**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

“Metodología para la Selección y Configuración de los Equipos Hidráulicos para una Estación de Bombeo Tipo Búster”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

Cristhian Mauricio Verdy Viteri

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2004

DECLARACIÓN EXPRESA

|  |
| --- |
| “La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”  (Reglamento de Graduación de la ESPOL). |

|  |
| --- |
| \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  Cristhian Mauricio Verdy Viteri |

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

|  |  |
| --- | --- |
| \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  Ing. Eduardo Rivadeneira P.  DECANO DE LA FIMCP  PRESIDENTE | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  Ing. Mario Patiño A.  DIRECTOR DE TESIS |
| \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  Ing. Marcelo Espinosa L.  VOCAL | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  Ing. Vicente Adum G.  VOCAL |

AGRADECIMIENTO

|  |
| --- |
| A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente al Ing. Mario Patiño Director de Tesis, por su invaluable ayuda. |

DEDICATORIA

|  |
| --- |
| A MI MADRE  A MI PADRE  A MIS HERMANOS |

**RESUMEN**

El desarrollo de la presente tesis expone el caso en que para descargar combustible desde un B/T acoderado mar adentro necesita un sistema de apoyo o búster que se encargue de adicionar la energía requerida para transportar el fluido hacia los tanques de almacenamiento en tierra, teniendo como finalidad que el sistema de bombeo pueda garantizar la recepción del producto en cualquiera de las condiciones de bombeo que se presenten en el Terminal.

Para comenzar la selección de los equipos y los análisis hidráulicos de la estación de bombeo tipo búster, en su primera parte se revisan los conceptos y las variables que se manejan en este campo de la ingeniería, luego se desarrolla los fundamentos teóricos que sustentan los cálculos y análisis posteriores.

En su parte central, la tesis expone una metodología para la selección y configuración de los equipos hidráulicos de una estación de bombeo tipo búster, la cuál expone los conceptos en forma metódica para seguir el proceso de selección del diámetro de la tubería de succión, selección del diámetro mas económico de la línea de impulsión, selección de la bomba búster y el cálculo del golpe de ariete.

Para finalizar la tesis de grado expone como caso de estudio un problema de ingeniería que puede ser resuelto aplicando la metodología anteriormente desarrollada, y para realizar el diseño de la estación de bombeo se utilizan hojas electrónicas desarrolladas en el programa Microsoft Excel y basadas en los conceptos que expone la tesis en su metodología, poniendo en práctica de esta manera la selección de los equipos y los análisis hidráulicos con la metodología que se proponer solucionar un problema de ingeniería de estas características.

**INDICE GENERAL**

Pág.

RESUMEN.........................................................................................................I

INDICE GENERAL...........................................................................................II

ABREVIATURAS.............................................................................................III

SIMBOLOGÍA..................................................................................................IV

ÍNDICE DE FIGURAS......................................................................................V

ÍNDICE DE TABLAS.......................................................................................VI

ÍNDICE DE PLANOS.....................................................................................VII

INTRODUCCIÓN..........................................................................................VIII

CAPITULO 1

1. GENERALIDADES DE UNA ESTACIÓN DE BOMBEO TIPO BÚSTER.1
   1. Estación de Bombeo Tipo Búster..................................................2
   2. Condiciones de Recepción y Despacho en el Terminal..............12
   3. Estudios Varios............................................................................32

CAPÍTULO 2

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS................................................................34
   1. Definiciones.................................................................................35
   2. Estimación del diámetro económico de la tubería de un sistema de bombeo...................................................................................49
   3. Parámetros de Selección de una bomba.....................................59
   4. Fenómeno del Golpe de Ariete....................................................74

CAPÍTULO 3

1. EQUIPOS Y ACCESORIOS..................................................................83
   1. Válvulas y Accesorios..................................................................84
   2. Equipos de protección de alivio de presión.................................98

CAPÍTULO 4

* 1. METODOLOGÍA DE CÁLCULO Y SELECCIÓN.................................102
  2. Parámetros y Especificación de Operación...............................104
     1. Parámetros Oceanográficos...........................................105
     2. Parámetros Geológicos..................................................107
     3. Condiciones de Operación..............................................111
  3. Selección del Diámetro de Tubería Óptimo para la Línea de Succión......................................................................................116
  4. Selección del Diámetro mas Económico de la Línea de

Descarga…...……………………..……………………………....134

* 1. Selección del Tipo de Bomba Búster.........................................143
     1. Alternativas de Selección y Configuración......................146
     2. Análisis de Alternativas...................................................153
  2. Descripción de la Estación de Bombeo.....................................159
     1. Configuración..................................................................160
     2. Operación.......................................................................163
  3. Análisis del Golpe de ariete.......................................................165
     1. Datos de las Instalaciones a considerarse.....................165
     2. Método de Cálculo..........................................................166

CAPÍTULO 5

* 1. CASO DE ESTUDIO............................................................................172
  2. Desarrollo de una hoja electrónica............................................173

CAPÍTULO 6

* 1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.......................................215
  2. Conclusiones.............................................................................216
  3. Recomendaciones.....................................................................223

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

**ABREVIATURAS**

ANSI

API

B/T

gpm

Kg

Kg/cm2

Kg/cm3

Km

Lb

Lb/pie

Lb/pie3

Lb/pulgs2

Min

m2

m3

m3/h

m/seg

PLEM

Pulg

Tons

ULCC

VLCC

Instituto Americano de Estándares y Normas

Instituto del Petróleo Americano

Buque Tanque

Galones por minuto

Kilogramos

Kilogramos por centímetro cuadrado

Kilogramos por centímetro cúbico

Kilómetros

Libras

Libras por pie

Libras por pie cúbico

Libras por pulgada cuadrada

Minutos

Metros cuadrados

Metros cúbicos

Metros cúbicos por hora

Metros por segundo

Manifold al Final de la Línea

Pulgada

Toneladas

Transportadores Ultra Grandes de Crudo

Transportadores Grandes de Crudo

**SIMBOLOGÍA**

A

C

d

d/m

L

La

HP

Q

Qn

Qp

R

Ra

Ro

t

tp

td

V

Vi

Vo

Vpig

Vti

#

Área

Centígrados

Longitud de línea

Días al mes

Longitud de corrida

Longitud Actual recorrida por el PIG

Caballos de Fuerza

Caudal

Caudal Necesario

Caudal Promedio

Radio

Lectura actual en medidor de flujo

Lectura anterior en medidor de flujo

Tiempo

Tiempo de toma de lectura

Desplazamiento de toneladas de la embarcación

Volumen

Volumen acumulado en la línea

Volumen acumulado anterior

Velocidad del PIG

Volumen Total interno de Línea

Número

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1

Figura 1.2

Figura 1.3

Figura 1.4

Figura 1.5

Figura 1.6

Figura 1.7

Figura 1.8

Figura 2.1

Figura 2.2

Figura 2.3

Figura 2.4

Figura 3.1

Figura 3.2

Figura 3.3

Figura 3.4

Figura 3.5

Figura 4.1

Figura 4.2

Figura 4.3

Figura 5.1

Arreglo de bombas en paralelo……………………….………….8

Arreglo de bombas en serie…………………………..…………..9

Tamaño relativo de los Buques…………………….….………..14

Sistema de amarre por Multiboyas . 22

Sistema de amarre por Monoboya tipo CALM 25

Sistema de amarre por Monoboya tipo SALM 26

Detalle de un sistema de amarre por Monoboya 28

Mangueras marinas de despacho 31

Curva de costos totales en Valor presente vs. Caudal de

Bombeo……………………………..………………………..……57

Curva de los costos totales en Valor presente vs.

Diámetro de la línea……………………………………………...58

Variación de la velocidad específica con el tipo de bomba….70

Curva general del fabricante: Caudal vs. Altura dinámica

Total……………………………………………………….…….…73

Válvula de compuerta…………………….………………….…..87

Válvula de bola……………………………………………….…..89

Válvula mariposa………………………..………………….…….90

Válvula de retención……………………………………….…….92

Tipos de tanques igualadores de presión: a) Simple, b) De

Orificio, c) De diferencial, d) Cerrado, e) De una vía………….99

Caída de presión para diferentes cotas con tuberías de

diámetro ø1.

Distribución de la línea…………………………………….……134

Alternativas de selección de la bomba búster; a) Bomba

Búster sola, b) Una bomba búster para cada condición de

Bombeo, c) Arreglo de bombas en paralelo……………….…147

Costos Totales vs. Diámetro de la línea en la línea de

Impulsión…………………………………………………..……..195

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1

Tabla 2

Tabla 3

Tabla 4

Tabla 5

Tabla 6

Tabla 7

Tabla 8

Tabla 9

Tabla 10

Tabla 11

Tabla 12

Tabla 13

Tabla 14

Tabla 15

Tabla 16

Tabla 17

Tabla 18

Tabla 19

Tabla 20

Pág.

Tamaños típicos de buques tanque………………………..…13

Bombas utilizadas en un Buque tanque…………………..….17

Comparación entre sistemas de amarre costa afuera…..….29

Relación empírica a presión de bombeo constante, entre:

Costo de tubería instalada vs. Caudal…………….…............51

Relación empírica a potencia aplicada constante, entre:

Aumento del caudal vs. Aumento del diámetro…….………..52

Sensibilidad económica del diámetro de la tubería…..……..53

Forma de la curva de carga del sistema en función de

la característica del flujo en la tubería...................................65

Maniobras en los sistemas de bombeo y características

del golpe de ariete…………….......………………......……….75

Influencia de la longitud de la tubería en la elección de la

fórmula para el cálculo del golpe de ariete……………..……81

Parámetros oceanográficos y geológicos………..………....110

Información de los B/T que ingresan al Terminal mar

Adentro………………………………………………………..112

Condiciones extremas de bombeo de los B/T que ingresan

al Terminal mar adentro……………………………………..113

Presión de bombeo requerida por el aumento de la cota

IGM de la estación de bombeo……………………..………129

Caída de presión para diferentes cotas con tubería de

Diámetro ø1………………………………………...…………131

Identificación de las hojas electrónicas………………..…..174

Información de los buques tanque que ingresará a

descargar al Terminal……………………………………..…177

Longitud de la línea entre: B/T – Estación de bombeo…..178

Longitud equivalente de accesorios utilizados en la línea

de succión...........................................................................180

Condiciones de caudal y caída de presión en equipos, para

Iteración en la Hoja 1………………………………………..182

Resultados de la iteración en la Hoja electrónica 1, para un

Diámetro de tubería de 254.32 (10 in)…………..………183

Tabla 21

Tabla 22

Tabla 23

Tabla 24

Tabla 25

Tabla 26

Tabla 27

Tabla 28

Tabla 29

Tabla 30

Tabla 31

Tabla 32

Tabla 33

Tabla 34

Tabla 35

Resultados de la iteración en la Hoja electrónica 1, para un

Diámetro nominal de tubería de 304.57 (12in)…….……….184

Longitud equivalente de accesorios utilizados en el Tramo 1

de la línea de descarga o impulsión……………..………….187

Información de la longitud de la línea………..………..…….188

Diámetros para iteración en la Hoja 2, correspondientes al

Tramo 2 de la línea de impulsión……………..……….…….189

Longitud equivalente de accesorios utilizados en el Tramo 2

de la línea de descarga o impulsión…………..…………….190

Resultado del cálculo del TDH en la sección 1 de la Hoja 2….......................................................................................191

Diámetros de análisis para la tubería del Tramo 2…...……193

Resultados de la Iteración en la Hoja 2……………………..194

Resultado de la construcción de la curva característica del Sistema para la condición mínima en la sección 1 de la Hoja 3…………………………………………………......................198

Resultado de la construcción de la curva característica del Sistema para la condición máxima en la sección 1 de la Hoja 3…………………..…………....................……………………201

Alternativa 1: Operación de la estación de bombeo con

Una sola bomba………..………………………….…………..206

Alternativa 2: Operación en la estación de bombeo con

una bomba para la condición máxima y una bomba para

la condición mínima…………………………………..….……208

Alternativa 3: Operación en la estación de bombeo con

un Arreglo de 2 bombas en paralelo………….…….….……210

Cálculo de las presiones que soporta la tubería……..…….213

Resultados del cálculo del golpe de ariete en la Hoja 4…..214

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1

Plano 2

Plano 3

Plano 4

Terminal marítimo – Caso de estudio, vista general

Recorrido de la línea de impulsión – Caso de estudio, vista general.

Estación de bombeo búster – Caso de estudio, vista isométrica.

Detalles de la vista isométrica – Caso de estudio, detalles 1, 2 y 3.

**INTRODUCCIÓN**

La presente tesis trata acerca de la selección y la configuración de equipos hidráulicos en una estación de bombeo tipo búster, realizando una metodología para la ejecución de este trabajo, y mostrando una aplicación de los conceptos para analizar y seleccionar los equipos hidráulicos en un ejemplo denominado caso de estudio.

La tesis en su conjunto proporcionará un método para realizar la selección del diámetro de tubería óptimo para la línea de succión, la selección de la bomba búster y el análisis para seleccionar el arreglo de bombas que se debe usar en la estación, la selección del diámetro de tubería más económico para la línea de descarga o impulsión y el análisis del golpe de ariete en la tubería en caso de falla del suministro eléctrico que alimenta a las bombas.

Se realizará también una descripción de la estación de bombeo y los equipos que se utilizan en la industria del petróleo, teniendo en cuenta el uso de equipos que cumplan las normativas proporcionadas por institutos como API se deben revisar antes de elegir al fabricante los mismos, para de esta manera instalar en la industria equipos certificados y reducir los posibles accidentes.

La aplicación de los conceptos y la metodología que se expone en la parte central de la tesis permitirá seleccionar y configurar los equipos de la estación de bombeo búster, de manera que se pueda transportar el fluido desde los B/T impulsados por las bombas de los B/T más la energía adicional que necesita para llegar hasta los tanques en tierra.