temperatura de 80 ° C y tiempo 5 min.....	86
Tabla 3.1.1.2 – 4: Pesos de capa de los cupones circulares AISI 4140 a temperatura de 90° C y tiempo 5 min.....	86
Tabla 3.1.1.2 – 5: Prueba 1 de peso de capa de los cupones rectangulares AISI 4130. Temperatura de 90 °C y tiempo de 5 min.....	87
Tabla 3.1.1.2 – 6: Prueba 2 de peso de capa de los cupones rectangulares AISI 4130. Temperatura de 90 °C y tiempo de 5 min.....	87
Tabla 3.1.1.2 – 7: Prueba 3 de peso de capa de los cupones rectangulares AISI 4130. Temperatura de 90 °C y tiempo de 5 min.....	87
Tabla 3.1.1.2 – 8: Promedio de los pesos de capa de los cupones rectangulares AISI 4130. Temperatura de 90 °C y tiempo de 5 min.....	88
Tabla 3.1.2 – 1: Valores de R y F desde los cupones STP-Mn-015 hasta STP-Mn-020.....	89
Tabla 3.1.2 – 2: Prueba 1 de valores de R y F de las soluciones empleadas en los cupones rectangulares AISI 4130.....	89
Tabla 3.1.2 – 3: Prueba 2 de valores de acidez de las soluciones empleadas en los cupones rectangulares AISI 4130.....	90

Tabla 3.1.2 – 4: Prueba 3 de valores de acidez de las soluciones empleadas en los cupones rectangulares AISI 4130.....	90
Tabla 3.1.2 – 5: Promedio de valores de acidez de las soluciones empleadas en los cupones rectangulares AISI 4130.....	90
Tabla 3.1.5.1 – 1: Concentración de iones hidronio en el agua de enjuague.....	112
Tabla 3.1.5.1 – 2: Variación de concentración de iones hidronio en el agua de enjuague.....	113
Tabla 3.2 – 1: Pesos de capa que cumplen con el procedimiento TSH.PP.00.0018 de los cupones circulares AISI 4140 a temperatura de 90° C y tiempo 5 min.....	132
Tabla 3.2 – 2: Promedio de los parámetros de fosfatación de los cupones rectangulares AISI 4130. Temperatura de 90 °C y tiempo de 5 min.....	142
Tabla 3.2 – 3: Dimensiones de los tanques de proceso.....	134
Tabla 3.2 – 4: Concentración de producto químico de las etapas de fosfatado.....	135
Tabla 3.2 – 5: Condiciones de operación del proceso de fosfatación.....	135
Tabla 3.2 – 6: Condiciones de acidez recomendadas para el baño fosfatante.....	136
Tabla 3.2 – 7: Potencia de las bombas.....	136

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.4.4 – 1: Relación entre el pH y la relación de acidez en una solución fosfatante a base de fosfato de manganeso.....	41
Gráfico 3.1.2 – 1: Esquema de la disposición de los 49 X – Over en la canasta contenedora.....	91
Gráfico 3.1.5.1 – 1: pH vs números de enjuagues.....	111
Gráfico 3.1.5.1.1 – 1: pH vs número de enjuagues post – desengrase.....	115

Gráfico 3.1.5.1.2 – 1: pH vs número de enjuagues post – fosfatado.....	121
Gráfico 3.2 -1: Peso de capa vs concentración, cupones circulares AISI 4140 a temperatura de 90° C y tiempo 5 min.....	132
Gráfico 3.2 – 2: Comparación de pesos de capa con la especificación en TSH.PP.00.0018.....	133
Gráfico 3.2 – 3: Acidez total vs concentración, cupones rectangulares AISI 4130 a temperatura de 90° C y tiempo 5 min.....	134
Gráfico 3.2 – 4: Comparación de costos de calefacción por carga.....	136

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo N° 1 – Cupones circulares fosfatados al manganeso.....	144
Anexo N° 2 – Simulación del proceso de fosfatación.....	144
Anexo N° 3 – Cupón rectangular AISI 4130 fosfatado al manganeso.....	145
Anexo N° 4 – Baño fosfatante de manganeso.....	145
Anexo N° 5 – Conexión TSH Blue®.....	146
Anexo N° 6 – Costo estimativo de inversión de la planta de fosfatación.....	147
Anexo N° 7 – Plano 3D de la Planta de Fosfatación.....	148



## RESUMEN

La investigación es un diseño una planta de fosfatación al manganeso, por inmersión, de herramientas para transporte de petróleo en la empresa Sertecpet S.A. – Base Coca, situada en la ciudad del Coca, provincia de Orellana.

El método experimental fue empleado para identificar las variables del proceso correspondientes a la fosfatación. Para la simulación, se realizaron ensayos en los laboratorios pertenecientes a Sertecpet; mediante el uso de dispositivos como: balanza, medidor de pH, equipo de titulación. Las variables que fueron determinadas son: pesos de capa, temperatura, acidez libre y acidez total. Las técnicas de laboratorio tienen su base científica en los procedimientos estandarizados de Tenaris Hydril (TSH) y en los métodos normalizados US Military Standards (MIL – STD) y la American Society For Testing And Materials (ASTM).

Utilizando una concentración de 80 mL/L del producto químico Fosfation 40, mediante una inmersión de 5 minutos a una temperatura de 90 °C, se obtienen cupones fosfatados de superficie uniforme y con buena adherencia, cuyo peso de capa es de 1979 mg/ft<sup>2</sup>.

En conclusión, los parámetros establecidos en el proceso de fosfatación al manganeso, permiten obtener recubrimientos fosfáticos de acuerdo al procedimiento TSH.PP.00.0018. Se recomienda a los técnicos de la empresa el control diario de la acidez del baño fosfatante y la medición del pH en las etapas de enjuague.

## SUMMARY

The present research is a design of manganese phosphate plant, by immersion, of tools for oil transportation in the Sertecpet S.A. Company – Base Coca, located in Coca city, Province of Orellana.

The experimental method was used to identify the variables of the process corresponding to the phosphating. For the simulation, assays were carried out in the Sertecpet Laboratories; through the use of devices such as: scale, pH meter, titration equipment. The determined variables were: weight of layer, temperature, free acidity, and total acidity. The laboratory techniques have their scientific base in the standardized procedures of Tenaris Hydril (TSH), the US Military (MIL – STD) and standardized methods and the American Society for Testing and Materials (ASTM).

Using a concentration of 80ml/L of chemical product Fosfation 40, through an immersion of 5 minutes to 90 °C, phosphate coupons are obtained with a uniform surface with a good adherence, which weight of layer is 1979 mg/ft<sup>2</sup>.

In conclusion, the parameters established in the manganese phosphate process, allows to get phosphate coating according to the TSH.PP.00.0018 procedure. It is recommended to the technician of the company the daily control of the acidity of the phosphating bathing and pH measurement in the stages of rinsing.

## INTRODUCCIÓN

Los tratamientos termoquímicos representan una forma de modificar las propiedades de los materiales ferrosos; en el caso de la fosfatación, conferir resistencia a la corrosión y evitar el gripado de las superficies metálicas.

El trabajo de investigación fue realizado dentro de las instalaciones de la empresa Sertecpet S.A. – Base Coca. La planta de producción fabrica herramientas para el transporte de crudo, la mayoría de ellas son de acero al carbono. Algunas de estas herramientas pueden tener conexiones especiales tales como TSH Sec® y TSH Blue®. La empresa también cuenta con un área de tratamientos termoquímicos, en la cual se realizan el proceso de fosfatación al zinc por inmersión de los X – Over y otras herramientas mecanizadas.

El diseño de una planta de fosfatación al manganeso por inmersión pretende cumplir con las especificaciones establecidas en los procedimientos de Tenaris Hydрил: TSH-CP-01.0001, TSH-PP-00.0006 y TSH-PP-00.0018; los cuales hacen referencia a que el box de una conexión TSH Blue® debe estar protegida por un recubrimiento de fosfato de manganeso. La simulación del proceso fue realizada mediante el uso del método experimental, con el cual se logró identificar y establecer las variables del proceso: temperatura, tiempo de inmersión y acidez. A través de estos estudios se concretó la obtención del peso de capa deseado especificado en los procedimientos normalizados.

## ANTECEDENTES

Sertecpet S.A. es una empresa ecuatoriana fundada en 1990 dedicada a brindar servicios petroleros en la región amazónica. Para este fin, la empresa cuenta con una planta de producción elabora piezas y herramientas que son utilizadas para extraer y transportar crudo de los yacimientos petrolíferos.

Sertecpet S.A. es una de las empresas más eficientes en la prestación de servicios petrolíferos que cuenta con las certificaciones ISO 9000, ISO 14000, OHSAS 18000, API y Tenaris; las cuales avalan el trabajo llevado a cabo por la empresa.

Actualmente, la Planta de Producción de Sertecpet cuenta con la mejor tecnología para la fabricación de las partes de la bomba Jet, X Over y otras herramientas para la extracción y transporte de crudo. La planta cuenta con tornos de mecanizado para la elaboración de estas piezas.

Algunos de estos tipos de herramientas, después de haber finalizado el proceso de mecanizado, deben adquirir ciertos recubrimientos con el fin de mejorar las propiedades del material. Estos recubrimientos se consiguen mediante la implementación de un proceso termoquímico. Dentro de este tipo de procesos, se pueden mencionar los siguientes:

Nitruración, es un proceso que consiste en la obtención de un recubrimiento de alta dureza superficial. Se consigue introduciendo al metal, ya sea en un baño de sales de nitrógeno, o en una atmósfera rica en nitrógeno o gas amoníaco. La temperatura de trabajo es entre 400 y 550 °C. Sertecpet emplea este proceso para el endurecimiento superficial del housing de la bomba Jet, la empresa encargada de brindar este servicio es Bohler, ubicada en la ciudad de Quito.

La fosfatación al zinc por inmersión, es otro proceso termoquímico a través de la cual se obtienen un recubrimiento que protege al material base de la corrosión. Además sirve como una excelente capa intermedia entre la pintura y el metal. La etapa de desengrase y enjuague de las herramientas es de forma manual mientras que la etapa de fosfatado es por inmersión. En la ciudad de Francisco de Orellana, Weatherford y Sertecpet son las únicas empresas que poseen el proceso de fosfatación al zinc y que cuentan con la certificación respectiva de Tenaris Hydril. Sertecpet logró la certificación de este proceso por Tenaris Hydril el 29 de junio de 2011.

El proveedor de los productos químicos para la fosfatación al zinc es representado por la empresa Bycsa. Esta empresa ha facilitado con el asesoramiento y la capacitación al personal técnico encargado de monitorear el proceso.

Otros de los procesos termoquímicos que Sertecpet ha logrado calificar y certificar por parte de Tenaris Hydril es la fosfatación al manganeso, sin embargo la planta industrial está en fase de implementación dado que se requiere diseñar cada etapa del proceso de tal manera que casi todas ellas sean por inmersión.

## JUSTIFICACIÓN

Sertecpet trabaja con los estándares más altos de calidad vigentes; algunas de las piezas de tubería fabricada por ellos poseen conexiones (roscas) especiales, una de ellas es la TSH Blue®. Dicha conexión requiere de la aplicación de un recubrimiento de fosfato de manganeso, el cual le confiere protección contra la corrosión, además facilita el proceso enroscado y desenroscado de la tubería. Hoy en día sólo dos empresas en el país que están certificadas para fabricar la rosca Tenaris Blue, Weatherford y Sertecpet.

Actualmente Sertecpet no cuenta con un proceso de fosfatado al manganeso, debido a este motivo, la empresa se ve en la necesidad de implementar el proceso en cuestión con el propósito de satisfacer la demanda del cliente y cumplir con los parámetros de calidad. Por tal motivo, el objetivo de este trabajo es el diseño de una planta de fosfatación al manganeso por inmersión. El diseño contempla las etapas de desengrase, enjuague, afinado, fosfatado, enjuague post fosfatado y neutralizado. El recubrimiento de fosfato de manganeso debe cumplir con las especificaciones impuestas por Tenaris Hydril que están enmarcadas en los procedimientos TSH-CP-01.0001, TSH-PP-00.0006 y TSH-PP-00.0018; estas especificaciones hacen referencia que el peso de capa del recubrimiento está comprendido entre 1020 y 2320 mg/ft<sup>2</sup>.

Bycsa también en esta ocasión ha puesto en disposición la información necesaria para lograr la certificación de la fosfatación al manganeso por inmersión.

Considerando estos motivos, Sertecpet S.A. decidió financiar los estudios que sean necesarios para diseñar la planta de fosfatación al manganeso por inmersión.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una planta de fosfatación al manganeso, por inmersión, para herramientas de transporte de petróleo en la empresa Sertecpet S.A. – Base Coca

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar ensayos del proceso a escala de laboratorio.
- Establecer las condiciones óptimas de operación del proceso.
- Determinar las variables de diseño y diseñar la planta de fosfatación.
- Validar el sistema diseñado mediante pruebas de peso de capa de acuerdo al procedimiento de Tenaris Hydril TSH-PP-00.0018.

# **CAPÍTULO I**

## **Marco Teórico**



## CAPÍTULO I

### 1.1 HISTORIA DE LA PROTECCIÓN FOSFÁTICA

#### 1.1.1 PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN QUÍMICA

La corrosión química es un problema que afecta a los materiales compuestos de metales no nobles, provocando que estos pierdan electrones, es decir, que se oxiden y vuelvan a sus diversos estados naturales tales como óxido, hidróxidos, sales, etc. Este fenómeno ocasiona grandes pérdidas económicas debido al mantenimiento de los equipos y en diversos casos, la sustitución de los mismos. El hierro es uno de los metales en donde la corrosión causa mayores problemas; reacciona con la atmósfera y con soluciones acuosas a temperatura ambiente. Debido a esto los materiales compuestos de hierro y acero empiezan a corroerse, comprometiendo la integridad de las estructuras y equipos.

Actualmente existen varias formas para combatir la corrosión, entre ellos se pueden mencionar los siguientes:

**Selección de materiales resistentes a la corrosión.-** Consiste en seleccionar el material más económico de acuerdo a las necesidades del proceso. Para tener una idea de qué tipo de material es el adecuado, es necesario recurrir a una simulación experimental del proceso en cuestión para evaluar el comportamiento del material frente al fluido del trabajo.

**Modificación del medio ambiente.-** Si se logran realizar variaciones en el medio ambiente, se obtienen diferencias notables en la corrosión de los metales. La extracción del oxígeno del ambiente de trabajo puede ocasionar cambios importantes en la corrosión;

un ejemplo es el empleo de secuestrantes de oxígeno en el agua de alimentación de calderas.

**Inhibidores de corrosión.**- Existen diversas sustancias que son empleadas como aditivos a los medios corrosivos para disminuir la corrosión de los metales. Ejemplos típicos de inhibidores son los cromatos, los fosfatos, los silicatos, los sulfuros orgánicos, las aminas, entre otros.

**Recubrimientos y revestimientos.**- La utilización de materiales no metálicos como recubrimientos combinados con el acero u otros materiales, es una de las maneras más importantes para combatir la corrosión. Existen diversos tratamientos que otorgan revestimientos, tales como: cromado, nitrurado, fosfatado, etc.

El fosfatado es un tratamiento termoquímico que consiste en poner en contacto los materiales (de hierro, acero, aluminio, etc.) en una solución de fosfatos ácidos de manganeso, hierro o manganeso. Los materiales o piezas adquieren en su superficie una película de fosfatos de los metales mencionados. Esta película presenta una resistencia a la corrosión y confiere una base adherente para los aceites y pinturas.

### **1.1.2 HISTORIA DE LOS TRATAMIENTOS FOSFÁTICOS**

A continuación se mostrará una breve reseña histórica de la fosfatación:

**1849:** De Bussy indicó que las piezas de hierro y acero podrían mejorar su resistencia a la corrosión al sumergirlas, calentadas previamente al rojo, en una mezcla de polvo de carbón y dihidrógeno fosfato de calcio.

**1869:** Ross obtuvo la primera patente para la protección del hierro con ácido fosfórico; consistía en sumergir las piezas al rojo vivo en ácido fosfórico.

**1879:** A. B. Brown y W. P. Brown realizaron un procedimiento similar en donde se sumergía las piezas de hierro calientes en una solución de fosfato monoácido de sodio y amonio.

**1906:** T. W. Coslett llevó a cabo una serie de patentes que indicaban la adición de pedazos de hierro en el baño de ácido fosfórico durante la fosfatación; con esto se buscaba reducir la acidez libre y disminuir los efectos violentos de la reacción que se tenía a lugar. Coslett también consideró que es conveniente mantener una acidez libre tan baja como sea posible, que el valor del recubrimiento dependía de la relación entre acidez total y acidez libre, que la capa fosfática puede ser aceitada para aumentar la protección contra la corrosión. Además indicó que la adición de ciertos agentes (boratos) para reducir el tiempo de fosfatado.

**1908:** H. L. Heathcote sugirió el empleo de una solución fosfatante similar a la de Coslett; la solución estaba compuesta de fosfato biácido de hierro en ácido fosfórico.

**1909:** W. E. Bullock y J. Calcott propusieron que sumergir las piezas como cátodos en una solución de ácido fosfórico y fosfato de ácido ferroso con el propósito de aumentar el valor protector del recubrimiento.

**1909:** Coslett señaló que mediante el empleo de un baño fosfatante de fosfato biácido de manganeso se obtenía una mejora en la adherencia del recubrimiento, además de conseguir una mayor uniformidad del mismo.

**1911:** Richards describió que una solución de fosfato biácido de manganeso disuelto en ácido fosfórico es el baño adecuado para la producción de recubrimientos fosfáticos sobre el hierro y acero.

Cabe mencionar que Allen estudió el comportamiento de las soluciones de fosfato biácido de manganeso con cierta cantidad de ácido fosfórico libre. Allen recalcó la importancia de la relación acidez total / acidez libre sobre la calidad protectora de la película. Parker Rust Proof Company, de Detroit, adquirió las patentes de este autor, lanzó un procedimiento llamado “parkerización”.

**1929:** I. G. Farberindustrie A. G. de Francfort introdujo un baño a base de fosfato de manganeso en Europa. El producto se denominaba Atramentol B, compuesto de una solución concentrada de fosfato ácido manganeso mangánico con una cierta cantidad de ácido fosfórico libre.

La adición de acelerantes en los baños fosfáticos fue un importante descubrimiento, debido a la reducción del tiempo de operación de 30-60 minutos a tan solo 1-5 minutos.

**1933:** E. A. Walters, fundador de la firma The Walteriation Co., logró la preparación de un baño estable a base de fosfatos de hierro.

Todos estos hallazgos y trabajos realizados han marcado el camino de los procesos fosfáticos de la actualidad. Hoy en día se usan baños fosfatantes acelerados, de hierro, manganeso o manganeso, con etapas preliminares e intermedias que logran producir recubrimientos que protegen de una manera confiable a las piezas contra la corrosión.

## **1.2 TEORÍA DE LA FOSFATACIÓN**

### **1.2.1 PRINCIPIOS DE LA FOSFATACIÓN**

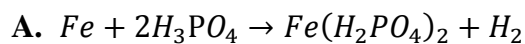
Un metal sufre una disolución en su superficie cuando se somete a la acción de un ambiente corrosivo, obteniéndose productos de corrosión, y dependiendo de su naturaleza, influyen en ataques posteriores de la superficie metálica.

Los productos de corrosión pueden comportarse de dos formas; si son solubles y forman una película deficiente en adherencia y uniformidad, la corrosión continúa ocasionando el deterioro global del material. En cambio, si los productos de corrosión precipitan en la superficie de la pieza formando compuestos insolubles compactos que presentan una buena adherencia, se logra obtener detener el ataque del medio corrosivo.

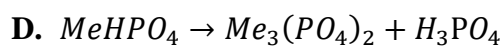
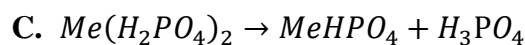
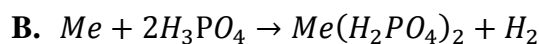
Los recubrimientos fosfáticos se basan en el principio del último ejemplo, otorgando un revestimiento protector a la superficie de las piezas de hierro y acero. Mediante el contacto de las piezas con una solución compuesta de ácido fosfórico y algunas de sus sales, se logra la precipitación de una película cristalina formada por fosfatos metálicos. Esta película se caracteriza por poseer una gran adherencia.

### 1.2.2 REACCIONES QUÍMICAS DE LA FOSFATACIÓN

El ácido fosfórico libre a la temperatura de trabajo reacciona rápidamente con la superficie del metal, permitiendo la formación del dihidrógeno fosfato de hierro, la liberación de hidrógeno y la neutralización del ácido fosfórico libre. En esta capa el ácido fosfórico se comporta como disolvente del metal.



Los dihidrógenos fosfatos de hierro, manganeso y manganeso se hidrolizan fácilmente en sus soluciones acuosas, de acuerdo a las siguientes ecuaciones, en donde Me es un metal con un número de oxidación +2.

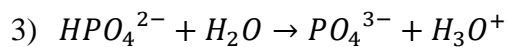
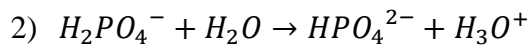
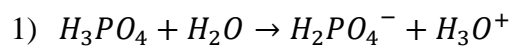


En la reacción A, se tiene la neutralización del ácido fosfórico libre, la cual provoca que las reacciones B, C y D se lleven a cabo. Cuando se comienza a consumir el ácido fosfórico en el ataque, los fosfatos neutros insolubles, al sobrepasar su producto de solubilidad en la película interfacial, precipitan en la superficie del metal.

### 1.2.3 ACIDEZ LIBRE Y ACIDEZ TOTAL

L. O. Gilbert estableció el punto de iniciación de la precipitación (P.I.P.) mediante un estudio experimental del proceso químico de la fosfatación. El P.I.P. es el primer punto de inflexión de las curvas de valoración de pH<sup>1</sup>.

La precipitación y cristalización de los fosfatos metálicos tienen lugar sólo cuando éstos sobrepasan su producto de solubilidad; este fenómeno depende del pH de la solución, el cual está en función de la concentración de iones hidronio existente. El ácido fosfórico, al ser un ácido triprótico, presenta la siguiente ionización:



De las cuales, sólo las dos primeras son apreciables respecto a la última ionización.

Si a la solución fosfática se la valora con hidróxido de sodio estándar, se obtendrán dos puntos de inflexión en la curva de valoración. El primer punto indica la liberación del primer protón del ácido fosfórico, mientras que al segundo punto corresponde al punto final de la valoración de los iones hidrógeno liberados de la primera y segunda ionización, es decir, la acidez existente de la solución.

---

<sup>1</sup> L.O. Gilbert. – Technical Proceedings A.E.S., 1956. ). Resumido de “La Fosfatación” A. Castellot

La acidez libre responde a la acidez valorada hasta el primer punto de inflexión, mientras que la acidez total es aquella que se valora hasta el segundo punto de inflexión. En términos más simples, la **acidez libre** corresponde a la primera desprotonación del ácido fosfórico, mientras que la **acidez total** es la que resulta de la liberación de los tres protones del ácido.

Existe otro parámetro denominado relación de acidez, el cual es el cociente entre la acidez total y la acidez libre. Matemáticamente se expresa así:

$$R = \frac{AT}{AL}$$

En donde R es relación de acidez; AT, acidez total y AL, acidez libre.

**Tabla 1.2.3 – 1: Titulante e indicadores usados para determinar acidez libre y acidez total**

	Acidez libre	Acidez total
Titulante	Hidróxido de sodio 0.1 N estandarizado	Hidróxido de sodio 0.1 N estandarizado
Indicador	Azul de bromofenol	Fenolftaleína

Fuente: CASTELLOT. A., La Fosfatación

#### **1.2.4 ACELERANTES DE LA FOSFATACIÓN**

Cualquier sistema o sustancia que reducen el tiempo de operación de un proceso fosfatante, se encuentra dentro de la categoría de acelerante. Existen diversos mecanismos para acelerar el fosfatado, dentro de los cuales se pueden tener acelerantes químicos, mecánicos y electrolíticos; los mismos que pueden utilizarse individualmente o combinados entre sí.

### **1.2.4.1 ACELERANTES QUÍMICOS**

Consiste en adicionar productos químicos que favorecen la reacción de fosfatación, estos productos pueden ser: metales pesados más nobles que el hierro, oxidantes y compuestos orgánicos.

#### **1.2.4.1.1 METALES PESADOS**

Un metal pesado actúa en el sistema de formación de película fosfática, de tal manera, que crea una diferencia de potencial entre él y el hierro. Debido a este fenómeno, el metal pesado precipita en las diminutas zonas catódicas formadas en la superficie del metal, obteniéndose un incremento en la velocidad de disolución del hierro, alcanzado, más rápido el pH requerido para el P.I.P. en la interfase y, por consiguiente, la formación de la capa fosfática.

Entre los compuestos de los metales pesados empleados en los baños fosfatantes se encuentra las sales de cobre y níquel. Sin embargo en la actualidad este tipo de aceleración no es muy usada por la deficiente calidad de los recubrimientos.

#### **1.2.4.1.2 SUSTANCIAS DE NATURALEZA OXIDANTE**

Este tipo de acelerantes son los más utilizados en la actualidad, ya que son muy versátiles al utilizarse tanto en los baños fosfatantes de zinc como en los de manganeso. Dentro de la variedad de estos productos se encuentran los nitratos, los nitritos, los cloratos y los peróxidos; sólo los primeros generan resultados favorables, mientras que el resto tiende a oxidar el ion ferroso a férrico, produciendo la formación de precipitados de fosfato férrico.

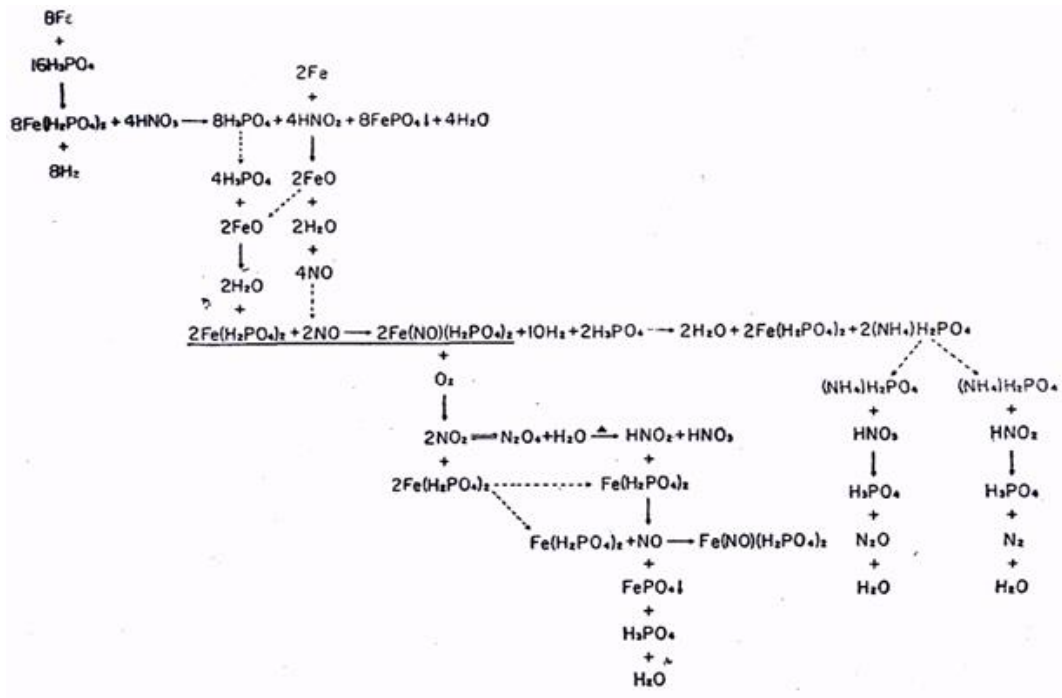


### 1.2.4.1.2.1 NITRATOS

Son los compuestos oxidantes más ampliamente más usados en las soluciones fosfatantes. Se pueden usar individualmente o en combinación con nitritos y cloratos para obtener recubrimientos de peso medio en procesos de fosfatación por proyección a baja temperatura.

Los nitratos inician una serie de reacciones que generan productos que actúan como despolarizantes en la superficie del metal base. Generalmente la concentración de nitratos en los baños fosfatantes es entre el 1 y 2.5 %.

**Figura 1.2.4.1.2 – 1: Esquema de las reacciones que tienen lugar en un baño acelerado con nitratos o con nitratos y nitritos.**



Fuente: CASTELLOT, A., La Fosfatación

**Cuadro 1.2.4.1.2 – 1: Iones presente en las soluciones fosfatantes aceleradas.**

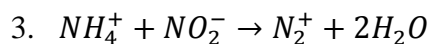
Iones presentes	Tipo de acelerante			
	Nitrato		Nitrito - Nitrato	
	En la solución	En la interfaz	En la solución	En la interfaz
<b>Hierro ferroso</b> $Fe^{2+}$	Presente	Presente	Ausente	Presente
<b>Ferroso-nitroso</b> $Fe[NO]^{2+}$	Presente	Presente	Ausente	Presente
<b>Nitrito</b> $NO_2^-$	Ausente	Presente	Presente	Presente
<b>Nitrato</b> $NO_3^-$	Presente	Presente	Presente	Presente

Fuente: CASTELLOT, A., La Fosfatación

Un baño de fosfatación inicial, el cual carece de ion ferroso, manifiesta un desprendimiento de gas hidrógeno y de hierro ferroso al introducir la primera carga de piezas; los nitratos sufren una reducción de acuerdo a las siguientes reacciones:

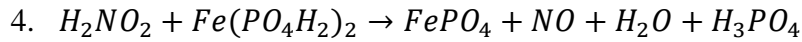
1.  $6HNO_3 + 10 Fe + 19H_3PO_4 \rightarrow 16FePO_4 + 18H_2O + 3(NH_4)H_2PO_4$
2.  $6HNO_3 + 10 Fe + 10H_3PO_4 \rightarrow 10FePO_4 + 18H_2O + 3N_2$

En las reacciones 1 y 2 se puede apreciar la reducción del ion nitrato, pudiendo ser debidas la formación del nitrógeno a la reacción de los iones nitrito y amonio existentes en la interfase de acuerdo con la reacción:

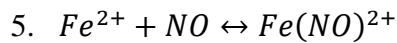


La ausencia del ion ferroso en una solución nueva no permite la iniciación de una serie de reacciones secundarias que generan óxidos de nitrógeno. Sin embargo, al presentarse

el ion ferroso en la solución, éste reacciona con los nitratos, teniendo lugar la siguiente reacción

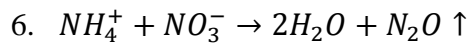


El monóxido de nitrógeno formado puede reaccionar de nuevo con el ion ferroso produciendo un complejo nitroso-ferroso:



Este complejo puede liberar monóxido de nitrógeno a temperaturas elevadas.

El óxido de dinitrógeno que se encuentra entre los gases desprendidos durante la fosfatación, se forma posiblemente durante la reacción del amoníaco con los nitratos en solución caliente:



De acuerdo a las ecuaciones químicas presentadas, se tiene que la presencia del ion ferroso en el baño cambia el orden de las reacciones en el baño, y por consiguiente, la composición de los gases desprendidos.

Según Gilbert, concluye lo siguiente respecto a los baños acelerados tanto con nitratos como con nitratos y nitritos:

1. En los baños acelerados con nitratos, un aumento en la concentración del ion ferroso origina monóxido de nitrógeno, el mismo que forma parte del complejo nitroso-ferroso en la película interfacial.
2. En los baños acelerados con nitratos y nitritos, un incremento en la concentración de ácido nitroso impide la acumulación del ion ferroso, deteniendo la producción del complejo nitroso-ferroso indicado.

Gilbert describe que el complejo nitroso-ferroso es la especie química que inicia la fuerte aceleración de los baños fosfáticos; funciona como reductor respecto al ion nitrito y como oxidante respecto al hidrógeno.

#### **1.2.4.1.2.2 NITRITOS**

Los nitritos son empleados como aditivos en los baños que contienen nitratos; tienen cierta acción limitante sobre la concentración de ion ferroso en la solución fosfatante. Las películas fosfáticas obtenidas con este tipo de acelerantes corresponden a pesos de capa de 50 a 100 mg/dm<sup>2</sup>. Estos baños son operados a una temperatura menor que los baños acelerados con nitratos; de esta forma se evita la reducción del ácido nitroso y se facilita la aplicación por proyección.

#### **1.2.4.1.2.3 CLORATOS**

Los cloratos tienen un efecto similar a la acción de los nitratos, sin embargo presentan un control más riguroso que estos últimos.

### **1.3 COMPOSICIÓN DE LOS BAÑOS FOSFATANTES**

#### **1.3.1 ÁCIDO FOSFÓRICO**

El ácido fosfórico u ortofosfórico, de fórmula H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, se obtiene industrialmente, ya sea tratando fosfato de calcio pulverizado con ácido sulfúrico, u oxidando el fósforo a anhídrido fosfórico. El ácido fosfórico utilizado en los procesos fosfatantes debe poseer la siguiente composición:

- |                 |               |
|-----------------|---------------|
| ➤ Concentración | 85 % - 89%    |
| ➤ Densidad      | 1.75 - 1.80   |
| ➤ Arsénico      | hasta 20 ppm  |
| ➤ Cloruros      | hasta 100 ppm |

- Fluoruros hasta 20 ppm
- Plomo hasta 20 ppm
- Sulfatos hasta 40 ppm
- Aluminio hasta 20 ppm
- Sílice hasta 0.5 %

El ácido fosfórico es un ácido triprótico, y sus tres hidrógenos son sustituibles dando lugar a tres clases de compuestos:

Fosfatos primarios o biácidos, obtenidos cuando el primer hidrógeno es reemplazado por un catión. Estos compuestos son solubles en agua.

Fosfatos secundarios o monoácidos, son el resultado de la sustitución del primer y segundo hidrógeno. El catión sustituyente influye en la solubilidad de estos compuestos.

Fosfatos terciarios o neutros, obtenidos cuando los tres átomos de hidrógeno son reemplazados. Estos fosfatos son prácticamente insolubles.

### 1.3.2 FOSFATOS DE HIERRO

**Fosfatos ferrosos.**- El mineral vivianita corresponde al fosfato ferroso octahidratado, se lo puede encontrar en la naturaleza así como también puede ser sintetizado. En soluciones en equilibrio, se puede hallar el sistema  $\text{FeO-P}_2\text{O}_5\text{-H}_2\text{O}$ .

**Fosfatos férricos.**- Estos fosfatos son poco solubles en agua; se forman en soluciones ácidas y tienden a descomponerse para producir compuestos más alcalinos. Sin embargo, los fosfatos férricos son solubles en medios básicos.

### **1.3.3 FOSFATOS DE ZINC**

El fosfato de zinc tetrahidratado, utilizado como componente en los baños de fosfatar. Confiere un mejor recubrimiento resistente a la corrosión respecto a los fosfatos de hierro.

### **1.3.4 FOSFATOS DE MANGANESO**

El dihidrógeno fosfato manganeso dihidratado es el fosfato más utilizado en los baños de fosfatación. Este fosfato pierde su agua de cristalización a 100 °C; en presencia de agua formando hidrógeno fosfato manganeso y ácido fosfórico.

## **1.4 FACTORES INFLUYENTES EN LA FORMACIÓN DEL RECUBRIMIENTO**

Debido a que la fosfatación, básicamente, es un proceso de cristalización interfacial, pueden existir algunos factores que influyen en la formación del recubrimiento tales como:

- Composición del metal a fosfatar.
- Características físicas del metal a fosfatar.
- Preparación de la superficie.
- Composición del baño fosfatante.
- Concentración del baño fosfatante.
- Temperatura de trabajo.

### **1.4.1 COMPOSICIÓN DEL METAL BASE**

La composición del metal a tratar modifica con facilidad la formación de la película y su estructura cristalina.

En los aceros aleados, la fosfatación presenta ciertos inconvenientes debido a la presencia de varios metales en la aleación, que de una u otra manera interfieren con el proceso de formación del recubrimiento fosfático. Geyer, en sus estudios, observó que los aceros de baja aleación, el cromo, el molibdeno y el níquel provocan cierta activación sobre el metal. Sin embargo, aceros con composiciones de 6 % de Ni, 4% de Cr y 3 – 8 % de Mo, producen una gran disminución en la reacción de fosfatación.

J. W. Gutman<sup>2</sup> llevó a cabo ciertas investigaciones acerca de la formación y resistencia a la corrosión de diversos aceros, obteniendo las siguientes conclusiones:

- Los mejores resultados se obtienen con aleaciones que contienen aisladamente Ni, Si, Mn y W.
- La presencia de dos metales, en la aleación, tales como el Mo, V, W y Cr generan resultados defectuosos debido a la tendencia de los mencionados metales a formar carburos estables.
- La presencia de cobre desfavorece la formación del recubrimiento.

L. Shuster<sup>3</sup> consideró imposible la obtención de recubrimientos uniformes y de grano fino sobre aceros que presenten la siguiente composición:

- 2 % Cr, 2 % Ni;
- 1.4 % Cr, 1 % Ni;
- 2 % Cr, 4 % Si;
- 0.6 % Cr, 1.1 % C;
- 1.2 % W, 1.15 % C;

---

<sup>2</sup> GUTMAN, J. W. – Metallurgist (Russ), 29-46-311-313 (1934). Resumido de “La Fosfatación” A. Castellot

<sup>3</sup> SCHUSTER, L. – Korros. U Metalls, 265-9 (1934). ). Resumido de “La Fosfatación” A. Castellot

➤ 12 % Cr

Aceros que posean más de 12 % de Cr en su composición son prácticamente imposibles de fosfatar; el metal se encuentra pasivado haciendo inútil el ataque por parte de la solución fosfatante.

#### **1.4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL METAL A FOSFATAR**

Algunas características físicas del metal a fosfatar que influyen en la formación del recubrimiento son: el grado de aspereza el metal base, la clase de mecanizado a la que el metal fue sometido, las tensiones internas de los materiales deformados en frío, etc.

El mejor estado superficial para la fosfatación es en donde las piezas han sido arenadas en húmedo, esmeriladas o chorreadas con granalla; el recubrimiento que se obtiene es de grano fino. Superficies muy lisas son la causa de la formación de cristales irregulares y gruesos.

#### **1.4.3 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE**

En todo tipo de procesos de recubrimiento, es preponderante que la superficie del metal a tratar debe estar completamente limpia y libre de cualquier contaminante.

El desengrase, el decapado, el arenado y el tratamiento en tambor son métodos usuales de preparación de superficie de los metales. Los recubrimientos formados a partir de una superficie completamente limpia tendrán como principal característica cristales de menor tamaño, mientras que aquellos que se produjeron en una superficie sucia poseerán cristales más bastos.



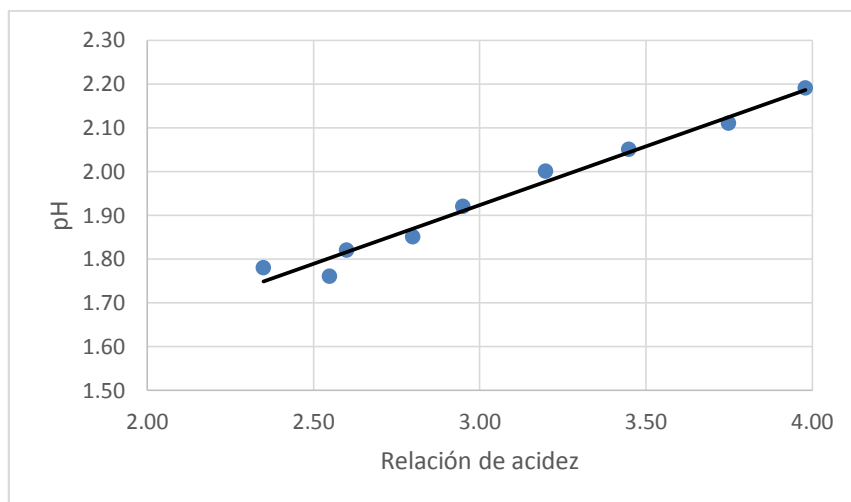
#### 1.4.4 CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN FOSFATANTE

La concentración de los componentes de una solución fosfatante tienen gran influencia en el recubrimiento, este factor queda reflejado la resistencia que presenta éste ante la corrosión.

La relación acidez total / acidez libre es otro factor que debe permanecer dentro de los parámetros establecidos por los fabricantes del baño fosfatante. Cuando esta relación es muy baja (elevada acidez libre), el tiempo de tratamiento se extiende, se encarece el valor protector del recubrimiento. Una relación de acidez alta (baja acidez libre) provoca la precipitación de fosfatos insolubles en todo el baño.

Una solución que presente disolución excesiva, desencadena un aumento rápido del pH, principal motivo de la precipitación de los fosfatos, mientras que una solución concentrada hace que el pH no descienda adecuadamente, haciendo que el tratamiento dure mayor tiempo.

**Gráfico 1.4.4 – 1: Relación entre el pH y la relación de acidez en una solución fosfatante a base de fosfato de manganeso.**



Fuente: CASTELLOT, A. La Fosfatación

**Tabla 1.4.4 – 1: Relación entre el pH y la relación de acidez en una solución fosfatante a base de fosfato de manganeso**

Gramos/litro de fosfato biácido de manganeso	Acidez total de la solución	Número de horas necesarias para notar la corrosión sobre la superficie de las probetas sumergidas en una solución de NaCl al 3 %	Duración del tratamiento en minutos
4.0	42.0	70	7
3.5	35.5	70	8
3.0	31.0	68	10
2.5	24.8	60	25
2.0	20.0	55	45
1.5	16.2	46	65
1.0	11.4	40	100

Fuente: CASTELLOT, A., La Fosfatación

Como se puede observar, un aumento en la concentración de la solución fosfatante hace que el tiempo de duración del recubrimiento se incremente en un ambiente corrosivo.

#### **1.4.5 TEMPERATURA DE TRABAJO**

La temperatura de trabajo es otro factor de importancia en la formación de la película fosfática. El descenso de la temperatura ocasiona un aumento del tiempo de tratamiento y una reducción del valor protector del recubrimiento.

### **1.5 ETAPAS DEL PROCESO DE FOSFATACIÓN**

Debido a la naturaleza fisicoquímica del proceso de fosfatación, éste es realizado por cargas o de modo intermitente. La fosfatación suele consistir en una serie de etapas que pueden o no omitirse dependiendo de la aplicación o uso final de la pieza tratada. Cuando

las piezas o herramientas a fosfatar salen del taller de mecanizado, usualmente tienen una capa de óxido o cascarilla, también presentan una película de grasa que es utilizada durante el mecanizado de las piezas.

Con el propósito de obtener un recubrimiento fosfático de alta calidad, la superficie de metal debe estar totalmente libre de grasa y óxidos. Las grasas no permiten una correcta fosfatación, obteniendo resultados mediocres, por tal motivo es necesario un desengrase inicial de las piezas. Si la capa de óxido es difícil de eliminar, se recurre a una operación de decapado para eliminarlos. Es importante destacar que después del desengrase así como también del decapado, las piezas en tratamiento deben ser enjuagadas.

Después de haber eliminado las impurezas que interfieren en la obtención del recubrimiento fosfático, se procede a la fase de fosfatación, la cual es llevada a cabo según las especificaciones técnicas del fabricante del baño fosfatante. Dependiendo del uso final de las herramientas y del tipo de baño (hierro, manganeso o manganeso) se adicionan más fases como la pasivación, neutralización, aceitado y/o pintado, las mismas que confieren una mejora adicional al recubrimiento de fosfato

**Figura 1.5 – 1: Diagrama de flujo de un proceso general de fosfatación**



### **1.5.1 DECAPADO CON ÁCIDOS**

El decapado con ácidos es el procedimiento más empleado para eliminar el óxido y las cascarillas gracias a su bajo costo. El óxido se forma por el contacto de las piezas con el aire y la humedad atmosférica, mientras que las cascarillas se originan durante los tratamientos térmicos.

Los ácidos más usados en el decapado son los ácidos sulfúrico, clorhídrico o fosfórico. El ácido sulfúrico y el ácido fosfórico actúan por filtración en las capas de calamina hasta llegar a la de wustita. La wustita se disuelve por acción del ácido y la cascarilla se desprende. El ácido clorhídrico, en cambio, provoca la disolución de toda la cascarilla.

**Tabla 1.5.1 – 1: Comparación de las características decapantes de los ácidos sulfúrico, clorhídrico y fosfórico**

<div style="text-align: center;">Ácido</div> <div style="text-align: left;">Característica</div>	Ácido sulfúrico	Ácido clorhídrico	Ácido fosfórico
Temperatura de operación (°C)	50 - 60	< 40	50 - 60
Concentración (%)	5 - 20	10 - 50	5 - 20
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bajo costo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se obtienen superficies de mejor acabado que al utilizar el ácido sulfúrico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No requiere enjuague</li> <li>A concentraciones inferiores del 2%, genera una fina capa protectora de fosfato.</li> </ul>
Desventajas	-----	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alto costo.</li> <li>Se requiere mayor cantidad de ácido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alto costo.</li> </ul>

Fuente: CASTELLOT, A., La Fosfatación

### **Inhibidores de decapado**

Los inhibidores de decapado son productos que se caracterizan por retardar o reducir la acción disolvente de un ácido sobre el metal, sin restringir la disolución de los óxidos y cascarillas. Existe una variedad de compuestos sulfonados o nitrogenados. Una indispensable consideración al momento de seleccionar un inhibidor de decapado, es que no forme películas en la superficie del metal, ya que ésta puede interferir en la fosfatación.

## **1.5.2 DESENGRASE**

El desengrase es la operación que tiene como objetivo eliminar toda la grasa presente en la superficie de las piezas a fosfatar. Un desengrase inadecuado resulta en recubrimientos no uniformes y con poca adherencia.

Existen tres métodos de desengrase, estos son:

- Desengrase con hidrocarburos clorados
- Desengrase con soluciones alcalinas
- Desengrase con emulsiones

### **1.5.2.1 DESENGRASE CON HIDROCARBUROS CLORADOS**

Los hidrocarburos clorados, en especial el tricloroetileno y el percloroetileno, son excelentes disolventes de grasas, aceites y ceras, siempre y cuando éstas posean un poco adherencia a la superficie de las piezas a tratar.

Estos productos deben poseer las siguientes características:

- Buena capacidad de disolver grasas y aceites
- No ser inflamables
- Dejar secas las piezas desengrasadas
- Ser recuperables para reproceso
- No generar películas que interfieran en el fosfatado

**Tabla 1.5.2 – 1: Propiedades fisicoquímicas del tricloroetileno y percloroetileno**

Compuesto Propiedad	Tricloroetileno	Percloroetileno
Fórmula	$\text{ClCH}=\text{CCl}_2$	$\text{Cl}_2\text{C}=\text{CCl}_2$
Masa molar	131.4 g/mol	165.83 g/mol
Densidad	1.46 g/cm <sup>3</sup>	1.62 g/cm <sup>3</sup>
Solubilidad en agua	0.11 %	0.015 %
Punto de ebullición	86.9 °C	121.2 °C
Color	Incoloro	Incoloro

Fuente: CASTELLOT, A., La Fosfatación

Debido que el punto de ebullición del tricloroetileno es más bajo que el del percloroetileno, el uso del primero es más conveniente por requerimientos energéticos.

Algunos de los inconvenientes del uso de hidrocarburos clorados son: toxicidad, fotolabilidad, termolabilidad y en presencia de aluminio finamente dividido, se descomponen por reacción de Friedel Craft.

La aplicación de desengrasantes clorados puede ser realizada de tres maneras:

- **Desengrase en disolvente líquido frío o caliente.**- Es una inmersión de las piezas en el disolvente en un tanque, se disuelven las grasas por la acción del producto. Se aplica temperatura para incrementar la velocidad de la operación. Sin embargo a medida que se desengrasan las piezas, la concentración de grasas y aceites aumenta en el disolvente, teniéndose un mal desengrase. Después de un desengrase por inmersión, se procede con una operación de desengrase con vapor del disolvente.

- **Desengrase en vapor de disolvente.**- Las piezas son sometidas a los vapores generados por la ebullición del disolvente, estos se condensan sobre la superficie arrastrando consigo las grasas. La ventaja de este mecanismo de desengrase es que el disolvente es destilado, asegurando la limpieza completa de las herramientas.
- **Desengrase con disolvente a presión.**- Consiste en la proyección del disolvente limpio y caliente sobre las superficies de las piezas; además de la acción del disolvente, se consigue una acción mecánica pronunciada que favorece la remoción de las grasas.

#### **1.5.2.2 DESENGRASE CON SOLUCIONES ALCALINAS**

Los componentes de un desengrasante alcalino son generalmente una mezcla de productos tales como hidróxido de sodio, carbonato de sodio, fosfatos de sodio, silicatos de sodio, agentes tensoactivos para disminuir la tensión superficial del agua y un aditivo complejante mineral u orgánico para poder emplear agua corriente como solvente.

El desengrase con soluciones alcalinas es realizado a temperaturas entre 60 y 90 °C. En algunas ocasiones, para acelerar el tratamiento, se implementa un sistema de agitación, ya sea de la solución o de las piezas.

La ventaja de estos desengrasantes es que no se generan vapores tóxicos como los disolventes clorados. Sin embargo exhiben el inconveniente de producir una película difícil de eliminar en enjuagues posteriores en la superficie de las herramientas. Esta película interfiere en la fase de fosfatación; los recubrimientos fosfáticos obtenidos presentan cristales gruesos y una estructura basta. Para eliminar este problema, se



disminuye la concentración del desengrasante, luego del desengrase se realiza un enjuague con agua fría seguido de otro con agua caliente.

### **1.5.2.3 DESENGRASE CON EMULSIONES**

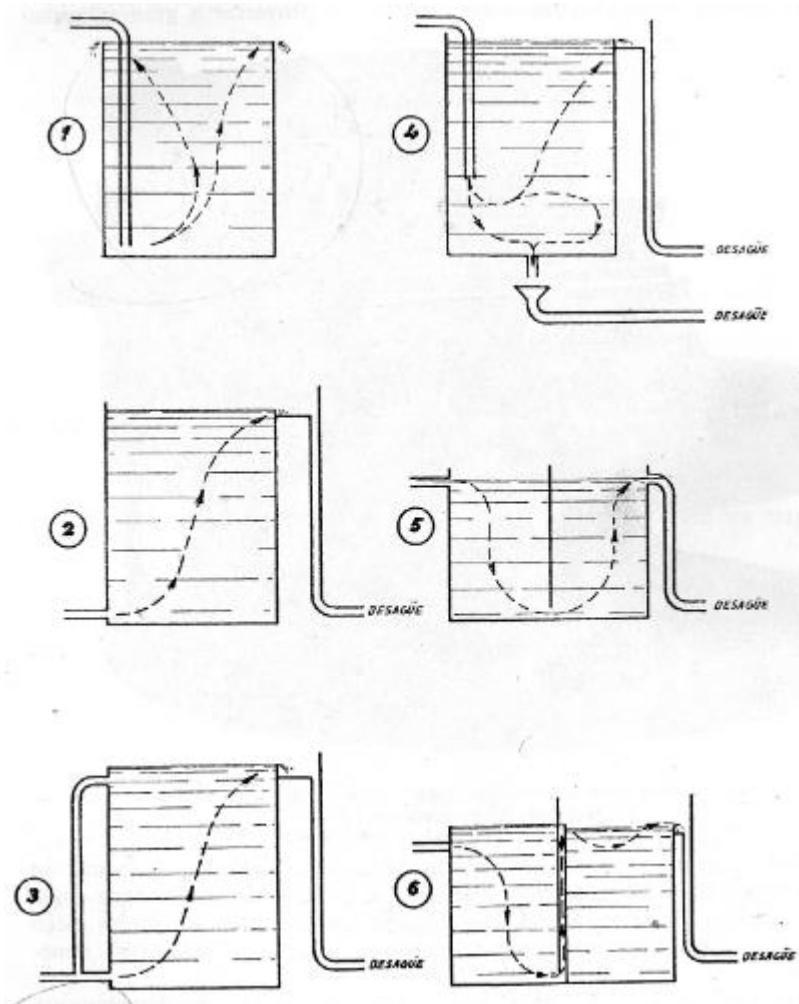
Estas emulsiones desengrasantes están formuladas por los siguientes componentes: un disolvente de grasas, un jabón y agentes orgánicos de función específica. Una de las principales características es que se logra obtener los beneficios de los desengrasantes orgánicos y las soluciones alcalinas en un solo producto.

### **1.5.3 ENJUAGUES INTERMEDIOS**

Las operaciones de enjuagues intermedios son de suma importancia, sin embargo, muchas ocasiones carecen del cuidado necesario. El agua de enjuague suele contaminarse con los residuos que acarrearán las piezas de cada etapa, y se corre el riesgo que un baño contamine a otro cuando se tiene un único recipiente de enjuague. Se debe utilizar una tanque o recipiente de enjuague después de una operación que lo requiera (desengrase, decapado, fosfatado).

Además, es necesario controlar ciertas variables de proceso en los enjuagues, tales como pH, acidez, alcalinidad, conductividad, etc.; de esta manera se tendrá información de referencia de las características fisicoquímicas del agua de enjuague.

**Figura 1.5.3 – 1: Tipos de tanques de enjuague.**



Fuente: Houghton Hispania

#### **1.5.4 ACTIVADO**

El activado consiste en una preparación de la superficie de la herramienta. Crea una película microscópica en la cual los cristales de fosfato se depositan con mayor adherencia y uniformidad durante la fosfatación.

### **1.5.5 FOSFATADO**

Al haber finalizado las etapas de limpieza y preparación de superficie, las piezas pasarán a fosfatarse, es decir, serán sometidas a un proceso termoquímico en donde adquirirán un recubrimiento formado de fosfato de hierro, manganeso o manganeso.

El fosfatado se puede realizar por dos mecanismos que difieren en el sistema de aplicación del recubrimiento:

- Fosfatado por inmersión.
- Fosfatado por proyección.

#### **1.5.5.1 FOSFATADO POR INMERSIÓN**

Las instalaciones de fosfatado por inmersión se caracterizan por su gran versatilidad en lo que respecta a requerimientos de diseño. Básicamente las instalaciones consisten en una serie de tanques alineados al orden del tratamiento; cada tanque contiene la solución requerida para cada fase del proceso y cuentan con sus respectivos sistemas de calefacción, desagües, tapas. Un monorraíl eléctrico facilita el transporte de las herramientas de un tanque a otra. Las aplicaciones más principales del fosfatado de inmersión son:

- La formación de recubrimientos fosfáticos gruesos.
- La formación de recubrimientos ligeros y de peso medio para base de pinturas.

### 1.5.5.1.1 TANQUES DE FOSFATADO

El material utilizado para la construcción de los tanques de fosfatado debe cumplir con las siguientes características:

- Resistencia a la corrosión en medio ácido.
- Resistencia a la acción del ácido fosfórico diluido caliente.

Los materiales que cumplen los mencionados requerimientos son: aceros inoxidables, aceros con bajo contenido de carbono y materiales antiácidos.

**Acero inoxidable.**- Es el material más adecuado para la construcción de los tanques de fosfatado. El acero inoxidable es prácticamente inerte y no reacciona con la solución fosfatante.

**Tabla 1.5.5.1.1 – 1: Aceros inoxidables utilizados para instalaciones de fosfatado**

Denominación	Composición (%)					
A.I.S.I.	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si
<b>302</b>	0.15	17 – 19	8 – 10	0.6	2	1
<b>304</b>	0.08	18 – 20	8 – 10.5	----	2	1
<b>316</b>	0.08	16 – 18	10 – 14	2 – 3	2	1
<b>430</b>	0.12	16 – 18	----	----	1	1

Fuente: PERRY, Robert H. – Manual del Ingeniero Químico. 7<sup>ma</sup> Edición. Volumen IV.

Capítulo 28 Materiales de Construcción. Tablas 28.10 y 28.11

**Aceros con bajo contenido de carbono.**- Se utilizan para la construcción de los tanques de fosfatado debido a su bajo costo aunque posee una deficiente resistencia a la corrosión.

Las tanques construidas con este tipo de material, deberá tener un espesor mínimo de 7 mm<sup>4</sup> y se recubre con material antiácido.

Lo que respecta a la construcción de las tanques, deben tenerse en cuenta ciertas consideraciones. Debe existir una zona entre 15 y 20 cm<sup>5</sup> alrededor del tanque para insertar los elementos del sistema de calefacción. En cuanto a la profundidad de los tanques, se requiere reservar unos 20 cm<sup>6</sup> de espacio muerto en la parte inferior; este espacio no estará en contacto ni con las piezas a tratar ni con los elementos calefactores.

Los baños fosfatantes, en particular los que operan a temperatura elevada, generan precipitados de fosfatos neutros, los cuales se sedimentan formando capas gruesas y duras en el fondo del tanque. Cuando estos precipitados se esparcen en la solución, se adhieren a las piezas, interfiriendo con el proceso normal de fosfatado. Además, al formar capas duras y gruesas, los precipitados disminuyen la transferencia de calor del sistema, haciendo que se consuma mayor energía.

Si los sistemas de calefacción son ubicados en la base de las tanques, los perjuicios ocasionados por los precipitados se potencian; debido a la existencia de corrientes de convección por la alta temperatura provoca que los sedimentos se extiendan por toda la solución fosfatante. Al colocar los elementos calefactores de tal forma que no alcance el fondo de la tanque, y que ésta presente una determinada inclinación que permita la extracción de los sedimentos, se logra eliminar los inconvenientes mencionados anteriormente.

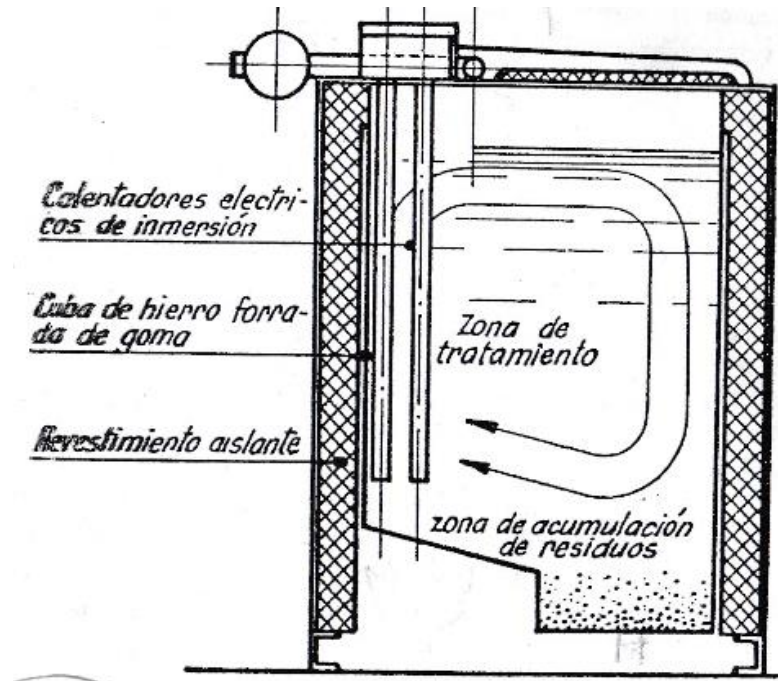
---

<sup>4</sup> CASTELLOT, A. – La Fosfatación. Página 174

<sup>5</sup> CASTELLOT, A. – La Fosfatación. Página 176

<sup>6</sup> CASTELLOT, A. – La Fosfatación. Página 176

Figura 1.5.5.1.1 – 1: Sección de un tanque para fosfatar, con fondo inclinado.



Fuente: CASTELLOT, A. – La Fosfatación. Página 177.

Los tanques de fosfatado deben ser revestidos con materiales aislantes para impedir las pérdidas de calor. En la siguiente tabla se muestra la energía necesaria para suministrar las pérdidas de calor de un tanque por evaporación y radiación.

**Tabla 1.5.5.1.1 – 2: Potencia eléctrica necesaria para suplir las pérdidas de calor de un tanque, a través de su superficie y paredes, en kW-h/m<sup>2</sup>**

T (°C)	Por la superficie del líquido			Por las paredes de la tanque			
	Por evaporación	Por radiación	Total	Sin aislamiento	Con 2.5 cm de aislante	Con 5 cm de aislante	Con 7.5 cm de aislante
37	0.49	0.21	0.70	0.21	0.046	0.024	0.018
43	0.74	0.28	1.02	0.28	0.059	0.031	0.021
48	1.15	0.34	1.49	0.34	0.070	0.077	0.028
54	1.49	0.42	1.91	0.42	0.084	0.043	0.031
60	2.05	0.49	2.54	0.49	0.096	0.053	0.037
65	2.67	0.56	3.23	0.56	0.106	0.056	0.040
71	3.42	0.65	4.07	0.65	0.118	0.065	0.046
76	4.30	0.73	5.03	0.73	0.130	0.071	0.049
82	5.42	0.81	6.23	0.81	0.142	0.077	0.052
87	6.72	0.90	7.62	0.90	0.155	0.084	0.059
93	8.35	0.99	9.34	0.99	0.164	0.090	0.062

Fuente: CASTELLOT, A. – La Fosfatación. Página 178.

### 1.5.5.1.2 SISTEMAS DE CALEFACCIÓN

La calefacción de los tanques puede ser realizada ya sea por resistencias eléctricas, quemadores de combustible o por serpentines de vapor saturado. Cualquiera que sea el sistema de calefacción, sus elementos no deben estar en la parte inferior del tanque para no promover la turbulencia de los sedimentos.

Las resistencias eléctricas deberán ser de un material inerte a la solución fosfatante. El material más adecuado es el acero inoxidable.

La calefacción utilizando combustibles es otra opción viable; la disponibilidad, los costos y la eficiencia del calentamiento son parámetros que deben ser tomados en cuenta para el diseño del sistema.

Otra alternativa ventajosa es el uso de vapor saturado mediante serpentines. El vapor es generado mediante calderas calentadas por quemadores de gas – oil. El agua utilizada para generar vapor debe cumplir con los parámetros que corresponden al agua de calderas para salvaguardar la vida útil de las mismas y de los serpentines.

*“Los cálculos sobre la potencia calorífica necesaria para calentar los baños podrá realizarse con exactitud considerando las soluciones empleadas como si fuesen agua normal.”<sup>7</sup>*

En la tabla 1.5.5.1.1 – 2 se muestran los datos necesarios de energía necesaria para compensar las pérdidas de calor, a considerar en los cálculos del flujo de calor requerido de una instalación de fosfatado por inmersión.

### **1.5.5.2 FOSFATADO POR PROYECCIÓN**

El fosfatado por proyección consiste en someter a las piezas a la acción de la solución fosfatante proyectada a presión. Las aplicaciones más importantes de este mecanismo son:

- Formación de recubrimientos fosfáticos ligeros o de peso medio que son empleadas como base adherente para las pinturas.
- Protección de herramientas de gran superficie o en grandes series.

---

<sup>7</sup> CASTELLOT, A. – La Fosfatación. Página 181



El mecanismo más adecuado el fosfatado por proyección es el túnel de fosfatado. Consiste, como lo describe su nombre, en un túnel que consta de pulverizadores en su interior que proyectan las diferentes soluciones del tratamiento. Las herramientas son transportadas por rodillos o por bandas transportadoras a lo largo del túnel.

## **1.6 PROPIEDADES DE LOS RECUBRIMIENTOS FOSFÁTICOS**

Los recubrimientos fosfáticos poseen ciertas propiedades que permiten evitar la corrosión del metal base. A continuación se mencionan algunas de sus propiedades primordiales:

- Resistencia a la corrosión. Localizan la zona de corrosión evitando el desplazamiento lateral de la misma.
- Estabilidad a temperaturas del orden de los 300 °C <sup>8</sup>.
- Capacidad de producir un aislamiento eléctrico.
- Espesor medio de 1 a 15 μm <sup>9</sup>.
- Impide la soldadura entre metales que son sometidos a cargas elevadas.
- Excelente absorción de aceites lubricantes y anticorrosivos.

## **1.7 APLICACIONES DE LOS RECUBRIMIENTOS FOSFÁTICOS**

Las aplicaciones de los recubrimientos fosfáticos son muy difundidas en diversas industrias; desde la industria automotriz hasta la de electrodomésticos. La protección ante la corrosión que brindan estos recubrimientos, hacen que la fosfatación sea un proceso

---

<sup>8</sup> CASTELLOT, A. – La Fosfatación. Página 115

<sup>9</sup> CASTELLOT, A. – La Fosfatación. Página 118

para tratar una amplia variedad de piezas y herramientas de hierro y acero. Entre las aplicaciones más importantes, se mencionan algunas de ellas:

- Protección anticorrosiva de piezas automotrices, aeronáuticas y de armamento.
- Base adherente para pinturas y otros acabados orgánicos.
- Al impedir el gripado de metales, los recubrimientos fosfáticos pueden ser aplicados en partes automotrices como pistones, levas, camisas, etc., así como también en roscas de tuberías en donde las conexiones son sometidas a torques muy altos.
- Su aplicación también se extiende a las placas magnéticas para motores y transformadores ya que logra evitar las corrientes parásitas.

## **1.8 DEFECTOS EN LOS RECUBRIMIENTOS FOSFÁTICOS**

**Tabla 1.8 – 1: Resumen de los defectos que presentar los recubrimientos fosfáticos**

<b>Aspecto del recubrimiento</b>	<b>Causa</b>	<b>Remedio</b>
El recubrimiento no es homogéneo y su protección es irregular.	A. Insuficiente preparación preliminar. B. Mal desengrase.	Eliminar el recubrimiento por arenado, etc., y volver a fosfatar.
El recubrimiento está cubierto por una capa grisácea polvorienta.	A. Durante el tratamiento ha hervido la solución. B. Adición de producto fosfatante durante el tratamiento de las piezas. C. Excesiva formación de sedimentos, debidos principalmente a la presencia de calcio o aluminio.	Eliminar la película blanca grisácea por cepillado; o mejor, eliminar completamente el recubrimiento y volver a fosfatar.
El recubrimiento posee poco valor protector.	A. La relación de acidez no es la adecuada. B. Cantidad insuficiente de producto fosfatante. C. El baño funciona a baja temperatura D. Presencia de sulfatos E. Presencia de arsénico. F. Presencia de cloruros o fluoruros.	A. Neutralizar el exceso de ácido con carbonato de manganeso o aumentar el contenido en ácido libre según el análisis. B. Aumentar la concentración del baño. C. Aumentar la temperatura. D. Eliminarlos por adición de fosfato ácido de bario. E. Fosfatar algunas piezas durante más de 40 min. Repetir este tratamiento de purificación varias veces hasta que el recubrimiento obtenido sea de buena calidad. F. Analizar el producto concentrado.

Fuente: CASTELLOT, A., La Fosfatación

## **1.9 CONEXIONES TENARIS BLUE®**

### **1.9.1 DISEÑO DEL SELLO**

El sello geométrico esfera a cono (superficie toroidal en el pin, superficie afilada en el box) mantiene un perfil de presión de contacto con el sello parabólico. Esto brinda un pico inferior de presión de contacto (minimizando el riesgo de desgaste durante el desenroscado) pero a la vez también le confiere una presión promedio de contacto en combinación con una longitud mayor de contacto de sello. Combinado estas dos características, se obtiene un rendimiento estable del sellado incluso en presencia de cargas combinadas extremas.<sup>10</sup>

Debido a la configuración geométrica tan particular de las conexiones Tenaris Blue®, el box de la conexión debe poseer un recubrimiento de fosfato de manganeso que evite la soldadura entre conexiones cuando estas se someten a torques elevados. De esta forma, se logra obtener una gran facilidad de enroscado y desenroscado de las conexiones Blue®.

### **1.10 IMPORTANCIA DEL RECUBRIMIENTO DE FOSFATO DE MANGANESO EN LAS CONEXIONES TENARIS BLUE®**

Las herramientas fabricadas en la Planta de Producción de Sertecpet, especialmente los X – Over (tubos que conectan diversas conexiones entre sí), poseen diversas conexiones específicas, una de ellas es la Tenaris Blue® Esta conexión, básicamente realiza un sello de contacto “metal con metal”, de esta manera, el fluido que transporta la herramienta no emerge al exterior. Sin embargo, al momento de enroscar y desenroscar las conexiones, debido a las altas temperaturas generadas por los torques, se corre el riesgo de que el Pin

---

<sup>10</sup> TenarisHydril / pc / version 03 / march 2012

(conexión macho) se gripe o se suelde al Box (conexión hembra), haciendo imposible el desensamble de las tuberías.

Los diminutos poros que contiene el recubrimiento de fosfato de manganeso elimina el riesgo del fenómeno citado anteriormente. Por este motivo, la fosfatación al manganeso del Box del X – Over impide el gripado durante el torque aplicado durante el enrosque y/o desenrosque.

### **1.11 PESO DE CAPA**

El peso de capa es un parámetro que cuantifica la cantidad de fosfato metálico por unidad de superficie. Su valor está en función de la temperatura, acidez y tiempo de inmersión del baño fosfatante; un incremento en estos parámetros provocarán que el peso de capa aumente. Una disminución de los factores mencionados anteriormente hará que el peso de capa sea menor.

Es importante que el peso de capa de los recubrimientos fosfáticos se encuentre dentro de la norma correspondiente, en el caso de Tenaris Hydril, 1020 a 2320 mg/ft<sup>2</sup>; un valor inferior al límite mínimo produce desprendimiento del fosfato durante el esfuerzo a los que son sometidas las herramientas. Además su valor protector contra la corrosión se ve reducido. Pesos de capa más allá del límite superior provocan cristales fosfáticos muy gruesos que pueden fracturarse con facilidad.

# **CAPÍTULO II**

## **Parte Experimental**

## **CAPÍTULO II**

### **2.1 METODOLOGÍA**

#### **2.1.1 SIMULACIÓN DEL PROCESO**

La simulación del proceso fue realizada en el laboratorio del área de tratamientos termoquímicos de la Planta de Producción de la empresa Sertecpet S.A. – Base Coca. Los productos químicos utilizados en el proceso de fosfatación al manganeso son suministrados por la empresa Bycsa S.A.; empresa encargada también de proveer la asistencia técnica referente a los procesos de fosfatación.

El propósito de la simulación es establecer las variables de proceso que se tienen en las distintas etapas, en especial en la de fosfatación, mediante pruebas a escala de laboratorio.

Las pruebas de laboratorio tienen su fundamento técnico y científico en la información técnica de la empresa Bycsa, en la norma ASTM D1067, en el procedimiento MIL-DTL-16232G y en los procedimientos de Tenaris Hydril TSH-CP-01.0001, TSH-PP-00.0006 y TSH-PP-00.0018.

La Planta de Producción de Sertecpet S.A. – Base Coca trabaja de acuerdo a órdenes de producción, es decir, la producción es realizada por pedidos, que en muchas ocasiones varían de número de herramientas. Debido a este particular, se decidió con los supervisores en que la capacidad de la planta de fosfatación al manganeso podrá operar con 49 herramientas de conexión Tenaris Blue™ por carga. Las herramientas más frecuentes que son fosfatadas son los X – Over de 4.500” de diámetro externo, 2.992” de diámetro interno y 18” de longitud.

## **2.1.1.1 PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES DE TRABAJO DE LA FOSFATACIÓN AL MANGANESO**

### **INFORMACIÓN TÉCNICA BYCSA FT-FA-314**

#### **2.1.1.1.1 PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE DESENGRASE**

Disolver 25 gramos de Kleanex 40 y aforar a 1000 mL. Calentar a 50 °C para completa disolución. El desengrasante Kleanex 40 elimina las grasas y suciedades que acompañen a las herramientas.

#### **2.1.1.1.2 PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE AFINADO (ACTIVADO)**

Disolver 2.5 gramos de Fosfation 16 y aforar a 1000 mL. El Fosfation 16 es un activador que se encarga de conferir una capa uniforme y microscópica en toda la superficie de la herramienta.

#### **2.1.1.1.3 PREPARACIÓN DE DEL BAÑO FOSFATANTE**

Disolver 210 cc de Fosfation 40 y aforar a 1000 mL (para los ensayos a concentración constante). El Fosfation 40 es un producto que está compuesto de fosfatos de manganeso y sustancias oxidantes, el cual es el responsable de la formación del recubrimiento fosfático.

#### **2.1.1.1.4 PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE NEUTRALIZADO**

Disolver 30 gramos de Ferrinox 3 y aforar a 1000 mL. El Ferrinox 3 es un producto que tiene como función neutralizar el ácido remanente de las herramientas fosfatadas.



## **2.1.1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FOSFATADO AL MANGANESO A ESCALA DE LABORATORIO**

### **INFORMACIÓN TÉCNICA BYCSA FT-FA-314**

#### **2.1.1.2.1 MATERIALES Y EQUIPOS**

- Cupones rectangulares AISI 4130
- Cupones circulares LN80 (AISI 4140)
- Termómetro
- Cronómetro
- Bomba de aire (Presión de salida de 120 kPa)
- 4 Reverberos
- Secador

#### **2.1.1.2.2 PROCEDIMIENTO**

- Medir la dimensión del cupón.
- Sumergir el cupón por 10 minutos en la solución de desengrase, a una temperatura de 80 °C.
- Enjuagar el cupón sumergiéndolo en 1 L de agua potable en un vaso de precipitación durante 1 minuto.
- El cupón se sumerge en la solución de afinado por 5 minutos y a una temperatura de 70 °C. Debido a la poca solubilidad del Fosfation 16, se debe agitar la solución mediante una bomba de aire.

- Finalizado el afinado, se traslada al cupón al vaso de precipitación que contiene la solución de Fosfation 40. La temperatura de la solución debe ser entre 75 y 95 °C. El tiempo de operación de esta etapa se encuentra entre los 10 y 30 minutos. Mantener la temperatura dentro del rango es clave para obtener uniformidad del recubrimiento.
- El cupón, una vez fosfatado, se lo sumerge en 1 L de agua de potable, por 1 minuto
- El cupón es colocado en la solución de neutralizado durante 2 minutos, a 60 °C.
- Se seca el cupón; una vez seco, se procede a pesar el cupón fosfatado.

### **2.1.2 ENSAYOS DE LABORATORIO**

Durante la simulación del proceso de fosfatación al manganeso por inmersión, se realizaron ensayos de laboratorio de los parámetros de cada etapa del proceso:

1. Desengrase: Alcalinidad, pH y temperatura.
2. Enjuague post-desengrase: pH.
3. Activado: pH y temperatura.
4. Fosfatado: Acidez libre, acidez total, masa generada de precipitados, pH y temperatura.
5. Enjuague post-fosfatado: pH
6. Neutralizado: pH y temperatura.

Además, la determinación del peso de capa del recubrimiento fosfático permite verificar si el proceso cumple con los estándares de calidad.

### 2.1.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS

**Tabla 2.1.3 – 1: Descripción de los métodos de análisis**

<b>Determinación</b>	<b>Método</b>	<b>Descripción</b>
pH	Electrométrico	STANDARD METHODS 4500 – H + B
Acidez libre	Volumétrico	Información técnica Bycsa FT-FA-314
Acidez total	Volumétrico	Información técnica Bycsa FT-FA-314
Peso de capa	Gravimétrico	1. MIL-DTL-16232G 2. TSH-PP-00.0018
Masa de precipitado generado en el fosfatado	Gravimétrico	
Temperatura	Práctico	Lectura en el termómetro.
Tiempo	Práctico	Lectura en el cronómetro.

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

## 2.2 DATOS EXPERIMENTALES

### 2.2.1 DATOS DE LAS DIMENSIONES DE LOS CUPONES

**Tabla 2.2.1 – 1: Dimensiones de cupones circulares AISI 4140**

Cupón	OD (mm)	ID (mm)	e (mm)	S (ft <sup>2</sup> )
STP-Mn-001	74.99	43.70	4.98	0.06833
STP-Mn-002	74.99	43.69	4.99	0.06836
STP-Mn-003	74.99	43.68	4.99	0.06837
STP-Mn-004	75.00	43.69	4.99	0.06839
STP-Mn-005	74.99	43.69	4.98	0.06835
STP-Mn-006	75.00	43.70	4.99	0.06837
STP-Mn-007	74.99	43.70	4.99	0.06834
STP-Mn-008	75.01	43.69	4.98	0.06840
STP-Mn-009	75.00	43.69	4.98	0.06837
STP-Mn-010	74.99	43.70	4.98	0.06833
STP-Mn-011	75.00	43.68	4.98	0.06839
STP-Mn-012	75.00	43.68	4.97	0.06838
STP-Mn-013	74.99	43.69	4.99	0.06836
STP-Mn-014	75.00	43.68	4.99	0.06840
STP-Mn-015	75.00	43.68	4.99	0.06840
STP-Mn-016	75.00	43.69	4.97	0.06836
STP-Mn-017	75.00	43.69	5.00	0.06840
STP-Mn-018	75.00	43.69	4.97	0.06836
STP-Mn-019	75.00	43.69	4.99	0.06839
STP-Mn-020	75.01	43.69	4.98	0.06840

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 2.2.1 – 2: Dimensiones de cupones rectangulares AISI 4130**

<b>Cupón</b>	<b>a (mm)</b>	<b>l (mm)</b>	<b>e (mm)</b>	<b>S (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>S (ft<sup>2</sup>)</b>
STP - 01	76.66	102.12	0.99	16011	0.172
STP - 02	76.47	102.11	1.03	15985	0.172
STP - 03	76.35	102.45	1.02	16009	0.172
STP - 04	76.47	102.37	1.03	16025	0.172
STP - 05	76.37	102.44	1.03	16015	0.172
STP - 06	76.44	102.14	1.02	15979	0.172
STP - 07	76.47	102.15	1.05	15998	0.172
STP - 08	76.57	102.14	1.03	16010	0.172
STP - 09	76.57	102.16	1.03	16013	0.172
STP - 10	76.58	102.12	1.03	16009	0.172

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

## 2.2.2 DATOS DE LAS SOLUCIONES DE TRABAJO

**Tabla 2.2.2 – 1: Parámetros fisicoquímicos de los baños del proceso**

<b>Baño</b>	<b>Concentración</b>	<b>Densidad</b>
Desengrase	25 g/L	1000 kg/m <sup>3</sup>
Afinado	2.5 g/L	1000 kg/m <sup>3</sup>
Fosfatante	80 mL/L	1000 kg/m <sup>3</sup>
Neutralizante	30 g/L	1000 kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 2.2.2 – 2: Parámetros fisicoquímicos del agua de alimentación**

<b>Día</b>	<b>pH</b>	<b>ppm CaCO<sub>3</sub></b>	
		<b>Alcalinidad F</b>	<b>Alcalinidad T</b>
1	7.24	0	150
2	7.27	0	160
3	7.24	0	150
4	7.27	0	160
5	7.30	0	170
6	7.30	0	170
7	7.27	0	160
<b>Promedio</b>	<b>7.27</b>	<b>0</b>	<b>160</b>

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 2.2.2 – 3: Alcalinidad a la fenolftaleína y total del desengrasante Kleanex 40**

<b>Prueba</b>	<b>Concentración (g/L)</b>	<b>Alcalinidad F (g/L)</b>	<b>Alcalinidad T (g/L)</b>
1	25	5.0	9.5
2	25	5.5	10.0
3	25	5.0	9.5
<b>Promedio</b>	<b>25</b>	<b>5.2</b>	<b>9.7</b>

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 2.2.2 – 4: pH de la solución afinadora de Fosfation 16**

<b>Prueba</b>	<b>Concentración (g/L)</b>	<b>pH</b>
1	2.5	9.38
2	2.5	9.39
3	2.5	9.37
Promedio	2.5	9.38

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 2.2.2 – 5: Alcalinidad a la fenolftaleína y total de la solución neutralizante**

**Ferrinox 3**

<b>PRUEBA 1</b>		
<b>Concentración (g/L)</b>	<b>Alcalinidad F (g/L)</b>	<b>Alcalinidad T (g/L)</b>
20	3.0	8.0
30	5.5	10.0
40	6.5	12.0

<b>PRUEBA 2</b>		
<b>Concentración (g/L)</b>	<b>Alcalinidad F (g/L)</b>	<b>Alcalinidad T (g/L)</b>
20	3.5	8.0
30	5.5	10.0
40	6.5	12.5

PRUEBA 3		
Concentración (g/L)	Alcalinidad F (g/L)	Alcalinidad T (g/L)
20	3.0	8.0
30	5.0	10.0
40	7.0	13.0

PROMEDIO		
Concentración (g/L)	Alcalinidad F (g/L)	Alcalinidad T (g/L)
20	3.2	8.0
30	5.3	10.0
40	6.7	12.5

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 2.2.2 – 6: Potencial hidrógeno del agua de enjuague tanto después del desengrase como del fosfatado**

Número de enjuagues	pH	
	Post-desengrase	Post-fosfatado
1	7.24	6.40
2	7.27	6.27
3	7.51	5.97
4	7.84	5.85

Fuente: Steven Medina. Diciembre 2013



**Tabla 2.2.2 – 7: Generación de precipitados en la etapa de fosfatado durante 1 hora de operación**

<b>Prueba</b>	<b>Volumen (mL)</b>	<b>Masa de precipitado (mg)</b>	<b>Tiempo de sedimentación de las partículas más gruesas (min)</b>
1	1000	247	9
2	1000	254	11
3	1000	249	10
<b>Promedio</b>	<b>1000</b>	<b>250</b>	<b>10</b>

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

### **2.2.3 DATOS DE PESOS DE CAPA A CONCENTRACIÓN DE 210 mL**

La concentración utilizada en el tratamiento de estos cupones corresponde a 210 mL de Fosfation 40 por litro de solución fosfatante.

**Tabla 2.2.3 – 1: Pesos de los cupones circulares AISI 4140 a temperatura variable y tiempo constante de 20 min**

<b>Cupón</b>	<b>T (°C)</b>	<b>P<sub>1</sub> (mg)</b>	<b>P<sub>2</sub> (mg)</b>
STP-Mn-001	75	112777	112506
STP-Mn-002	80	113001	112613
STP-Mn-003	85	113230	112809
STP-Mn-004	90	113102	112673

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 2.2.3 – 2: Pesos del cupón circular AISI 4140 a temperatura de 95° C y tiempo 10 min**

<b>Cupón</b>	<b>P<sub>1</sub> (mg)</b>	<b>P<sub>2</sub> (mg)</b>
STP-Mn-005	112967	112669

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 2.2.3 – 3: Pesos de los cupones circulares AISI 4140 a tiempo variable y temperatura constante de 80 °C**

<b>Cupón</b>	<b>t (min)</b>	<b>P<sub>1</sub> (mg)</b>	<b>P<sub>2</sub> (mg)</b>
STP-Mn-006	10	112727	112697
STP-Mn-007	15	112791	112577
STP-Mn-008	20	112928	112578
STP-Mn-009	25	112993	112614
STP-Mn-010	30	112914	112528

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 2.2.3 – 4: Pesos del cupón circular AISI 4140 a temperatura de 90° C y tiempo 5 min**

<b>Cupón</b>	<b>P<sub>1</sub> (mg)</b>	<b>P<sub>2</sub> (mg)</b>
STP-Mn-011	113022	112760

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

#### **2.2.4 DATOS DE PESOS DE CAPA A DIFERENTES CONCENTRACIONES**

**Tabla 2.2.4 – 1: Pesos del cupón circular AISI 4140 a temperatura de 90 ° C y tiempo 10 min**

<b>Cupón</b>	<b>C (mL/L)</b>	<b>P<sub>1</sub> (mg)</b>	<b>P<sub>2</sub> (mg)</b>
STP-Mn-012	105	112823	112555

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 2.2.4 – 2: Pesos del cupón circular AISI 4140 a temperatura de 80 ° C y tiempo 5 min**

<b>Cupón</b>	<b>C (mL/L)</b>	<b>P<sub>1</sub> (mg)</b>	<b>P<sub>2</sub> (mg)</b>
STP-Mn-013	105	113064	112898

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 2.2.4 – 3: Pesos del cupón circular AISI 4140 a temperatura de 80 ° C y tiempo 5 min**

<b>Cupón</b>	<b>C (mL/L)</b>	<b>P<sub>1</sub> (mg)</b>	<b>P<sub>2</sub> (mg)</b>
STP-Mn-014	50	112829	112799

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 2.2.4 – 4: Pesos de los cupones circulares AISI 4140 a temperatura de 90° C y tiempo 5 min**

<b>Cupón</b>	<b>C (mL/L)</b>	<b>P<sub>1</sub> (mg)</b>	<b>P<sub>2</sub> (mg)</b>
STP-Mn-015	50	112945	112875
STP-Mn-016	60	112770	112697
STP-Mn-017	70	113054	112938
STP-Mn-018	80	113007	112872
STP-Mn-019	90	113030	112888
STP-Mn-020	100	112519	112340

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 2.2.4 – 5: Prueba 1 de peso de capa de los cupones rectangulares AISI 4130.  
Temperatura de 90 °C y tiempo de 5 min**

<b>Cupón</b>	<b>C (mL/L)</b>	<b>P<sub>1</sub> (mg)</b>	<b>P<sub>2</sub> (mg)</b>
STP-Mn-T01	60	62831	62650
STP-Mn-T02	70	62841	62556
STP-Mn-T03	80	63395	63054

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 2.2.4 – 6: Prueba 2 de peso de capa de los cupones rectangulares AISI 4130.  
Temperatura de 90 °C y tiempo de 5 min**

<b>Cupón</b>	<b>C (mL/L)</b>	<b>P<sub>1</sub> (mg)</b>	<b>P<sub>2</sub> (mg)</b>
STP-Mn-T04	60	63050	62867
STP-Mn-T05	70	62839	62560
STP-Mn-T06	80	62798	62459

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 2.2.4 – 7: Prueba 3 de peso de capa de los cupones rectangulares AISI 4130.  
Temperatura de 90 °C y tiempo de 5 min**

<b>Cupón</b>	<b>C (mL/L)</b>	<b>P<sub>1</sub> (mg)</b>	<b>P<sub>2</sub> (mg)</b>
STP-Mn-T07	60	62411	62228
STP-Mn-T08	70	63337	63059
STP-Mn-T09	80	63072	62731

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

### 2.2.5 DATOS DE ACIDEZ

**Tabla 2.2.5 – 1: Valores de acidez de las soluciones empleadas desde el cupón STP-Mn-015 hasta el cupón STP-Mn-020**

<b>Cupón</b>	<b>C (mL/L)</b>	<b>A.L.</b>	<b>A.T.</b>
STP-Mn-015	50	2.5	18.0
STP-Mn-016	60	3.4	20.4
STP-Mn-017	70	3.9	25.0
STP-Mn-018	80	4.5	29.5
STP-Mn-019	90	5.0	32.0
STP-Mn-020	100	5.5	36.9

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

Donde:

A.L.: puntos de acidez libre

A.T.: puntos acidez total

**Tabla 2.2.5 – 2: Prueba 1 de valores de acidez de las soluciones empleadas en los cupones rectangulares AISI 4130.**

<b>Cupón</b>	<b>C (mL/L)</b>	<b>A.L.</b>	<b>A.T.</b>
STP-Mn-T01	60	3.3	20.8
STP-Mn-T02	70	3.9	25.0
STP-Mn-T03	80	4.5	29.5

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 2.2.5 – 3: Prueba 2 de valores de acidez de las soluciones empleadas en los cupones rectangulares AISI 4130.**

<b>Cupón</b>	<b>C (mL/L)</b>	<b>A.L.</b>	<b>A.T.</b>
STP-Mn-T04	60	3.4	20.5
STP-Mn-T05	70	4.0	25.1
STP-Mn-T06	80	4.6	29.4

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 2.2.5 – 4: Prueba 3 de valores de acidez de las soluciones empleadas en los cupones rectangulares AISI 4130.**

<b>Cupón</b>	<b>C (mL/L)</b>	<b>A.L.</b>	<b>A.T.</b>
STP-Mn-T07	60	3.3	20.4
STP-Mn-T08	70	3.9	25.0
STP-Mn-T09	80	4.5	29.5

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 2.2.5 – 5: Promedio de valores de acidez de las soluciones empleadas en los cupones rectangulares AISI 4130.**

<b>C (mL/L)</b>	<b>A.L.</b>	<b>A.T.</b>
60	3.3	20.6
70	3.9	25.0
80	4.5	29.5

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

### 2.3 DATOS ADICIONALES

**Tabla 2.3 – 1: Dimensiones del X - Over**

<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>
Diámetro externo del X – Over de 4.5”	L	0.1143 m
Longitud del X – Over de 18”	OD	0.4572 m

Fuente: Sertecpet S.A.

**Tabla 2.3 – 2: Datos para el cálculo de las dimensiones de la canasta**

<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>
Espacio de separación entre los X- Over y entre los bordes de la canasta	$e_{lxc}$	0.0127 m
Espacio entre el borde superior del X – Over y el borde superior de la canasta	$e_{sxc}$	0.0508 m

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 2.3 – 3: Datos para el cálculo de las dimensiones de los tanques de desengrase, de afinado, de fosfatado y de neutralizado.**

<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>
Espacio entre el fondo del tanque y la canasta (zona muerta)	$e_{zm}$	0.20 m
Espacio de entre los bordes superiores de la canasta y el tanque	$e_s$	0.15 m
Espacio posterior entre la canasta y el tanque	$e_p$	0.050 m
Espacio frontal entre la canasta y el tanque	$e_f$	0.15 m
Espacio lateral entre la canasta y el tanque	$e_l$	0.050 m

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 2.3 – 4: Datos de las dimensiones de los tanques de enjuague.**

<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>
Espacio de zona muerta	$e_{zm}$	0.20 m
Espacio de entre los bordes superiores de la canasta y el tanque	$e_s$	0.15 m
Espacio posterior entre la canasta y el tanque	$e_p$	0.050 m
Espacio frontal entre la canasta y el tanque	$e_f$	0.050 m
Espacio lateral entre la canasta y el tanque	$e_l$	0.050 m

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 2.3 – 5: Pesos de capa para recubrimientos de fosfato de manganeso**

<b>Mínimo</b>	1020 mg/ft <sup>2</sup>
<b>Máximo</b>	2320 mg/ft <sup>2</sup>

Fuente: TSH-PP-00.0018



**Tabla 2.3 – 6: Datos de entalpía específica de agua saturada**

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Entalpía específica (kJ/kg)</b>
25	104.83
60	251.18
70	293.07
80	335.02
90	377.04

Fuente: CENGEL, Yunus. Termodinámica. Tabla A-4. Página 914

**Tabla 2.3 – 7: Viscosidad dinámica del baño fosfatante**

<b>Baño</b>	<b>Viscosidad dinámica</b>
Fosfatante	$8.91 \cdot 10^{-4}$ kg/m*s

Fuente: MOTT, Robert. Mecánica de Fluidos Aplicada. 4<sup>ta</sup> Edición. Apéndice A. Tabla A1 (La viscosidad corresponde al agua a 25 °C)

**Tabla 2.3 – 8: Condiciones estándar del aire**

<b>Presión atmosférica absoluta estándar</b>	101.3 kPa o 14.7 psia
<b>Temperatura absoluta estándar</b>	285 K o 520 R

Fuente: MOTT, Robert. Mecánica de Fluidos Aplicada. 4<sup>ta</sup> Edición. Pág. 501

**Tabla 2.3 – 9: Tamaños sugeridos de tubería para aire comprimido**

<b>Velocidad de flujo máximo de aire (CFM)</b>		<b>Tamaño de tubería (pulg) Cédula 40</b>
<b>Aire libre</b>	<b>Aire comprimido</b>	
4	0.513	1/8
8	1.025	1/4
20	2.563	3/8

Fuente: MOTT, Robert. Mecánica de Fluidos Aplicada. 4<sup>ta</sup> Edición. Pág. 503

**Tabla 2.3 – 10: Valores límite de potencial hidrógeno en el agua de enjuague**

<b>pH</b>	
<b>Post-desengrase</b>	<b>Post-fosfatado</b>
Máximo a 11.00	Mínimo a 3.00

Fuente: Información Técnica Bycsa

**Tabla 2.3 – 11: Rugosidad del acero inoxidable y del PVC**

<b>Material</b>	<b>Rugosidad</b>
Acero inoxidable	$4.572 * 10^{-5}$ m
PVC	$1.5 * 10^{-6}$ m

Fuente:

<http://www.ingenieriarural.com/Hidraulica/Temas/TablaRugosidadAbsolutaMateriales.pdf>

**Tabla 2.3 – 12: Características técnicas del compresor de aire**

<b>Capacidad del tanque</b>	200 L
<b>Peso neto</b>	225 kg
<b>SCFM</b>	9 @ 40 psi
	7.9 @ 90 psi
<b>Potencia</b>	3 HP
<b>Voltaje</b>	220 V / 60 Hz

Fuente: Sertecpet S.A.

**Tabla 2.3 – 13: Poder calorífico del gas licuado de petróleo**

Gas Licuado de Petróleo (LPG)	46 000- 50 000 kJ/kg
-------------------------------	----------------------

Fuente: <http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tablas-Tema-3.pdf>

# **CAPÍTULO III**

## **Cálculos y Resultados**

### CAPÍTULO III

#### 3.1 CÁLCULOS

##### 3.1.1 CÁLCULO DE LOS PESOS DE CAPA

El peso de capa indica la cantidad de recubrimiento por unidad de área del material. La fórmula para determinar este parámetro es la siguiente:

$$W = \frac{P_1 - P_2}{S}$$

S = Superficie total del cupón (ft<sup>2</sup>)

P<sub>1</sub> = Peso de la cupón fosfatado (mg)

P<sub>2</sub> = Peso de la cupón des-fosfatado (mg)

##### 3.1.1.1 PESOS DE CAPA A CONCENTRACIÓN DE 210 mL

**Tabla 3.1.1.1 – 1: Pesos de capa de los cupones circulares AISI 4140 a temperatura variable y tiempo constante de 20 min**

Cupón	T (°C)	W (mg/ft <sup>2</sup> )	Estado
STP-Mn-001	75	3966	No cumple
STP-Mn-002	80	5676	No cumple
STP-Mn-003	85	6157	No cumple
STP-Mn-004	90	6273	No cumple

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 3.1.1.1 – 2: Pesos de capa del cupón circular AISI 4140 a temperatura de 95° C y tiempo 10 min**

Cupón	W (mg/ft <sup>2</sup> )	Estado
STP-Mn-005	4360	No cumple

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 3.1.1.1 – 3: Pesos de capa de los cupones circulares AISI 4140 a tiempo variable y temperatura constante de 80 °C**

Cupón	t (min)	W (mg/ft <sup>2</sup> )	Estado
STP-Mn-006	10	439	No cumple
STP-Mn-007	15	3131	No cumple
STP-Mn-008	20	5117	No cumple
STP-Mn-009	25	5543	No cumple
STP-Mn-010	30	5649	No cumple

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 3.1.1.1 – 4: Pesos de capa del cupón circular AISI 4140 a temperatura de 90° C y tiempo 5 min**

Cupón	W (mg/ft <sup>2</sup> )	Estado
STP-Mn-011	3831	No cumple

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

### **3.1.1.2 PESOS DE CAPA A DIFERENTES CONCENTRACIONES**

En vista de que los pesos de capa obtenidos, en su mayoría, exceden el valor máximo normado de 2320 mg/ft<sup>2</sup>; se procedió a disminuir la concentración de Fosfation 40 para obtener pesos de capa más bajos.

**Tabla 3.1.1.2 – 1: Pesos de capa del cupón circular AISI 4140 a temperatura de 90 ° C y tiempo 10 min**

<b>Cupón</b>	<b>C (mL/L)</b>	<b>W (mg/ft<sup>2</sup>)</b>	<b>Estado</b>
STP-Mn-012	105	3919	No cumple

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 3.1.1.2 – 2: Pesos de capa del cupón circular AISI 4140 a temperatura de 90 ° C y tiempo 5 min**

<b>Cupón</b>	<b>C (mL/L)</b>	<b>W (mg/ft<sup>2</sup>)</b>	<b>Estado</b>
STP-Mn-013	105	2428	No cumple

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 3.1.1.2 – 3: Pesos de capa del cupón circular AISI 4140 a temperatura de 80 ° C y tiempo 5 min**

<b>Cupón</b>	<b>C (mL/L)</b>	<b>W (mg/ft<sup>2</sup>)</b>	<b>Estado</b>
STP-Mn-014	50	439	No cumple

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 3.1.1.2 – 4: Pesos de capa de los cupones circulares AISI 4140 a temperatura de 90° C y tiempo 5 min**

<b>Cupón</b>	<b>C (mL/L)</b>	<b>W (mg/ft<sup>2</sup>)</b>	<b>Estado</b>
STP-Mn-015	50	1023	No cumple
STP-Mn-016	60	1068	Cumple
STP-Mn-017	70	1696	Cumple
STP-Mn-018	80	1975	Cumple
STP-Mn-019	90	2076	Cumple
STP-Mn-020	100	2617	No cumple

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 3.1.1.2 – 5: Prueba 1 de peso de capa de los cupones rectangulares AISI 4130. Temperatura de 90 °C y tiempo de 5 min**

<b>Cupón</b>	<b>C (mL/L)</b>	<b>W (mg/ft<sup>2</sup>)</b>
STP-Mn-T01	60	1052
STP-Mn-T02	70	1657
STP-Mn-T03	80	1983

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 3.1.1.2 – 6: Prueba 2 de peso de capa de los cupones rectangulares AISI 4130. Temperatura de 90 °C y tiempo de 5 min**

<b>Cupón</b>	<b>C (mL/L)</b>	<b>W (mg/ft<sup>2</sup>)</b>
STP-Mn-T04	60	1064
STP-Mn-T05	70	1622
STP-Mn-T06	80	1971

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 3.1.1.2 – 7: Prueba 3 de peso de capa de los cupones rectangulares AISI 4130. Temperatura de 90 °C y tiempo de 5 min**

<b>Cupón</b>	<b>C (mL/L)</b>	<b>W (mg/ft<sup>2</sup>)</b>
STP-Mn-T07	60	1064
STP-Mn-T08	70	1616
STP-Mn-T09	80	1983

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 3.1.1.2 – 8: Promedio de los pesos de capa de los cupones rectangulares AISI 4130. Temperatura de 90 °C y tiempo de 5 min**

<b>C (mL/L)</b>	<b>W (mg/ft<sup>2</sup>)</b>	<b>Estado</b>
60	1060	Cumple
70	1632	Cumple
80	1979	Cumple

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

### **3.1.2 CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE ACIDEZ Y EL FACTOR DE RELACIÓN ENTRE CONCENTRACIÓN Y ACIDEZ TOTAL**

#### **Relación de acidez**

Ecuación 3.1.2 – 1

$$R = \frac{A.T.}{A.L.}$$

Donde:

A.T.: puntos de acidez total

A.L.: puntos de acidez libre

#### **Factor de relación entre concentración y acidez total**

Ecuación 3.1.2 – 2

$$F = \frac{C}{A.T.}$$

Donde:

C: concentración de Fosfation 40

A.T.: puntos de acidez total



**Tabla 3.1.2 – 1: Valores de R y F desde los cupones STP-Mn-015 hasta STP-Mn-020**

Cupón	C (mL/L)	R	F
STP-Mn-015	50	7.2	2.78
STP-Mn-016	60	6.0	2.94
STP-Mn-017	70	6.4	2.80
STP-Mn-018	80	6.6	2.71
STP-Mn-019	90	6.4	2.81
STP-Mn-020	100	6.7	2.71

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 3.1.2 – 2: Prueba 1 de valores de R y F de las soluciones empleadas en los cupones rectangulares AISI 4130.**

Cupón	C (mL/L)	R	F
STP-Mn-T01	60	6.3	2.88
STP-Mn-T02	70	6.4	2.80
STP-Mn-T03	80	6.6	2.71

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 3.1.2 – 3: Prueba 2 de valores de acidez de las soluciones empleadas en los cupones rectangulares AISI 4130.**

<b>Cupón</b>	<b>C (mL/L)</b>	<b>R</b>	<b>F</b>
STP-Mn-T01	60	6.0	2.93
STP-Mn-T02	70	6.3	2.79
STP-Mn-T03	80	6.4	2.72

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 3.1.2 – 4: Prueba 3 de valores de acidez de las soluciones empleadas en los cupones rectangulares AISI 4130.**

<b>Cupón</b>	<b>C (mL/L)</b>	<b>R</b>	<b>F</b>
STP-Mn-T07	60	6.2	2.94
STP-Mn-T08	70	6.4	2.80
STP-Mn-T09	80	6.8	2.71

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 3.1.2 – 5: Promedio de valores de acidez de las soluciones empleadas en los cupones rectangulares AISI 4130.**

<b>C (mL/L)</b>	<b>R</b>	<b>F</b>
60	6.2	2.92
70	6.4	2.80
80	6.5	2.71

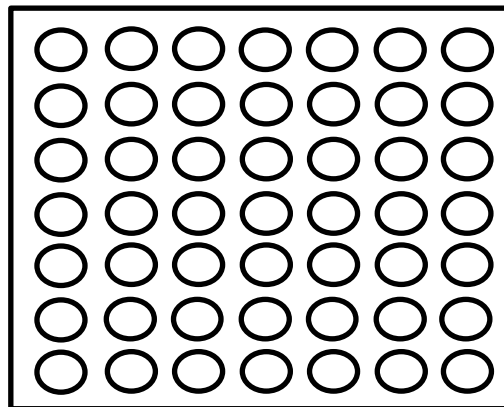
Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

### 3.1.3 DISEÑO DE LA CANASTA CONTENEDORA DE X - OVER

La cantidad de 49 herramientas X – Over de diámetro externo de 4.5” fue distribuida de tal manera que los mismos serían colocados verticalmente, en 7 filas y 7 columnas; la separación entre X- Over y el espacio entre el mismo y el recipiente contenedor es de 0.5”.

El recipiente contenedor es una canasta de acero inoxidable; la cual transportará consigo los X – Over a las 6 etapas del proceso de fosfatación al manganeso.

**Gráfico 3.1.2 – 1: Esquema de la vista superior de la disposición de los 49 X – Over en la canasta contenedora**



#### Cálculo del ancho

Ecuación 3.1.2 – 1

$$X_c = (7 * OD) + (8 * e_{lxc})$$

Donde:

$X_c$ : ancho de la canasta.

OD: diámetro externo del X – Over.

$e_{lxc}$ : espacio lateral entre los X – Over y entre los bordes de la canasta.

$$X_c = (7 * 0.1143 \text{ m}) + (8 * 0.0127 \text{ m})$$

$$X_c = (7 * 0.1143 \text{ m}) + (8 * 0.0127 \text{ m})$$

$$\mathbf{X_c = 0.902 \text{ m}}$$

### **Cálculo del largo**

Ecuación 3.1.2 – 2

$$Y_c = (7 * OD) + (8 * e_{lxc})$$

Donde:

$Y_c$ : largo de la canasta.

OD: diámetro externo del X – Over.

$e_{lxc}$ : espacio lateral entre los X – Over y entre los bordes de la canasta.

$$Y_c = (7 * 0.1143 \text{ m}) + (8 * 0.0127)$$

$$Y_c = (7 * 0.1143 \text{ m}) + (8 * 0.0127 \text{ m})$$

$$\mathbf{Y_c = 0.902 \text{ m}}$$

### **Cálculo de la altura**

Ecuación 3.1.2 – 3

$$Z_c = L + e_{sxc}$$

Donde:

$Z_c$ : altura de la canasta.

L: largo del X – Over de 18”

$e_{sxc}$ : espacio entre el borde superior del X – Over y el borde superior de la canasta.

$$Z_c = 0.4572 \text{ m} + 0.0508 \text{ m}$$

$$Z_c = 0.508 \text{ m}$$

### 3.1.4 DISEÑO DE LOS TANQUES DE DESENGRASE, AFINADO, FOSFATADO Y NEUTRALIZADO

#### 3.1.4.1 CÁLCULO DE LOS VOLÚMENES DE LOS TANQUES

##### Cálculo del ancho

Ecuación 3.1.4.1 – 1

$$X = X_c + 2e_l$$

Donde:

X: ancho del tanque.

X<sub>c</sub>: ancho de la canasta.

e<sub>l</sub>: espacio lateral entre la canasta y el tanque.

$$X = 0.902 \text{ m} + (2 * 0.050 \text{ m})$$

$$X = 1.002 \text{ m}$$

##### Cálculo del largo

Ecuación 3.1.4.1 – 2

$$Y = Y_c + e_f + e_p$$

Donde:

Y: largo del tanque.

$Y_c$ : largo de la canasta.

$e_f$ : espacio frontal entre la canasta y el tanque.

$e_p$ : espacio posterior entre la canasta y el tanque.

$$Y = 0.902 \text{ m} + 0.15 \text{ m} + 0.050 \text{ m}$$

$$Y = \mathbf{1.102 \text{ m}}$$

### Cálculo de la altura

Ecuación 3.1.4.1 – 3

$$Z = Z_c + e_{zm} + e_s$$

Donde:

$Z$ : altura del tanque de desengrase.

$Z_c$ : altura de la canasta.

$e_{zm}$ : espacio de zona muerta.

$e_s$ : espacio superior entre la canasta y el tanque.

$$Z = 0.508 \text{ m} + 0.20 \text{ m} + 0.15 \text{ m}$$

$$Z = \mathbf{0.858 \text{ m}}$$

### Cálculo del volumen total del tanque

Ecuación 3.1.4.1 - 4

$$V_t = X * Y * Z$$

$$V_t = 1.002 \text{ m} * 1.102 \text{ m} * 0.858 \text{ m}$$

$$V_t = \mathbf{0.947 \text{ m}^3}$$

### Cálculo del volumen de operación

Ecuación 3.1.4.1 – 5

$$V_{op} = X * Y * (Z - e_s)$$

$$V_{op} = 1.002 \text{ m} * 1.102 \text{ m} * (0.858 \text{ m} - 0.15 \text{ m})$$

$$V_{op} = 0.782 \text{ m}^3$$

### 3.1.4.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE AGITACIÓN DEL TANQUE DE AFINADO

El Fosfation 16 se caracteriza por ser insoluble, por lo que se requiere que exista agitación en el tanque de afinado para conseguir homogeneidad en de la solución.

Debido a la configuración del tanque y el espacio que ocupa la canasta contenedora, la agitación por aire es la alternativa más viable.

### Cálculo de la presión hidrostática en el punto de entrada del aire

Ecuación 3.1.4.2 – 1

$$P = P_{atm} + (\rho * g * z_f)$$

Donde:

$P_{atm}$ : Presión atmosférica

$\rho$ : densidad del fluido

$g$ : gravedad terrestre

$z_f$ : altura de la entrada del aire

$$P_{abs} = 101310 \text{ Pa} + (1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.608 \text{ m})$$

$$P_{abs} = 107275 \text{ Pa}$$

$$P_{abs} = 107.3 \text{ kPa}$$

$$P_{abs} = 107.3 \text{ kPa} * \frac{14.7 \text{ psi}}{101.3 \text{ kPa}}$$

$$P_{abs} = 15.6 \text{ psi}$$

### Cálculo de la velocidad de flujo del aire comprimido

Ecuación 3.1.4.2 – 2

$$Q_a = Q_s \left[ \frac{14.7 \text{ psi}}{P_{abs} + P_a} \right] \left[ \frac{T + 460}{520 \text{ }^\circ\text{R}} \right] \text{ }^\circ\text{R}$$

Donde:

$Q_a$ : velocidad de flujo de volumen en condiciones reales

$Q_s$ : velocidad de flujo de volumen en condiciones estándar

$P_{abs}$ : presión absoluta real.

$P_a$ : presión real de medición.

$T$ : temperatura en grados  $^\circ\text{F}$

$$Q_a = 9 \text{ CFM} \left[ \frac{14.7 \text{ psi}}{15.6 \text{ psi} + 40 \text{ psi}} \right] \left[ \frac{77 + 460}{520 \text{ }^\circ\text{R}} \right] \text{ }^\circ\text{R}$$

$$Q_a = 2.46 \text{ CFM}$$

De acuerdo a la tabla 2.3 – 9, el tamaño de tubería más adecuado para 2.46 CFM para es de un diámetro de **3/8"**.

### 3.1.4.3 DISEÑO DEL DESAGÜE DE LOS TANQUES DE DESENGRASE, AFINADO Y NEUTRALIZADO

#### Cálculo del caudal de desagüe



Este diseño facilita el vaciado de estos tanques cuando los baños requieran un mantenimiento total. El volumen de operación de los tanques es  $0.782 \text{ m}^3$ , y proponiendo un tiempo de vaciado de 5 minutos se tiene:

Ecuación 3.1.4.3 – 1

$$Q_v = \frac{V_{op}}{t}$$

Donde:

$Q_v$ : caudal volumétrico del desagüe

$V_{op}$ : volumen de operación del tanque

$t$ : tiempo propuesto para el desagüe.

$$Q_v = \frac{0.782 \text{ m}^3}{5 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$
$$Q_v = 0.00261 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

### **Cálculo de la velocidad de salida**

La tubería de desagüe estará ubicada en la parte inferior de los tanques. Teniendo una diferencia de alturas de 0.450 m y un largo de 0.550 m de acuerdo al siguiente gráfico:

La velocidad se calcula mediante la velocidad de Bernoulli.

Ecuación 3.1.4.3 – 2

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Donde:

$P_1$ : Presión en la entrada

$z_1$ : altura en la entrada

$v_1$ : velocidad del fluido en la entrada

$P_2$ : Presión en la salida

$z_2$ : altura en la salida

$v_2$ : velocidad en la salida

$\gamma$ : Peso específico del fluido

$g$ : gravedad terrestre.

Considerando que no existe velocidad de flujo en el punto 1 porque el líquido se encuentra en reposo y la presión manométrica en la salida es cero dado que el fluido desemboca en un desagüe abierto, se pueden hacer las siguientes simplificaciones para calcular la velocidad de salida.

Ecuación 3.1.4.3 – 3

$$v_2 = \sqrt{2g \left[ \frac{P_1}{\gamma} + z_1 - z_2 \right]}$$

$$v_2 = \sqrt{2g \left[ \left( \gamma \frac{z_f}{\gamma} \right) + z_1 - z_2 \right]}$$

Ecuación 3.1.4.3 – 4

$$v_2 = \sqrt{2g(h + z_1 - z_2)}$$

Donde:

$z_f$ : altura correspondiente desde el nivel del líquido hasta el fondo del tanque

$z_1$ : elevación en el punto 1.

$z_2$ : elevación en el punto 2.

$$v_2 = \sqrt{2 * 9.81 \frac{m}{s^2} (0.708 m + (0 - (-0.450 m)))}$$

$$v_2 = 4.76 \frac{m}{s}$$

### **Cálculo del diámetro interno de la tubería de desagüe**

Ecuación 3.1.4.3 – 5

$$\phi = \sqrt{\frac{4Q_v}{\pi v_2}}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * 0.00261 \frac{m^3}{s}}{3.14159 * 4.76 \frac{m}{s}}}$$

$$\phi = 0.0264 m * \frac{1 \text{ pulg}}{0.0254 m}$$

$$\phi = 1.039 \text{ pulg}$$

$$\phi \cong 1.00 \text{ pulg}$$

### **3.1.4.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE DESAGÜE DEL TANQUE DE FOSFATADO**

La etapa de fosfatado tendrá un sistema de desagüe diferente a las demás etapas debido a que durante los ensayos de laboratorio, se generaron sedimentos. En la operación de

fosfatado, por las altas temperaturas, los sedimentos tienden a mezclarse de nuevo con la solución, interfiriendo con la normal fosfatación de las herramientas. Durante periodos de inactividad del proceso, es preciso evacuar estos sedimentos. Al igual que en las etapas de desengrase, afinado y neutralizado, se considera un tiempo de 5 minutos para el desagüe

### **Cálculo del caudal de desagüe**

Ecuación 3.1.4.4 – 1

$$Q_V = \frac{X * Y * Z_c}{t}$$

Donde:

$Q_V$ : caudal volumétrico del desagüe

$t$ : tiempo propuesto para el desagüe.

No se toma en cuenta la altura de 0.200 m correspondiente a la zona muerta porque la misma está destinada para la acumulación de los sedimentos para su posterior eliminación.

$$Q_V = \frac{1.002 \text{ m} * 1.102 \text{ m} * 0.508 \text{ m}}{5 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$Q_V = 0.00187 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

### **Cálculo de la velocidad salida**

Haciendo uso de la ecuación de la ecuación 3.1.4.2 – 4 se halla la velocidad de salida.

$$v_2 = \sqrt{2g(z_f + z_1 - z_2)}$$

$$v_2 = \sqrt{2 * 9.81 \frac{m}{s^2} (0.708 m + (0 - (-0.190 m)))}$$

$$v_2 = 4.20 \frac{m}{s}$$

### **Cálculo del diámetro interno de la tubería de desagüe**

La ecuación 3.1.4.2 – 5 determinará el diámetro interno de tubería para el desagüe.

$$\phi = \sqrt{\frac{4Q_v}{\pi v_2}}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * 0.00187 \frac{m^3}{s}}{3.14159 * 4.20 \frac{m}{s}}}$$

$$\phi = 0.0240 m * \frac{1 \text{ pulg}}{0.0254 m}$$

$$\phi = 0.945 \text{ pulg}$$

$$\phi \cong 1.00 \text{ pulg}$$

### **3.1.4.5 DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y DEL SISTEMA DE BOMBEO DEL BAÑO FOSFATANTE.**

#### **Cálculo del volumen de baño transferido al tanque auxiliar**

El tanque auxiliar es un tanque que está localizado al tanque de fosfatado. Su función es almacenar el baño fosfatante antes de realizar la purga de los sedimentos.

Ecuación 3.1.4.5 – 1

$$V_{aux} = X * Y * Z_c$$

Donde:

X: ancho del tanque

Y: largo del tanque

Z<sub>c</sub>: altura de la canasta

$$V_{aux} = 1.002 \text{ m} * 1.102 \text{ m} * 0.508 \text{ m}$$

$$V_{aux} = 0.561 \text{ m}^3$$

### **Cálculo del volumen del tanque auxiliar**

Ecuación 3.1.4.5 – 2

$$V_{aux} = X * Y * Z$$

Donde:

X: ancho del tanque

Y: largo del tanque

Z: altura del tanque

$$V_{aux} = 1.002 \text{ m} * 1.102 \text{ m} * 0.510 \text{ m}$$

$$V_{aux} = 0.563 \text{ m}^3$$

### **Cálculo de la altura dinámica total**

Al establecer un tiempo de 5 min para transferir los 0.561 m<sup>3</sup> del tanque auxiliar al tanque de fosfatado nuevamente, podremos instaurar un caudal de trabajo equivalente al caudal de desagüe del tanque de fosfatado, es decir 0.00187 m<sup>3</sup>/s. Análogamente la velocidad de flujo y el diámetro interno de tubería son 4.20 m/s y 0.0240m (0.945 pulg) respectivamente.

La ecuación para el cálculo de la altura dinámica total (HDT) corresponde a:

Ecuación 3.1.4.5 – 3

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 + HDT - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$

Donde:

$h_L$ : pérdidas totales en el tendido

La velocidad de entrada de flujo se aproxima a cero debido al área considerable del tanque; la presión manométrica de salida también es cero puesto que el fluido es evacuado a la atmósfera. Teniendo en cuenta estas simplificaciones, la ecuación resulta de la siguiente manera:

Ecuación 3.1.4.5 – 4

$$HDT = \frac{v_2^2}{2g} + \Delta z + h_L - z_f$$

Donde:

$z_f$ : altura del fluido

$\Delta z$ : variación de alturas

Sin embargo, se desconoce el término de las pérdidas totales ( $h_L$ ), por lo que se procede a calcularlo.

Ecuación 3.1.4.5 – 5

$$h_L = \left[ f * \frac{L}{\phi} * \frac{v_2^2}{2g} \right] + \left[ \sum_{i=1}^n K_i * \frac{v_2^2}{2g} \right]$$

Donde:

$f$ : es el factor de fricción

L: longitud total de tubería

$\phi$ : diámetro interno de tubería

K: factor de resistencia correspondiente a cada accesorio de tubería.

El factor de fricción depende de que si el flujo está en régimen laminar o turbulento. Por tal motivo, primero se calcula el número de Reynolds, valor adimensional que determina el régimen de flujo.

Ecuación 3.1.4.5 – 6

$$N_{Re} = \frac{v * \rho * \phi}{\mu}$$

Donde:

v: velocidad de flujo

$\rho$ : densidad del fluido

$\phi$ : diámetro interno de tubería

$\mu$ : viscosidad dinámica

$$N_{Re} = \frac{4.20 \frac{m}{s} * 1000 \frac{kg}{m^3} * 0.0240 m}{8.91 * 10^{-4} \frac{kg}{m * s}}$$

$$N_{Re} = 1.13 * 10^5$$

Como  $N_{Re} > 4000$ , el flujo es turbulento, por lo tanto, la ecuación para calcular el factor de fricción se calcula con la ecuación de Swamee y Jain.

Ecuación 3.1.4.5 – 7



$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 * \left[ \frac{\Phi}{\varepsilon} \right]} + \frac{5.74}{N_{Re}^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Donde:

$\varepsilon$ : Rugosidad correspondiente al material de la tubería, en este caso acero inoxidable.

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 * \left[ \frac{0.0240 \text{ m}}{0.00004572 \text{ m}} \right]} + \frac{5.74}{(1.13 * 10^5)^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.025$$

Ahora procedemos al cálculo de los factores de resistencia de los accesorios en el tendido de la tubería haciendo uso del método de 2K de Hooper.

Ecuación 3.1.4.5 – 8

$$K = \frac{K_1}{N_{Re}} + K_2 \left( 1 + \frac{1}{\Phi} \right)$$

Donde:

$K_1$  y  $K_2$ : constantes

$\Phi$ : diámetro interno de la tubería en pulgadas

**Tabla 3.1.4.5 – 1: Sumatoria de los factores de resistencia de los accesorios en el tendido de la tubería**

<b>n</b>	<b>Accesorio</b>	<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K</b>
1	Válvula check	1000	0.5	1.038
1	Válvula compuerta	1500	0.4	0.837
1	Entrada	160	1	2.060
1	Salida	0	1	2.058
2	Codos 90°	800	0.4	1.661
<b>SUMATORIA TOTAL</b>				<b>7.653</b>

Habiendo calculado el factor de fricción y la sumatoria de los factores de resistencia de los accesorios, se procede al cálculo de las pérdidas totales del tendido con la ecuación 3.1.4.5 – 5.

$$h_L = \left[ 0.025 * \frac{2.21 \text{ m}}{0.0240 \text{ m}} * \frac{\left(4.20 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right] + \left[ 7.653 * \frac{\left(4.20 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right]$$

$$h_L = 8.95 \text{ m}$$

Una vez conocido todos los parámetros de la ecuación general de energía (ecuación 3.1.4.5 – 4), se calcula la altura dinámica total.

$$HDT = 0.899 \text{ m} + 1.21 \text{ m} + 8.95 \text{ m} - 0.500 \text{ m}$$

$$\mathbf{HDT = 10.56 \text{ m}}$$

### **Cálculo de la potencia de la bomba**

Ecuación 3.1.4.5 – 9

$$P_A = HDT * Q_v * \rho * g$$

$$P_A = 10.6 \text{ m} * 0.00187 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_A = 193.7 \text{ W}$$

$$P_A = 193.7 \text{ W} * \frac{1 \text{ HP}}{745.7 \text{ W}}$$

$$P_A = 0.260 \text{ HP}$$

### Cálculo de la eficiencia mecánica de la bomba

Ecuación 3.1.4.5 – 10

$$E_M = \frac{P_A}{P_N} * 100\%$$

Donde:

P<sub>N</sub>: potencia nominal de la bomba

$$E_M = \frac{0.260 \text{ HP}}{0.500 \text{ HP}} * 100\%$$

$$E_M = 52.2 \%$$

### 3.1.4.6 PURGA DE SEDIMENTOS DEL TANQUE DE FOSFATADO

El volumen destinado a la acumulación de los sedimentos corresponde al siguiente:

Ecuación 3.1.4.6 – 1

$$V_{zm} = X * Y * e_{zm}$$

$$V_{zm} = 1.002 \text{ m} * 1.102 \text{ m} * 0.200 \text{ m}$$

$$V_{zm} = 0.221 \text{ m}^3$$

El tiempo previsto para la purga de los sedimentos se estableció en 5 minutos. Así podemos determinar el caudal correspondiente:

Ecuación 3.1.4.6 – 2

$$Q_V = \frac{V_{zm}}{t}$$

$$Q_V = \frac{0.221 \text{ m}^3}{5 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$Q_V = 7.37 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Para la determinación de la velocidad de flujo se hace uso de la ecuación 3.1.4.3 – 4

$$v_2 = \sqrt{2g(z_f + z_1 - z_2)}$$

$$v_2 = \sqrt{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (0.200 \text{ m} + (0 - (-0.400 \text{ m})))}$$

$$v_2 = 3.43 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La ecuación 3.1.4.3 – 5 determinará el diámetro interno de tubería para la purga.

$$\phi = \sqrt{\frac{4Q_v}{\pi v_2}}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * 7.37 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{3.14159 * 3.43 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

$$\phi = 0.0165 \text{ m} * \frac{1 \text{ pulg}}{0.0254 \text{ m}}$$

$$\phi = 0.650 \text{ pulg}$$

### 3.1.5 DISEÑO DE LOS TANQUES DE ENJUAGUE

#### Cálculo del ancho

Ecuación 3.1.5 – 1

$$X = X_c + 2e_l$$

Donde:

X: ancho del tanque de enjuague.

$X_c$ : ancho de la canasta.

$e_l$ : espacio lateral entre la canasta y el tanque.

$$X = 0.902 \text{ m} + (2 * 0.050 \text{ m})$$

$$X = 1.002 \text{ m}$$

#### Cálculo del largo

Ecuación 3.1.5 – 2

$$Y = Y_c + e_f + e_p$$

Donde:

Y: largo del tanque de enjuague.

$Y_c$ : largo de la canasta.

$e_f$ : espacio frontal entre la canasta y el tanque.

$e_p$ : espacio posterior entre la canasta y el tanque.

$$Y = 0.902 \text{ m} + 0.050 \text{ m} + 0.050 \text{ m}$$

$$Y = 1.002 \text{ m}$$

### Cálculo de la altura

Ecuación 3.1.5 – 3

$$Z = Z_c + e_{zm} + e_s$$

Donde:

Z: altura del tanque de enjuague.

Z<sub>c</sub>: altura de la canasta.

e<sub>zm</sub>: espacio de zona muerta.

e<sub>s</sub>: espacio superior entre la canasta y el tanque.

$$Z = 0.508 \text{ m} + 0.20 \text{ m} + 0.15 \text{ m}$$

$$\mathbf{Z = 0.858 \text{ m}}$$

### Cálculo del volumen total del tanque de enjuague

Ecuación 3.1.5 – 4

$$V_t = X * Y * Z$$

$$V_t = 1.002 \text{ m} * 1.002 \text{ m} * 0.852 \text{ m}$$

$$\mathbf{V_t = 0.855 \text{ m}^3}$$

### Cálculo del volumen de operación del tanque de enjuague

Ecuación 3.1.3 - 5

$$V_{op} = X * Y * (Z - e_s)$$

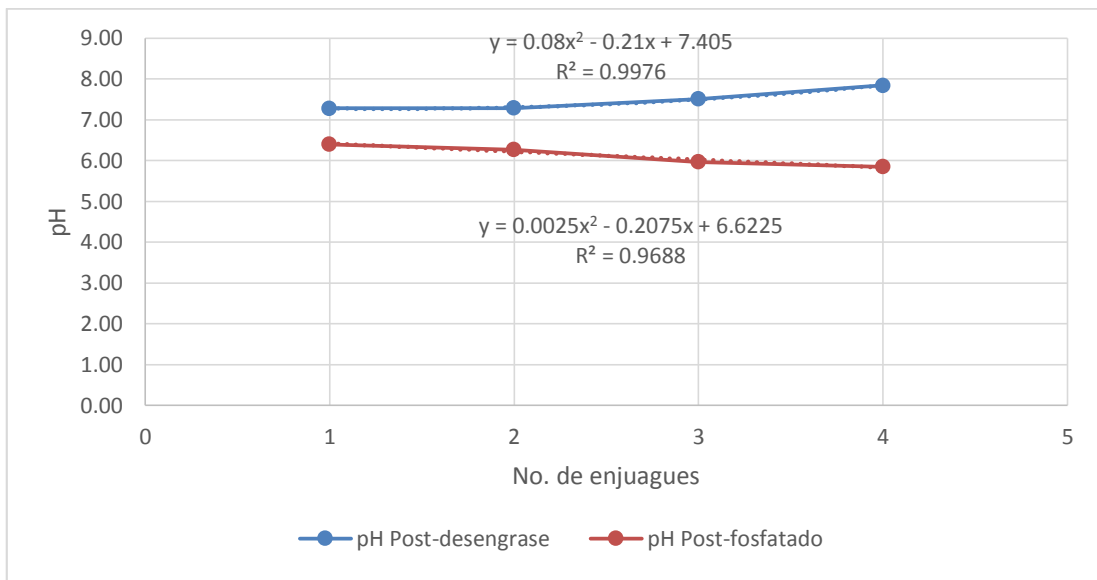
$$V_{op} = 1.002 \text{ m} * 1.002 \text{ m} * (0.852 \text{ m} - 0.15 \text{ m})$$

$$\mathbf{V_{op} = 0.705 \text{ m}^3}$$

### 3.1.5.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA DE CIRCULACIÓN EN LAS ETAPAS DE ENJUAGUE

Tanto en el enjuague después del desengrase como el de después del fosfatado, el pH varía de acuerdo al siguiente gráfico.

**Gráfico 3.1.5.1 – 1: pH vs números de enjuagues**



Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

#### Cálculo de la concentración de iones hidronio

Con los datos de la tabla 2.2.2 – 6 obtenemos la concentración de iones hidronio.

Ecuación 3.1.5.1 – 1

$$C = 10^{-pH}$$

Donde:

C: concentración de iones hidronio

pH: potencial hidrógeno

**Tabla 3.1.5.1 – 1: Concentración de iones hidronio en el agua de enjuague.**

<b>Número de enjuagues</b>	<b>Concentración</b>	
	<b>Post-desengrase</b>	<b>Post-fosfatado</b>
1	5.25E-08	3.98E-07
2	5.13E-08	5.37E-07
3	3.09E-08	1.07E-06
4	1.45E-08	1.41E-06

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Cálculo de la variación de concentración de iones hidronio**

Ecuación 3.1.5.1 – 2

$$\Delta C = C_f - C_i$$

Donde:

$\Delta C$ : variación de concentración de iones hidronio

$C_f$ : concentración final de iones hidronio

$C_i$ : concentración inicial de iones hidronio



**Tabla 3.1.5.1 – 2: Variación de concentración de iones hidronio en el agua de enjuague.**

<b>Determinaciones</b>	<b>Variación de concentración</b>	
	<b>Post-desengrase</b>	<b>Post-fosfatado</b>
1	1.19E-09	1.39E-07
2	2.04E-08	5.34E-07
3	1.64E-08	3.41E-07
<b>Promedio</b>	<b>1.27E-08</b>	<b>3.38E-07</b>

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Cálculo de la concentración de iones hidronio en el agua de alimentación**

$$C = 10^{-7.27}$$

$$C = 5.38 * 10^{-8}$$

**3.1.5.1.1 ENJUAGUE POST-DESENGRASE**

En el enjuague post – desengrase, antes de introducir las herramientas, el pH del agua de enjuague corresponde a 7.27. Después de retirar las herramientas, el pH sufre un incremento, y por ende la concentración de iones hidronio desciende, debido a la naturaleza alcalina del desengrasante.

**Cálculo del pH final del agua de enjuague post – desengrase.**

Ecuación 3.1.5.1.1 – 1

$$C_{n+1} = \frac{C_0V_0 + C_nV_r}{V}$$

Donde:

$C_{n+1}$ : Concentración final del agua de enjuague

$V$ : Volumen total del agua de enjuague

$C_0$ : Concentración del agua de alimentación

$V_0$ : Volumen del agua de alimentación

$C_n$ : Concentración del agua de enjuague durante la inmersión

$V_r$ : Volumen restante del agua de enjuague

$n$ : número de enjuagues

Asumiendo un volumen de 40 L de agua de alimentación, eso nos deja con un volumen restante 685 L, dado que el volumen de operación de los tanques de enjuague es de 705L (0.705 m<sup>3</sup>).

$$C_{n+1} = \frac{(5.38 * 10^{-8} * 40 L) + (5.25 * 10^{-8} * 665 L)}{705 L}$$

$$C_{n+1} = 5.26 * 10^{-8}$$

Ecuación 3.1.5.1.1 – 2

$$pH_{n+1} = -\log(C_{n+1})$$

$$pH_{n+1} = -\log(5.26 * 10^{-8})$$

$$pH_{n+1} = 7.28$$

Sin embargo, a partir del segundo enjuague, se debe añadir el término de la variación de concentración para el cálculo del nuevo pH.

Ecuación 3.1.5.1.1 – 3

$$C_{n+1} = \frac{C_0 V_0 + [(C_n + \Delta C) V_r]}{V}$$

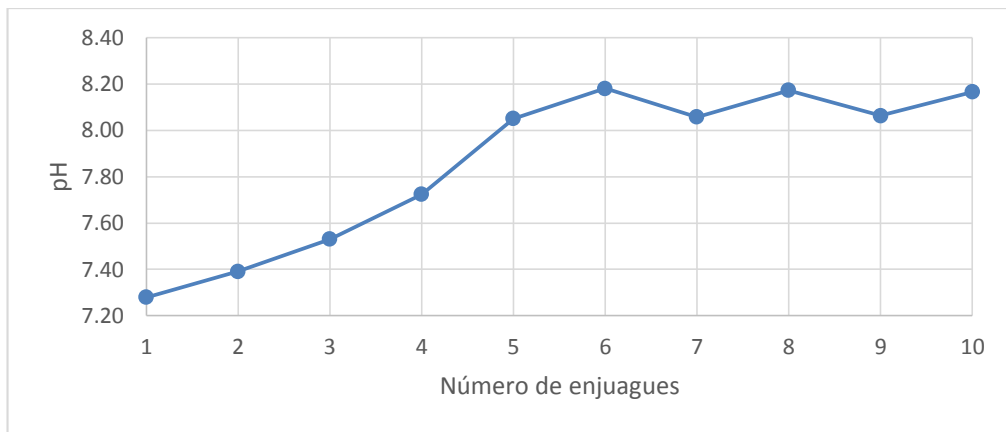
$$C_{n+1} = \frac{(5.38 * 10^{-8} * 40 L) + \{[(5.25 * 10^{-8}) + (1.27 * 10^{-8})] * 665 L\}}{705 L}$$

$$C_{n+1} = 4.07 * 10^{-8}$$

$$pH_{n+1} = 7.39$$

Siguiendo el algoritmo anterior, se obtiene el siguiente gráfico para 10 enjuagues.

**Gráfico 3.1.5.1.1 – 1: pH vs número de enjuagues post - desengrase**



Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

### Cálculo del caudal de agua de alimentación

Ecuación 3.1.5.1.1 – 4

$$Q_V = \frac{V_0}{t}$$

$$Q_V = \frac{40 L}{1 min} * \frac{1 min}{60 s} * \frac{1 m^3}{1000 L}$$

$$Q_V = 6.67 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

### Cálculo de la velocidad de flujo

La velocidad de flujo se la calcula teniendo en cuenta un diámetro interno de  $\frac{1}{2}$ ", es decir, 0.0127 m.

Ecuación 3.1.5.1.1 – 5

$$v = \frac{4Q_v}{\pi\phi^2}$$

$$v = \frac{4 * 6.67 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{3.14159 * (0.0127 m)^2}$$

$$v = 5.27 \frac{m}{s}$$

### Cálculo del número de Reynolds

Para el cálculo del número de Reynolds, se procede con la ecuación 3.1.4.5 – 6

$$N_{Re} = \frac{5.27 \frac{m}{s} * 1000 \frac{kg}{m^3} * 0.0127 m}{8.91 * 10^{-4} \frac{kg}{m * s}}$$

$$N_{Re} = 75117$$

### Cálculo del factor de fricción

Haciendo uso de la ecuación 3.1.4.5 – 7 se calcula el factor de fricción.

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 * \left[ \frac{0.0127 m}{1.5 * 10^{-6} m} \right]} + \frac{5.74}{(75117)^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.0196$$

**Cálculo de la sumatoria del coeficiente de resistencia de accesorio**

Con la ecuación 3.1.4.5 – 8 se determina el coeficiente total de resistencia de accesorios

$$K = \frac{K_1}{N_{Re}} + K_2 \left(1 + \frac{1}{\phi}\right)$$

**Tabla 3.1.5.1.1 – 1: Sumatoria de los factores de resistencia de los accesorios en el tendido de la tubería**

n	Accesorio	K1	K2	K
1	Válvula check	1000	0.5	1.513
1	Válvula compuerta	1500	0.4	1.220
1	Entrada	160	1	3.002
1	Salida	0	1	3.000
3	Codos 90°	800	0.4	3.632
<b>SUMATORIA TOTAL</b>				<b>12.367</b>

**Cálculo de las pérdidas totales**

Ecuación 3.1.5.1.1 – 6

$$h_L = \left[ f * \frac{L}{\phi} * \frac{v^2}{2g} \right] + \left[ \sum_{i=1}^n K_i * \frac{v_i^2}{2g} \right]$$

$$h_L = \left[ 0.0196 * \frac{4.8 \text{ m}}{0.0127 \text{ m}} * \frac{\left(5.27 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right] + \left[ 12.367 * \frac{\left(5.27 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right]$$

$$h_L = 28.04 \text{ m}$$

### Cálculo de las presiones hidrostáticas

Ecuación 3.1.5.1.1 – 7

$$P = \gamma z_f$$

Para el punto de la succión (punto 1).

$$P_1 = \left[ 9810 \frac{N}{m^3} * 0.537 m * \frac{1 kPa}{1000 Pa} \right]$$

$$P_1 = 5.27 kPa$$

Para el punto de la descarga (punto 2).

$$P_2 = \left[ 9810 \frac{N}{m^3} * 0.608 m * \frac{1 kPa}{1000 Pa} \right]$$

$$P_2 = 5.96 kPa$$

### Cálculo de la altura dinámica total

Ecuación 3.1.5.1.1 – 8

$$HDT = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 - z_1 + h_L$$

$$HDT = \frac{5.96 kPa - 5.27 kPa}{9.81 \frac{kN}{m^3}} + \frac{\left(5.27 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} + 0.608 m + 28.04 m$$

$$HDT = 30.14 m$$

### Cálculo de la potencia de la bomba

Ecuación 3.1.5.1.1 – 9

$$P_A = HDT * Q_v * \rho * g$$

$$P_A = 30.14 \text{ m} * 6.67 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_A = 197.2 \text{ W}$$

$$P_A = 197.2 \text{ W} * \frac{1 \text{ HP}}{745.7 \text{ W}}$$

$$P_A = 0.265 \text{ HP}$$

### **Cálculo de la eficiencia mecánica de la bomba**

Ecuación 3.1.4.5 – 10

$$E_M = \frac{P_A}{P_N} * 100\%$$

$$E_M = \frac{0.265 \text{ HP}}{0.500 \text{ HP}} * 100\%$$

$$E_M = 53 \%$$

#### **3.1.5.1.2 ENJUAGUE POST FOSFATADO**

Al igual que en el anterior enjuague, en el enjuague post – fosfatado, antes de introducir las herramientas, el pH del agua de enjuague corresponde a 7.27. Después de retirar las herramientas, el pH sufre un decremento, y por ende la concentración de iones hidronio se eleva, debido a la naturaleza ácida del baño fosfatante.

#### **Cálculo del pH final del agua de enjuague post – fosfatado.**

Asumiendo un volumen de 40 L de agua de alimentación, eso nos deja con un volumen restante 665 L, dado que el volumen de operación de los tanques de enjuague es de 705L (0.705 m<sup>3</sup>).

Ecuación 3.1.5.1.2 – 1

$$C_{n+1} = \frac{C_0 V_0 + C_n V_r}{V}$$

$$C_{n+1} = \frac{(5.38 * 10^{-8} * 40 L) + (3.98 * 10^{-7} * 665 L)}{705 L}$$

$$C_{n+1} = 3.79 * 10^{-7}$$

Ecuación 3.1.5.1.2 – 2

$$pH_{n+1} = -\log(C_{n+1})$$

$$pH_{n+1} = -\log(3.79 * 10^{-7})$$

$$\mathbf{pH_{n+1} = 6.42}$$

Sin embargo, a partir del segundo enjuague, se debe añadir el término de la variación de concentración para el cálculo del nuevo pH.

Ecuación 3.1.5.1.2 – 3

$$C_{n+1} = \frac{C_0 V_0 + [(C_n + \Delta C) V_r]}{V}$$

$$C_{n+1} = \frac{(5.38 * 10^{-8} * 20 L) + \{[(3.79 * 10^{-7}) + (3.38 * 10^{-7})] * 665 L\}}{705 L}$$

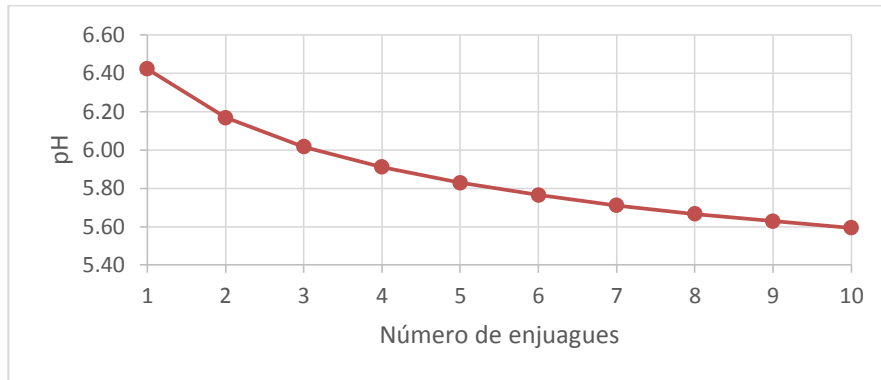
$$C_{n+1} = 6.79 * 10^{-7}$$

$$\mathbf{pH_{n+1} = 6.17}$$

Siguiendo el algoritmo anterior, se obtiene el siguiente gráfico para 10 enjuagues.



**Gráfico 3.1.5.1.2 – 1: pH vs número de enjuagues post - fosfatado**



Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

### Cálculo del caudal de agua de alimentación

Ecuación 3.1.5.1.1 – 4

$$Q_v = \frac{V_0}{t}$$

$$Q_v = \frac{40 L}{1 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 L}$$

$$Q_v = 6.67 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

### Cálculo de la velocidad de flujo

La velocidad de flujo se la calcula teniendo en cuenta un diámetro interno de ½”, es decir, 0.0127 m.

Ecuación 3.1.5.1.1 – 5

$$v = \frac{4Q_v}{\pi \phi^2}$$

$$v = \frac{4 * 6.67 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{3.14159 * (0.0127 \text{ m})^2}$$

$$v = 5.27 \frac{m}{s}$$

### **Cálculo del número de Reynolds**

Para el cálculo del número de Reynolds, se procede con la ecuación 3.1.4.5 – 6

$$N_{Re} = \frac{5.27 \frac{m}{s} * 1000 \frac{kg}{m^3} * 0.0127 m}{8.91 * 10^{-4} \frac{kg}{m * s}}$$

$$N_{Re} = 75117$$

### **Cálculo del factor de fricción**

Haciendo uso de la ecuación 3.1.4.5 – 7 se calcula el factor de fricción.

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 * \left[ \frac{0.0127 m}{1.5 * 10^{-6} m} \right]} + \frac{5.74}{(75117)^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.0196$$

### **Cálculo de la sumatoria del coeficiente de resistencia de accesorio**

Con la ecuación 3.1.4.5 – 8 se determina el coeficiente total de resistencia de accesorios

$$K = \frac{K_1}{N_{Re}} + K_2 \left( 1 + \frac{1}{\phi} \right)$$

**Tabla 3.1.5.1.2 – 1: Sumatoria de los factores de resistencia de los accesorios en el tendido de la tubería**

n	Accesorio	K1	K2	K
1	Válvula check	1000	0.5	1.513
1	Válvula compuerta	1500	0.4	1.220
1	Entrada	160	1	3.002
1	Salida	0	1	3.000
5	Codos 90°	800	0.4	6.053
SUMATORIA TOTAL				14.789

**Cálculo de las pérdidas totales**

Ecuación 3.1.5.1.2 – 6

$$h_L = \left[ f * \frac{L}{\phi} * \frac{v^2}{2g} \right] + \left[ \sum_{i=1}^n K_i * \frac{v_i^2}{2g} \right]$$

$$h_L = \left[ 0.0196 * \frac{4.82 \text{ m}}{0.0127 \text{ m}} * \frac{\left( 5.27 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right] + \left[ 14.789 * \frac{\left( 5.27 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right]$$

$$h_L = 31.4 \text{ m}$$

**Cálculo de las presiones hidrostáticas**

Ecuación 3.1.5.1.1 – 7

$$P = \gamma z_f$$

Para el punto de la succión (punto 1).

$$P_1 = \left[ 9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * 0.537 \text{ m} * \frac{1 \text{ kPa}}{1000 \text{ Pa}} \right]$$

$$P_1 = 5.27 \text{ kPa}$$

Para el punto de la descarga (punto 2).

$$P_2 = \left[ 9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * 0.608 \text{ m} * \frac{1 \text{ kPa}}{1000 \text{ Pa}} \right]$$

$$P_2 = 5.96 \text{ kPa}$$

### Cálculo de la altura dinámica total

Ecuación 3.1.5.1.1 – 8

$$HDT = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 - z_1 + h_L$$

$$HDT = \frac{5.96 \text{ kPa} - 5.27 \text{ kPa}}{9.81 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}} + \frac{\left(5.27 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 0.608 \text{ m} + 31.4 \text{ m}$$

$$HDT = 33.5 \text{ m}$$

### Cálculo de la potencia de la bomba

Ecuación 3.1.5.1.1 – 9

$$P_A = HDT * Q_v * \rho * g$$

$$P_A = 33.5 \text{ m} * 6.67 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_A = 219.2 \text{ W}$$

$$P_A = 219.2 \text{ W} * \frac{1 \text{ HP}}{745.7 \text{ W}}$$

$$P_A = 0.293 \text{ HP}$$

### Cálculo de la eficiencia mecánica de la bomba

Ecuación 3.1.4.5 – 10

$$E_M = \frac{P_A}{P_N} * 100\%$$

$$E_M = \frac{0.293 \text{ HP}}{0.500 \text{ HP}} * 100\%$$

$$E_M = 58.6 \%$$

### 3.1.5.2 DISEÑO DE LOS DESAGÜES DE LOS TANQUES DE ENJUAGUE

El diámetro de tubería del desagüe es igual al del desagüe de los tanques de desengrase, afinado y neutralizado, es decir, 1.039 pulg, ubicada a 0.508 m de la base del tanque

### 3.1.6 PREPARACIÓN DE LOS BAÑOS DEL PROCESO

Para el desengrasante Kleanex 40

Ecuación 3.1.6 – 1

$$m_d = C_d * V_{op}$$

Donde:

$m_d$ : masa de desengrasante Kleanex 40 a disolver.

$C_d$ : concentración del desengrasante.

$V_{op}$ : Volumen de operación del baño.

$$m_d = \frac{25.0 \text{ g}}{L} * 0.782 \text{ m}^3 * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$m_d = 19.5 \text{ kg de Kleanex 40}$$

**Para el afinador Fosfation 16**

Ecuación 3.1.6 – 2

$$m_a = C_a * V_{op}$$

Donde:

$m_a$ : masa de Fosfation 16 a disolver.

$C_a$ : concentración del Fosfation 16

$V_{op}$ : Volumen de operación del baño.

$$m_a = \frac{2.5 \text{ g}}{L} * 0.782 \text{ m}^3 * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$m_a = 1.96 \text{ kg de Fosfation 16}$$

**Para el Fosfation 40**

Ecuación 3.1.6 – 3

$$V_f = C_f * V_{op}$$

Donde:

$V_f$ : volumen de Fosfation 40 a disolver.

$C_f$ : concentración del Fosfation 40

$V_{op}$ : Volumen de operación del baño.

$$m_a = \frac{80 \text{ mL Fosfation 40}}{L} * 0.782 \text{ m}^3 * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ L Fosfation 40}}{1000 \text{ mL Fosfation 40}}$$

$$m_a = 62.7 \text{ L de Fosfation 40}$$

### Para el neutralizador Ferrinox 3

Ecuación 3.1.6 – 4

$$m_n = C_n * V_{op}$$

Donde:

$m_n$ : masa de Ferrinox 3 a disolver.

$C_n$ : concentración del Ferrinox 3

$V_{op}$ : Volumen de operación del baño.

$$m_a = \frac{30 \text{ g}}{\text{L}} * 0.782 \text{ m}^3 * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$m_a = 23.46 \text{ kg de Ferrinox 3}$$

### 3.1.7 CONTROL QUÍMICO DEL BAÑO FOSFATANTE

Ecuación 3.1.7 – 1

$$V_A = \Delta(A. T.) * F * V_{op}$$

Donde:

$V_A$ : Volumen a adicionar de Fosfation 40

$\Delta(A.T.)$ : Puntos faltantes de acidez total en el baño fosfatante

F: Factor de relación entre los puntos de acidez y la concentración del baño

$V_{op}$ : Volumen de operación del baño fosfatante

$$V_A = \Delta(A.T.) * \frac{2.81 \text{ mL de Fosfation 40}}{(\text{puntos de acidez total}) * \text{L baño}} * 782 \text{ L baño}$$

### 3.1.8 BALANCE DE ENERGÍA PARA CADA ETAPA DEL PROCESO

Ecuación 3.1.8 – 1

$$Q - W = \Delta H + \Delta E_c + \Delta E_p$$

Donde:

Q: Calor que interactúa con el sistema

W: Trabajo que interactúa con el sistema

$\Delta H$ : Variación de entalpía

$\Delta E_c$ : Variación de energía cinética

$\Delta E_p$ : Variación de energía potencial

Las etapas de desengrase, afinado, fosfatado y neutralizado carecen de interacciones de trabajo, cambios de velocidad y de altura. Además, si se colocan los términos restantes como propiedades específicas, tiene:

Ecuación 3.1.8 – 2

$$q = \Delta h$$

Ecuación 3.1.8 – 3

$$q = h_2 - h_1$$

**Para la etapa de desengrase**

$$q_1 = (335.02 - 104.83) \frac{kJ}{kg}$$

$$q_1 = 230.19 \frac{kJ}{kg}$$



$$Q_1 = 230.19 \frac{kJ}{kg} * 1000 \frac{kg}{m^3} * 0.782 m^3$$

$$Q_1 = 180\ 009\ kJ$$

**Para la etapa de afinado**

$$q_2 = (293.07 - 104.83) \frac{kJ}{kg}$$

$$q_2 = 188.24 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_2 = 188.24 \frac{kJ}{kg} * 1000 \frac{kg}{m^3} * 0.782 m^3$$

$$Q_2 = 147\ 204\ kJ$$

**Para la etapa de fosfatado**

$$q_3 = (377.04 - 104.83) \frac{kJ}{kg}$$

$$q_3 = 272.21 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_3 = 272.21 \frac{kJ}{kg} * 1000 \frac{kg}{m^3} * 0.782 m^3$$

$$Q_3 = 212\ 868\ kJ$$

**Para la etapa de neutralizado**

$$q_4 = (251.18 - 104.83) \frac{kJ}{kg}$$

$$q_4 = 146.35 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_4 = 146.35 \frac{kJ}{kg} * 1000 \frac{kg}{m^3} * 0.782 m^3$$

$$Q_4 = 114\ 446\ kJ$$

**Sumatoria del calor requerido del proceso**

$$\sum_{i=1}^4 Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$\sum_{i=1}^4 Q_i = (180\ 009 + 147\ 024 + 212\ 868 + 114\ 446)\ kJ$$

$$\sum_{i=1}^4 Q_i = 654\ 347\ kJ$$

$$\sum_{i=1}^4 Q_i = 654\ 347\ kJ * \frac{1\ kWh}{3600\ kJ}$$

$$\sum_{i=1}^4 Q_i = 182\ kWh$$

### **3.1.9 CÁLCULO DE LOS COSTOS DE CALEFACCIÓN EN FUNCIÓN DE LOS BALANCES DE ENERGÍA**

#### **3.1.9.1 CÁLCULO DEL COSTO DE GLP**

$$Costo\ total = \frac{654\ 347\ kJ}{carga} * \frac{1\ kg\ GLP}{46\ 000\ kJ} * \frac{1\ cilindro\ de\ GLP}{45\ kg\ GLP} * \frac{\$ 70.00}{1\ cilindro\ de\ GLP}$$

$$Costo\ total = \frac{\$ 22.13}{carga}$$

### 3.1.9.2 CÁLCULO DEL COSTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

$$\text{Costo total} = \frac{182 \text{ kWh}}{\text{carga}} * \frac{\$ 0.079}{1 \text{ kWh}}$$

$$\text{Costo total} = \frac{\$ 14.40}{\text{carga}}$$

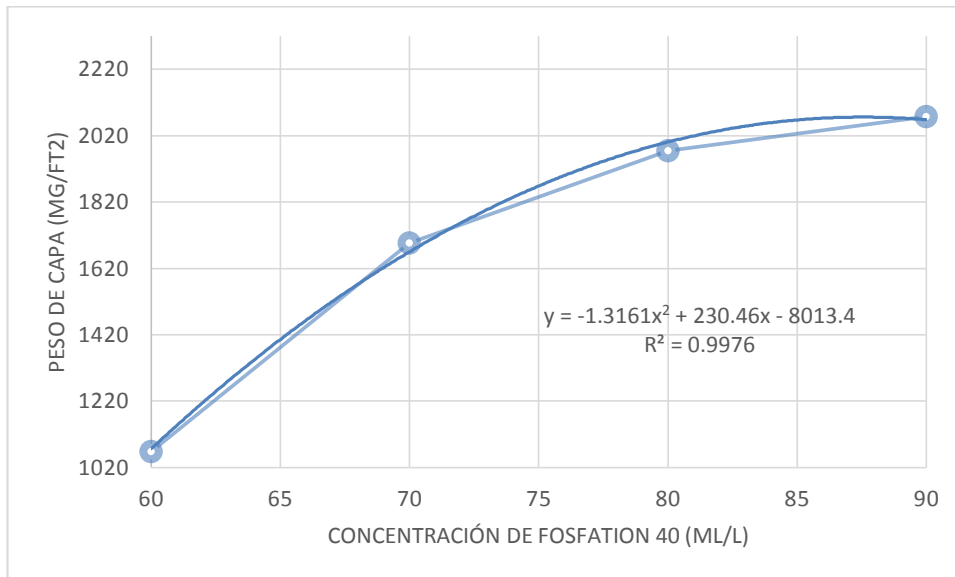
### 3.2 RESULTADOS

**Tabla 3.2 – 1: Pesos de capa que cumplen con el procedimiento TSH.PP.00.0018 de los cupones circulares AISI 4140 a temperatura de 90° C y tiempo 5 min**

Cupón	C (mL/L)	W (mg/ft <sup>2</sup> )	Estado
STP-Mn-016	60	1068	Cumple
STP-Mn-017	70	1696	Cumple
STP-Mn-018	80	1975	Cumple
STP-Mn-019	90	2076	Cumple

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Gráfico 3.2 -1: Peso de capa vs concentración, cupones circulares AISI 4140 a temperatura de 90° C y tiempo 5 min**



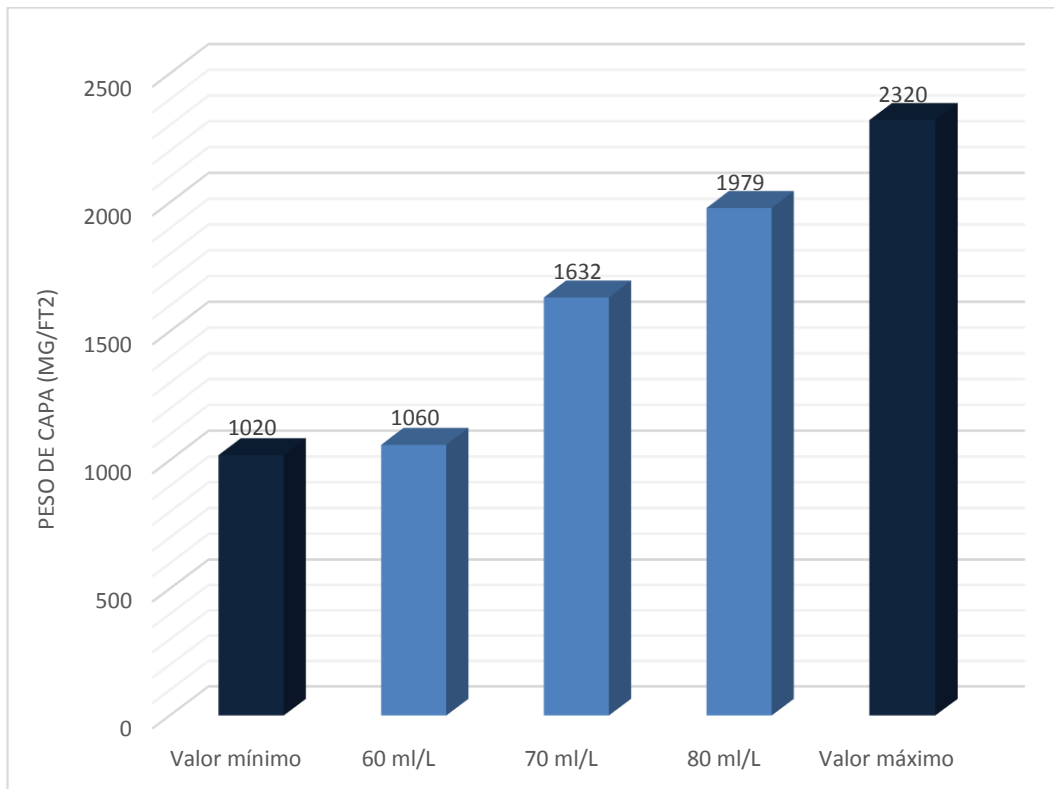
Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 3.2 – 2: Promedio de los parámetros de fosfatación de los cupones rectangulares AISI 4130. Temperatura de 90 °C y tiempo de 5 min**

C (mL/L)	A.L.	A.T.	R	W (mg/ft <sup>2</sup> )	Estado
60	3.3	20.4	6.2	1060	Cumple
70	3.9	25.0	6.4	1632	Cumple
80	4.5	29.5	6.5	1979	Cumple

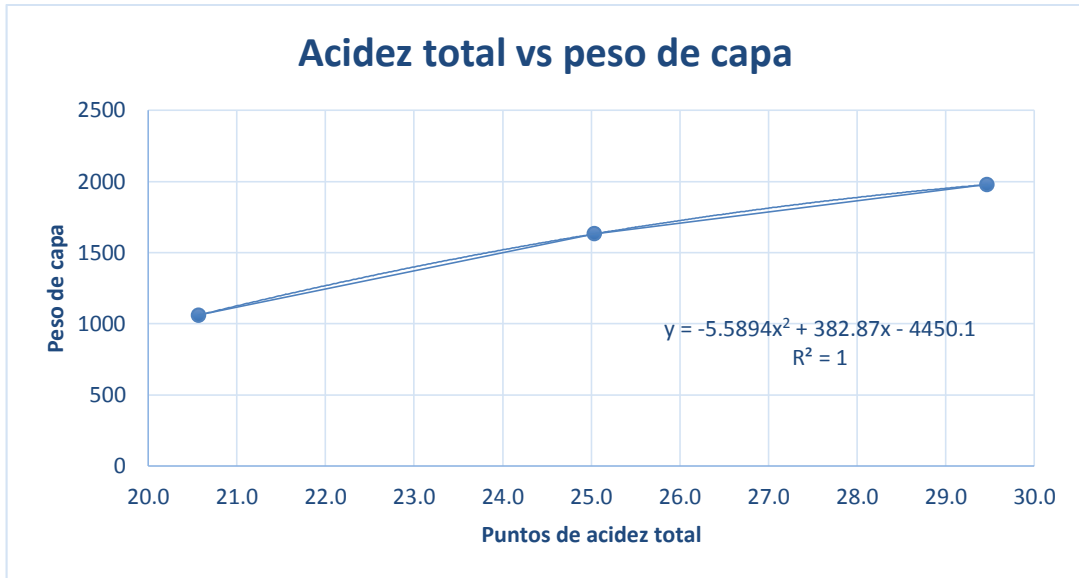
Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Gráfico 3.2 – 2: Comparación de pesos de capa con la especificación en TSH.PP.00.0018**



Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Gráfico 3.2 – 3: Acidez total vs concentración, cupones rectangulares AISI 4130 a temperatura de 90° C y tiempo 5 min**



Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 3.2 – 3: Dimensiones de los tanques de proceso**

Tanque	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)
Desengrase	1.102	1.002	0.858
Enjuague post - desengrase	1.002	1.002	0.858
Afinado	1.102	1.002	0.858
Fosfatado	1.102	1.002	0.858
Enjuague post - fosfatado	1.002	1.002	0.858
Neutralizado	1.102	1.002	0.858

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 3.2 – 4: Concentración de producto químico de las etapas de fosfatado**

<b>Etapa</b>	<b>Concentración</b>	<b>Cantidad de producto para el volumen de los tanques</b>
Desengrase	25 g/L	19.5 kg de Kleanex 40
Afinado	2.5 g/L	1.96 kg Fosfation 16
Fosfatado	80 mL/L	62.7 L Fosfation 40
Neutralizado	30 g/L	23.46 kg Ferrinox3

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 3.2 – 5: Condiciones de operación del proceso de fosfatación**

<b>Etapa</b>	<b>Volumen de operación (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
Desengrase	0.782	10	80
Enjuague post - desengrase	0.705	1	25
Afinado	0.782	5	70
Fosfatado	0.782	5	90
Enjuague post - fosfatado	0.705	1	25
Neutralizado	0.782	2	60

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 3.2 – 6: Condiciones de acidez recomendadas para el baño fosfatante**

Acidez libre	Acidez total	Relación de acidez	Factor de relación
3.3 – 4.5	20.4 – 29.5	6.2 – 6.6	2.81

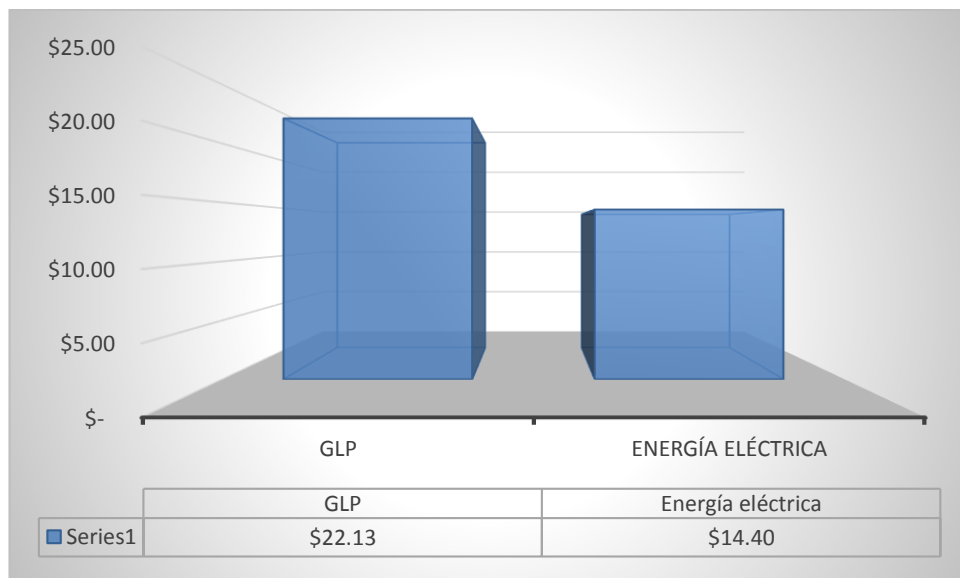
Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Tabla 3.2 – 7: Potencia de las bombas centrífugas utilizadas en el proceso**

Bomba	Potencia que se le suministra al fluido	Potencia nominal	Eficiencia mecánica
Auxiliar al fosfatado	0.260 HP	0.500 HP	52 %
Enjuague post - desengrase	0.265 HP	0.500 HP	53 %
Enjuague post - fosfatado	0.293 HP	0.500 HP	59 %

Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Gráfico 3.2 – 4: Comparación de costos de calefacción por carga**



Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013



### **3.3 PROPUESTA**

Con el diseño de la planta de fosfatación al manganeso, por inmersión, para herramientas de transporte de petróleo en la empresa Sertecpet S.A. – Base Coca, se pretende cumplir con lo establecido en los procedimientos de Tenaris Hydril referente a las conexiones TSH Blue™.

Para el procesamiento de 49 X – Over con conexiones TSH Blue™, se requiere de una canasta de acero inoxidable de dimensiones 0.902 m x 0.902 m x 0.508 m, la cual será elevada mediante la utilización de un polipasto que Sertecpet dispone a su conveniencia. La capacidad máxima del polipasto es de 2 toneladas.

Los tanques de inmersión corresponden a volúmenes de operación de 0.782 m<sup>3</sup> para las etapas de desengrase, afinado, fosfatado y neutralizado, y 0.705 m<sup>3</sup> para las etapas de enjuague.

La etapa de desengrase y su posterior facilita el manejo de varias cargas de herramientas, optimizando tiempos y mano de obra. Los hilos de la conexión TSH Blue™ son difíciles de limpiar manualmente, mientras el desengrase por inmersión permite remover cualquier rastro de grasa de la superficie de la conexión.

El tanque correspondiente al baño afinador de Fosfation 16 debe poseer un sistema de agitación de aire para lograr homogeneidad de solución. La presión de inyección de aire debe ser de 40 psi y el diámetro de la tubería de 3/8”.

### 3.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Después de finalizar la simulación del proceso de fosfatación al manganeso a escala de laboratorio, se logró instaurar los parámetros óptimos para la fosfatación que cumplan con los requerimientos establecidos en el procedimiento TSH.PP.00.0018, es decir, un peso de capa comprendido ente 1020 y 2320 mg/ft<sup>2</sup>.

En la etapa de fosfatación, concentraciones de 210 mL de Fosfation 40 por litro de baño, la especificada por Bycsa, manteniendo constante la temperatura y variando el tiempo, y viceversa, los pesos de capa resultantes eran mayores a 2320 mg/ft<sup>2</sup>. Debido a este hecho, se procedió a disminuir la concentración de Fosfation 40 a la mitad, sin embargo el peso de capa aún era demasiado alto. Se continuó la disminución de la concentración hasta lograr el requerimiento anteriormente mencionado; valores de 60, 70, 80 y 90 mL de Fosfation 40 por litro, se obtuvieron pesos de capa en los cupones circulares AISI 4140 de 1068, 1696, 1975 y 2076 mg/ft<sup>2</sup> respectivamente.

Para los cupones rectangulares AISI 4130, se lograron obtener pesos de capa de 1060, 1632 y 1979, utilizando baños de 60, 70 y 80 mL de Fosfation 40 por litro correspondientemente. Las condiciones óptimas de operación para la etapa de fosfatación se lograron realizando una inmersión del cupón procesado durante unos 5 minutos, cuando la temperatura del baño alcanzó los 90 °C, a una concentración de 80 mL de Fosfation 40 por litro. La acidez medida en esta operación fue de 4.5 y 29.5 puntos de acidez libre y acidez total respectivamente.

El tanque de fosfatado posee otro tanque auxiliar y una purga para realizar el mantenimiento del baño fosfatante. Debido a la formación de precipitados, se pretende transportar por gravedad el baño de Fosfation 40 al tanque auxiliar; el volumen restante

será evacuado por una purga junto con los sedimentos a través de una tubería de 0.650” de diámetro. El tanque auxiliar tendrá una capacidad de 0.563 m<sup>3</sup> y la bomba que transportará el fluido de nuevo al tanque de proceso es de 0.500 HP.

Las etapas de enjuague, tanto de post – desengrase como post – fosfatado, tienen un ingreso constante de agua a caudales de 40 L/min, cada uno, logrando mantener el pH dentro del requerimiento propuesto por Bycsa; para el primer enjuague, un pH alrededor de los 8 (máximo 11), y para el segundo enjuague, un pH mayor a 5 (mínimo 3). Las bombas a emplearse responden a potencias de 0.500 HP cada una.

La calefacción del baño es más rentable si se la hace mediante el uso de resistencias eléctricas en lugar de la combustión del GLP. El consumo eléctrico de las resistencias es de \$ 14.40 por cada carga de herramientas, mientras que con GLP, el costo resultante es de \$ 22.13 por carga.

# **CAPÍTULO IV**

## **Conclusiones y**

## **Recomendaciones**

## CAPÍTULO IV

### 4.1 CONCLUSIONES

- Los ensayos del proceso realizados a escala de laboratorio permitieron identificar las variables de operación de la etapa de fosfatación: tiempo de inmersión, temperatura y concentración
- Se establecieron las condiciones óptimas de operación del proceso: para el desengrase con un tiempo de 10 minutos y temperatura de 80 °C; para el afinado 5 minutos y 70 °C; para el fosfatado 5 minutos, 90 °C y una concentración de 80 mL/L de Fosfation 40; y para el neutralizado 2 minutos y 60 °C. Mientras que para las etapas de enjuague post – desengrase y post – fosfatado, el caudal del agua de alimentación es de 40 L/min.
- La capacidad que se estableció de la planta es de 49 herramientas X – Over por cada carga. Los tanques de enjuague tienen un volumen de operación de 705 L y los tanques de desengrase, afinado, fosfatado y neutralizado corresponden a un volumen de 782 L. La energía necesaria para el calentamiento del proceso es de 182 kW-h. La agitación del tanque de afinado será realizada mediante una tubería de aire de 3/8”
- El sistema diseñado fue validado mediante pruebas de peso de capa de acuerdo al procedimiento de Tenaris Hydril TSH-PP-00.0018; las cuales a una concentración de 80 mL/L de Fosfation 40, acidez libre de 4.5 y acidez total de 29.5, se obtuvo un peso de capa de 1979 mg/ft<sup>2</sup>, el cual está dentro del rango establecido en el procedimiento ya antes mencionado.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Controlar la acidez libre y la acidez total antes, durante y después del proceso de fosfatación. Así se logrará mantener estos valores dentro de rango.
- Realizar determinaciones de la concentración de hierro ferroso para asegurar la calidad del baño fosfatante.
- Medir el pH del agua de los tanques de enjuague con el propósito de evitar incrementos en el caso del post – desengrase y disminuciones en el post – fosfatado.
- Como una mejora posterior al proceso, se puede implementar aislantes térmicos para optimizar costos de calefacción.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- 1. CASTELLOT, A.,** La Fosfatación., 1era.ed., Barcelona – España.,  
Editor José Oriol Ávila Montesó., 1962., 229 p.
- 2. ÇENGEL, Y. Y OTROS.,** Termodinámica., Traducido de la 7ma. ed.  
Inglesa por Virgilio González., México D.F., México,  
Editorial McGraw-Hill, 2012, P. 914.
- 3. MOTT, R.,** Mecánica de Fluidos Aplicada., Traducido de la 4ta. ed.  
Inglesa por Carlos Cordero., Ciudad de Juárez – México.,  
Editorial Prentice Hall., 1996., Pp. 145 – 286

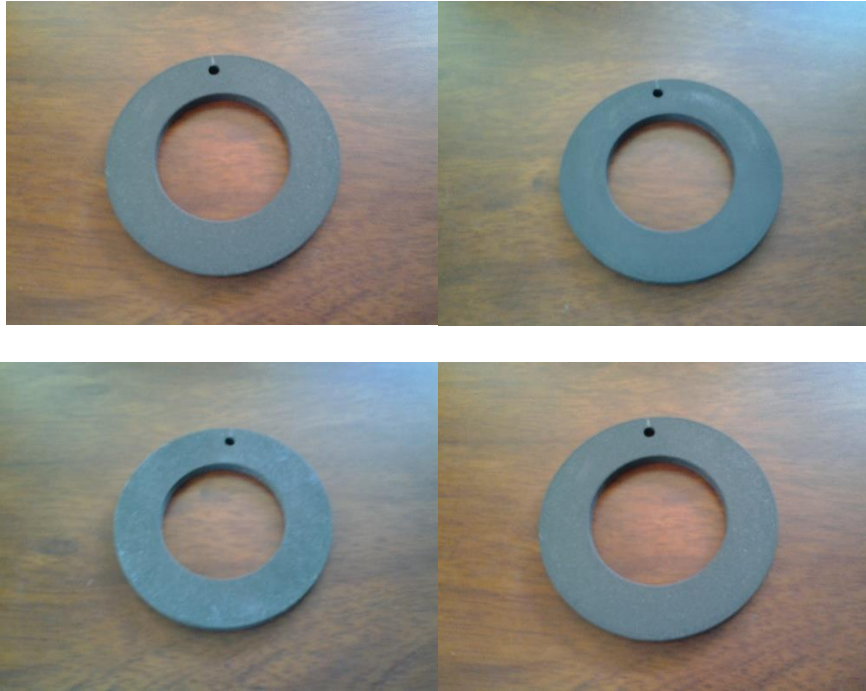
4. **PERRY, R.**, Manual del Ingeniero Químico., 7ma. ed., s.l., Editorial McGraw-Hill., 2001., Pp. 28.10 - 28.11
  
5. **SMITH, J.M. Y OTROS.**, Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química., Traducido de la 5ta. ed. Inglesa por Edmundo Urbina., México D.F – México., Editorial McGraw-Hill., 1997, P. 250.
  
6. **TENARIS HYDRIL**, Blue®  
<http://www.tenaris.com/en/Products/PremiumConnections/BlueSeries/Blue.aspx>

2013/12/20



# **ANEXOS**

## **Anexo N° 1 – Cupones circulares fosfatados al manganeso**



Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

## **Anexo N° 2 – Simulación del proceso de fosfatación**



Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Anexo N° 3 – Cupón rectangular AISI 4130 fosfatado al manganeso**



Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

**Anexo N° 4 – Baño fosfatante de manganeso**



Fuente: Steven Medina, Diciembre 2013

## Anexo N° 5 – Conexión TSH Blue®



Fuente: Tenaris Hydril

**Anexo N° 6 – Costo estimativo de inversión de la planta de fosfatación**

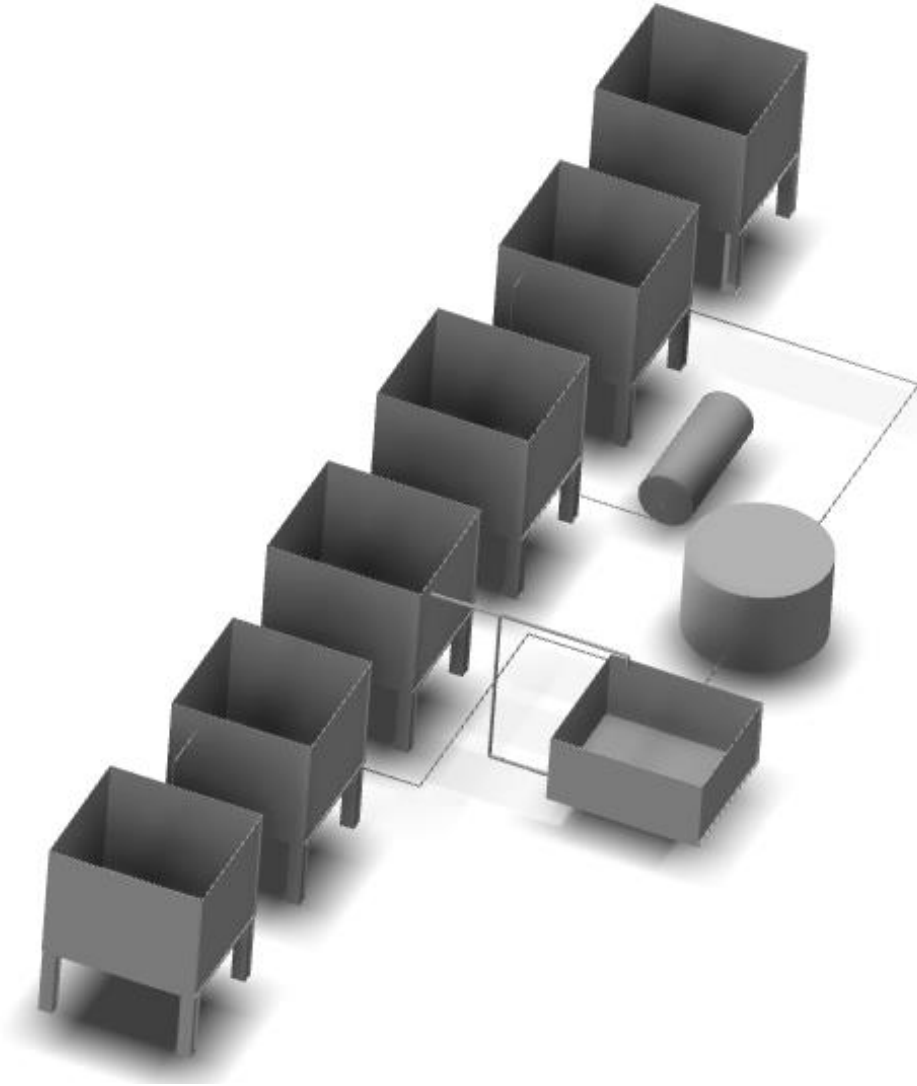
<b>MATERIAL Y MANO DE OBRA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS TANQUES</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Detalle</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Precio</b>
18	Plancha de acero inoxidable 304 - 1/4 " espesor	\$ 133.33	\$ 2 400.00
6	Plancha perforada de acero inoxidable 304 - 1/4 " espesor	\$ 150.00	\$ 900.00
25	Ángulos de 1 1/2 " x 1/8" de acero inoxidable	\$ 22.40	\$ 560.00
12	Kilo de electrodo 308 L. 1/8"	\$ 6.76	\$ 81.10
30	Metro de cadena de acero inoxidable 1/4"	\$ 5.00	\$ 150.00
30	Grillete de 1/4"	\$ 3.20	\$ 96.00
24	Tubos tubing de 1/2" x 6 m de longitud	\$ 29.17	\$ 700.00
2	Caja de accesorios para tubing de 1/2"	\$ 160.00	\$ 320.00
	Mano de obra		\$ 4 200.00
<b>Total</b>			<b>\$ 9 407.10</b>

<b>PRODUCTOS QUÍMICOS PARA EL PROCESO DE FOSFATADO AL MANGANESO</b>			
<b>Cantidad (kg)</b>	<b>Detalle</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Precio</b>
40	Kleanex 40	\$ 4.95	\$ 198.00
10	Fosfation 16	\$ 45.00	\$ 450.00
100	Fosfation 140	\$ 8.95	\$ 895.00
50	Ferrinox 3	\$ 7.80	\$ 390.00
<b>Total</b>			<b>\$ 1 933.00</b>

<b>TOTAL</b>			<b>\$ 11 340.10</b>
--------------	--	--	---------------------

Fuente: Sertecpet

**Anexo N° 7 – Plano 3D de la Planta de Fosfatación**



Fuente: Steven Medina, Diciembre 2014