

**METODOLOGÍA PARA LA ESPECIFICACIÓN DEL MOTOR
EMPLEADO EN EL SISTEMA DE BOMBEO MECÁNICO DE CRUDO**

EDUARDO JOSÉ DÍAZ MUÑOZ

KAROL FRANCISCO SANABRIA CALDERÓN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS

**ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES**

BUCARAMANGA

2010

**METODOLOGÍA PARA LA ESPECIFICACIÓN DEL MOTOR
EMPLEADO EN EL SISTEMA DE BOMBEO MECÁNICO DE CRUDO**

EDUARDO JOSÉ DÍAZ MUÑOZ

KAROL FRANCISCO SANABRIA CALDERÓN

**Trabajo de Grado en Investigación para optar por el título de Ingeniero
Electricista**

Director DR. HERMANN RAÚL VARGAS TORRES

Doctor Ingeniero Electricista

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS

**ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES**

BUCARAMANGA

2010

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres.

A los amigos que directa o indirectamente contribuyeron.

A la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, en especial al Dr. Hermann R. Vargas, gestor de la investigación.

Al Campo Escuela Colorado, y a la Escuela de Ingeniería de Petróleos.

Índice general

INTRODUCCIÓN	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1. OBJETIVOS	17
1.1.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2. MARCO TEÓRICO	19
2.1. Sistemas de Levantamiento Artificial	19
2.1.1. Sistema de Bombeo Mecánico de Crudo	19
2.1.1.1. Equipo de Subsuelo.	20
2.1.1.2. Equipo de Superficie.	23
2.2. Curvas Dinamométricas	24
2.3. Cálculo tradicional del Motor	25
2.3.1. Método 1	25
2.3.2. Método 2	26
3. METODOLOGÍA PARA LA ESPECIFICACIÓN DEL MOTOR EMPLEADO EN EL SISTEMA DE BOMBEO MECÁNICO DE CRUDO.	27
3.1. Consideraciones Generales.	27
3.1.1. Dinámica del movimiento de la unidad de bombeo.	28
3.1.2. Periodicidad de los ciclos de bombeo.	29
3.1.3. Detalles estructurales.	29

ÍNDICE GENERAL

3.1.4.	Entrada de datos al sistema de la metodología. . . . .	.30
3.1.5.	Bases de datos. . . . .	.30
3.1.6.	Base tecnológica. . . . .	.30
3.2.	Pasos de la metodología. . . . .	.31
3.2.1.	Paso 1: Datos de entrada. . . . .	.31
3.2.2.	Paso 2: Condición de balance de datos. . . . .	.32
3.2.3.	Paso 3: Condición de fuerza y stroke o recorrido de la barra lisa. . . . .	.32
3.2.4.	Paso 4: Condición de ajuste de la estructura. . . . .	.33
3.2.5.	Paso 5: Cálculos de los ángulos. . . . .	.34
3.2.6.	Paso 6: Cálculo de la velocidad y la aceleración angular del balancín y la manivela. . . . .	.36
3.2.7.	Paso 7: Sumatoria de momentos en el balancín. . . . .	.37
3.2.8.	Paso 8: Cálculo del torque en la manivela. . . . .	.38
3.2.9.	Paso 9: Reducción de torque y aumento de velocidad a través del reductor de engranajes. . . . .	.40
3.2.10.	Paso 10: Reducción de torque y aumento de velocidad a través de la polea. . . . .	.40
3.2.11.	Paso 11: Inicio de la simulación. . . . .	.41
3.2.12.	Paso 12: Simulación iterativa y cálculo de la eficiencia. . . . .	.41
3.2.13.	Paso 13: Elección del motor. . . . .	.42
3.2.14.	Paso 14: Instalación del motor. . . . .	.42
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA	43
4.1.	Generalidades . . . . .	.43
4.2.	Ejemplo de uso de la interface . . . . .	.46
4.2.1.	Pestaña ENTRADA DE DATOS. . . . .	.46
4.2.2.	Pestaña ESTUDIOS DINÁMICOS . . . . .	.47
4.2.3.	Pestaña COMPORTAMIENTO DEL MOTOR . . . . .	.47
4.2.4.	Pestaña INSTALACIÓN DEL MOTOR . . . . .	.48

5. PRUEBAS Y RESULTADOS	49
5.1. Cálculo tradicional del Motor	49
5.1.1. Método 1	49
5.1.2. Método 2	50
5.2. Cálculo del motor por medio de la metodología	51
5.2.1. Paso 1: Datos de entrada.	51
5.2.2. Paso 2: Condición de balance de datos.	52
5.2.3. Paso 3: Condición de fuerza y stroke o recorrido de la barra lisa.	52
5.2.4. Paso 4: Condición de ajuste de la estructura.	52
5.2.5. Paso 5: Cálculos de los ángulos.	53
5.2.6. Paso 6: Cálculo de la velocidad y la aceleración angular del balancín y la manivela.	58
5.2.7. Paso 7: Sumatoria de momentos en el balancín.	60
5.2.8. Paso 8: Cálculo del torque en la manivela.	61
5.2.9. Paso 9: Reducción de torque y aumento de velocidad a través del reductor de engranajes.	62
5.2.10. Paso 10: Reducción de torque y aumento de velocidad a través de la polea.	64
5.2.11. Paso 11: Inicio de la simulación.	65
5.2.12. Paso 12: Simulación iterativa y cálculo de la eficiencia.	66
5.2.13. Paso 13: Elección del motor.	67
5.2.14. Paso 14: Instalación del motor.	70
5.3. Análisis	71
6. CONCLUSIONES	72
Bibliografía	75
A. Manual de Usuario	77

Índice de figuras

2.1. Sistema de Bombeo Mecánico de Crudo . . . . .	.20
2.2. Tipos de bombas de subsuelo . . . . .	.21
2.3. Ciclo de bombeo . . . . .	.22
2.4. Equipo de superficie . . . . .	.23
2.5. Curva dinamométrica ideal . . . . .	.24
3.1. Comparación M.A.S vs posición de la barra lisa . . . . .	.28
3.2. Ciclos de bombeo . . . . .	.29
3.3. Movimiento real y aproximado del balancín . . . . .	.30
3.4. Dimensiones de la unidad de bombeo . . . . .	.31
3.5. Fuerza y posición de la barra lisa, de su correspondiente curva dinamométrica . . . . .	.32
3.6. Ángulo y longitudes del balancín . . . . .	.33
3.7. Cálculo de los ángulos . . . . .	.34
3.8. Sumatoria de fuerzas en el balancín . . . . .	.37
3.9. Sumatoria de fuerzas en la manivela . . . . .	.39
4.1. Pestaña de presentación de la interfaz de usuario . . . . .	.43
4.2. Pestaña de entrada de datos de la interfaz de usuario . . . . .	.44
4.3. Pestaña de estudios dinámicos de la interfaz de usuario . . . . .	.44
4.4. Pestaña de comportamiento dinámico de la interfaz de usuario . . . . .	.45
4.5. Pestaña de instalación del motor de la interfaz de usuario . . . . .	.45
4.6. Diagrama conceptual del funcionamiento del software . . . . .	.46

ÍNDICE DE FIGURAS

5.1. Ángulo β entre la horizontal y el balancín . . . . .	.54
5.2. Longitud entre el eje de rotación de la biela y la manivela S . . . . .	.54
5.3. Ángulo c entre S y D . . . . .	.55
5.4. Ángulo r entre S y la biela . . . . .	.55
5.5. Ángulo p entre la manivela y S . . . . .	.56
5.6. Ángulo f entre la vertical y S . . . . .	.56
5.7. Ángulo γ entre la vertical y la biela . . . . .	.57
5.8. Ángulo θ entre la vertical y la manivela . . . . .	.57
5.9. Velocidad angular del balancín ω_{wb} . . . . .	.58
5.10. Aceleración angular del balancín α_{wb} . . . . .	.59
5.11. Velocidad angular de la manivela ω_c . . . . .	.59
5.12. Aceleración angular de la manivela α_C . . . . .	.60
5.13. Ángulo β_2 . . . . .	.61
5.14. Fuerza resultante en el balancín Fp . . . . .	.61
5.15. Torque en la manivela Tc . . . . .	.62
5.16. Velocidad en el reductor de engranajes WGb . . . . .	.63
5.17. Torque en el reductor de engranajes TGb . . . . .	.63
5.18. Velocidad del motor Wm . . . . .	.64
5.19. Torque en el motor Tm . . . . .	.64
5.20. Potencia mecánica del motor . . . . .	.65
5.21. Parámetros del motor . . . . .	.66
5.22. Lista de motores escogidos por el software . . . . .	.67
5.23. Polos recomendados . . . . .	.68
5.24. Velocidad del motor simulado: Wm . . . . .	.68
5.25. Torque electromagnético del motor Te . . . . .	.69
5.26. Potencia eléctrica y mecánica en el motor . . . . .	.69
5.27. Protecciones . . . . .	.70
5.28. Características del conductor . . . . .	.70
5.29. Curva de producción del pozo 75 . . . . .	.71

Índice de cuadros

2.1. Descripción del ciclo de bombeo . . . . .	.22
2.2. Clasificación de las unidades de bombeo . . . . .	.24
5.1. Datos suministrados por el Campo Escuela, para el pozo Colorado 75 .	.50
5.2. Datos de la sarta de varillas . . . . .	.50
5.3. Datos de entrada en la metodología . . . . .	.52
5.4. Datos estructurales originales y ajustados . . . . .	.53
5.5. Resumen resultados . . . . .	.71

RESUMEN

TITULO

METODOLOGÍA PARA LA ESPECIFICACIÓN DEL MOTOR EMPLEADO EN EL SISTEMA DE BOMBEO MECÁNICO DE CRUDO *

AUTORES

EDUARDO JOSÉ DÍAZ MUÑOZ

KAROL FRANCISCO SANABRIA CALDERÓN **

PALABRAS CLAVES

Sistema de Levantamiento Artificial, Bombeo Mecánico, Unidad de Bombeo, Máquina Asíncrona.

DESCRIPCIÓN

Este proyecto desarrolla una metodología a través de una herramienta software para seleccionar el motor en una instalación de bombeo mecánico, y así aumentar la eficiencia del sistema de levantamiento artificial.

La metodología se desarrolla en catorce pasos: datos de entrada, condición de balance de datos, condición de fuerza y stroke o recorrido de la barra lisa, condición de ajuste de la estructura, cálculos de los ángulos, cálculo de la velocidad y la aceleración angular del balancín y la manivela, sumatoria de momentos en el balancín, cálculo del torque en la manivela, reducción de torque y aumento de velocidad a través del reductor de engranajes, reducción de torque y aumento de velocidad a través de la polea, inicio de la simulación, simulación iterativa y cálculo de la eficiencia, elección del motor, instalación del motor.

Los pasos de la metodología se resumen en una herramienta software que se compone de cinco pestañas: la pestaña de presentación, la pestaña de entrada de datos, la pestaña de estudios dinámicos, la pestaña de comportamiento del motor y la pestaña de instalación del motor. La pestaña de presentación, muestra el nombre del proyecto, así como el nombre de los autores y del director del proyecto. La pestaña de entrada de datos, permite el ingreso de los datos ya sea vía bases de datos o manualmente. La pestaña estudios dinámicos, realiza los cálculos referentes al comportamiento dinámico de la unidad de bombeo. La pestaña de comportamiento del motor, permite simular el funcionamiento del motor y escoger el más adecuado. La pestaña de instalación del motor, muestra los elementos de la instalación eléctrica del motor.

*Proyecto de Grado

**Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Hermann Raúl Vargas Torres.

ABSTRACT

TITLE

METHODOLOGY FOR THE MOTOR SPECIFICATION, USED IN THE MECHANICAL PUMPING SYSTEM OF CRUDE *

AUTHORS

EDUARDO JOSÉ DÍAZ MUÑOZ

KAROL FRANCISCO SANABRIA CALDERÓN **

KEYWORDS

Artificial Lift System, Sucker Rod Pumping, Pumping Unit, Asynchronous Machine.

DESCRIPTION

This project develops a methodology through a software tool to select the motor in a mechanical pumping facility, thereby increasing the efficiency of artificial lift system.

The methodology is developed in fourteen steps: data input, data balance, force and stroke condition, setting condition of the structure, calculations of the angles, calculating the angular velocity and acceleration walking beam and crank, sum of moments in the walking beam, calculating the torque on the crank, reduced torque and increased speed through the gear reducer, torque reduction and speed increase through the pulley, beginning of the simulation, iterative simulation and calculation of efficiency, choice of engine, engine installation.

The steps of the methodology are summarized in a software tool that has five tabs: tab filing, data entry tab, the tab for dynamic studies, the performance tab of the engine and the tab for motor installation. The presentation tab, displays the project name, the names of the authors and director of the project. The Data Entry tab allows entry of data either via database or manually. Tab dynamic studies, performs calculations concerning the dynamic behavior of the pumping unit. The engine performance tab simulate engine performance and choose the most appropriate. The engine installation tab shows the elements of the electrical installation of the engine.

*Degree Project

**Industrial University of Santander. Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Electrical Engineering, Electronics and Telecommunications. Director: Hermann Raúl Vargas Torres.

INTRODUCCIÓN

Articular los conocimientos de la ingeniería de petróleos y de la ingeniería eléctrica, en la selección del motor adosado a la unidad de bombeo (machín), genera mejoras en la eficiencia del sistema de bombeo mecánico, y trae beneficios para la industria petrolera y los interesados en el proyecto. Gracias al Campo Escuela de Petróleos de la Universidad Industrial de Santander (UIS), en convenio interadministrativo de colaboración empresarial con fines científicos y tecnológicos firmado con la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL), que tiende un puente a la interdisciplinariedad y abre posibilidades de estudio e investigación en el proceso de extracción, producción e industrialización del crudo. En este trabajo, a partir de datos reales tomados en campo, se calcula la máquina asíncrona que mejor se adapta por velocidad, potencia y eficiencia, al sistema. Los datos contrastados conllevan al desarrollo de una herramienta software que realiza los cálculos, y permite al usuario usar distintas bases de datos, así como una introducción manual de los mismos, y a partir de estos, determina el motor o motores, para lograr que cualquier ingeniero en el campo petrolero pueda hacer una elección adecuada.

En el proyecto se encuentran los referentes teóricos, así como el desarrollo de la investigación para encontrar la metodología de selección del motor, las pruebas y resultados, las conclusiones, y las informaciones complementarias como el manual de uso de la herramienta software.

Capítulo 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con el convenio de aprendizaje del Campo Escuela Colorado por parte de la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL) a la Universidad Industrial de Santander (UIS), se ha abierto una nueva serie de posibilidades de estudio e investigación relacionadas con la industria del petróleo. Dentro de los intereses de investigación, esta la búsqueda de sistemas de extracción más eficientes y económicos. Eficiencia y economía que se puede mejorar en el componente eléctrico, y más específicamente en el motor de inducción de la instalación. El problema actual consiste en que los motores se seleccionan con base en una metodología de diseño, que puede estar sobredimensionando los requerimientos de potencia en algunos casos, dado que se aplica previa a la puesta en funcionamiento de la instalación y usa ecuaciones con factores empíricos desarrollados con base a la experiencia. Así nace este proyecto, en la búsqueda de una metodología, que especifique el motor de inducción más adecuado dentro del sistema de bombeo mecánico, y lo haga con base en datos tomados en campo.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y elaborar una herramienta software para la especificación del motor del sistema de Bombeo mecánico de crudo.

1.1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El cumplimiento del objetivo general del proyecto comprende lo siguiente:

- Revisar la literatura referente a los métodos existentes para la determinación de los motores de inducción empleados en el sistema de Bombeo mecánico de crudo.
- Establecer una metodología para especificar las principales características del motor de inducción a utilizar en el sistema de Bombeo mecánico de crudo.
- Diseñar la instalación eléctrica para el motor a seleccionar, a partir de los bornes del secundario del transformador hasta los bornes del motor de inducción, siguiendo las especificaciones RETIE.
- Implementar una herramienta software empleando Matlab, para determinar el motor de inducción adecuado y especificar los elementos asociados a su instalación eléctrica.

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO

En el desarrollo de la Metodología para la Especificación del Motor empleado en el Sistema de Bombeo Mecánico de Crudo, se tiene en cuenta la fundamentación teórica de los sistemas de levantamiento artificial con énfasis en el Sistema de Bombeo Mecánico, las formas de medición en lo referente a las curvas dinamométrica y el cálculo tradicional del motor, que se muestran a continuación.

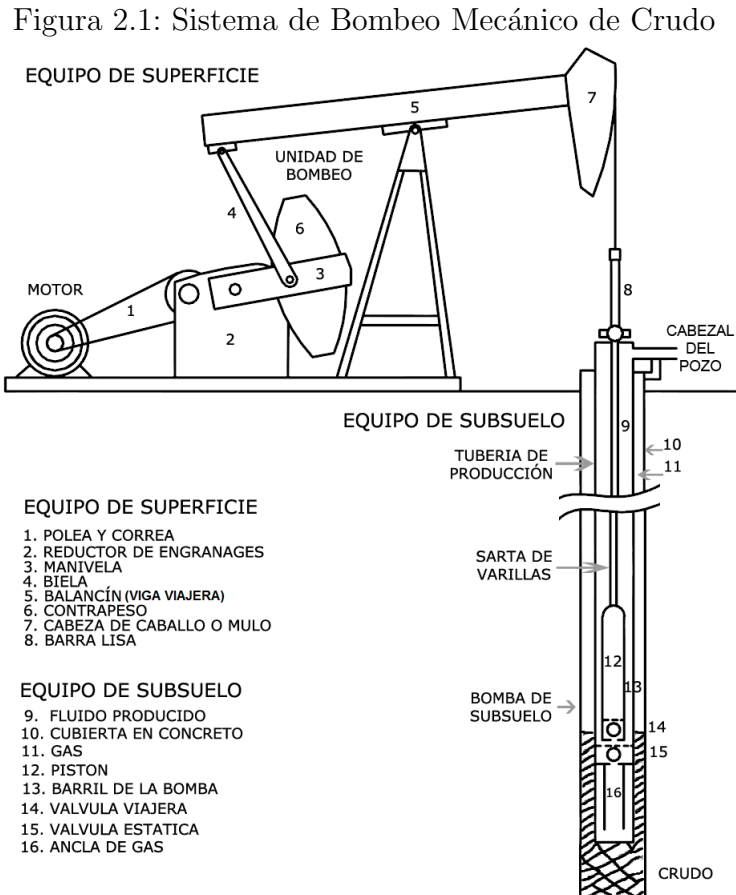
2.1. Sistemas de Levantamiento Artificial

Sistema de levantamiento artificial se le llama a todo sistema, mecánico, hidráulico, eléctrico, u otro, que se use para extraer crudo del subsuelo. Este funciona alterando las propiedades físicas del fluido o usando la acción de una bomba. Entre los métodos que alteran las propiedades físicas del fluido se encuentran: Gas Lift, Chamber Lift, Plunger Lift. Entre los métodos que usan la acción de una bomba están: Bombeo Electrosumergible, Bombeo Hidráulico tipo jet, tipo pistón y tipo turbina, Bombeo por Cavidades Progresivas y Bombeo Mecánico. De los anteriores, el Sistema de Bombeo Mecánico de Crudo es el objeto de nuestro estudio.[27, 10, 17, 23, 19, 1, 26, 6]

2.1.1. Sistema de Bombeo Mecánico de Crudo

Este sistema se divide en dos partes: el equipo de superficie y el equipo de subsuelo. Los elementos más importantes del equipo de subsuelo son: la bomba de subsuelo, la sarta de varillas y la tubería de producción. Los elementos más importantes del equipo

de superficie son: el cabezal del pozo, la unidad de bombeo y el motor. En la figura 2.1, se muestran los elementos mencionados y otros.[26, 27, 10, 17, 23, 19, 1, 6]



Fuente: Autores¹

2.1.1.1. Equipo de Subsuelo.

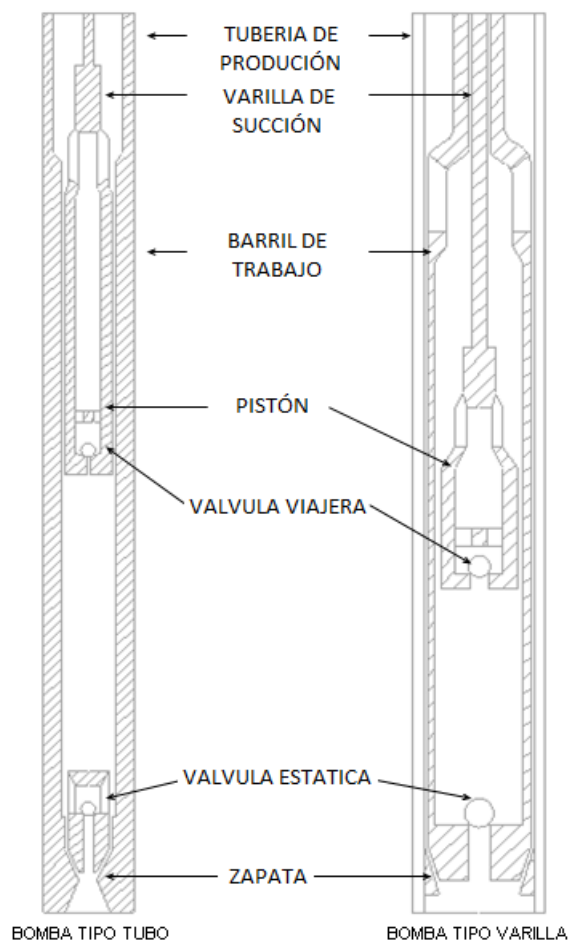
Bomba de subsuelo: La bomba de subsuelo se encuentra en el fondo del pozo (ver Figura 2.1). Su función es succionar y levantar el fluido hacia la superficie. En general hay dos tipos de bombas: las tipo tubo o barril y las tipo varilla. Los elementos esenciales de una bomba son: la varilla de succión, el barril de trabajo, el pistón, la válvula viajera y la válvula estática (ver Figura 2.2). La dinámica de funcionamiento de la bomba es el ciclo de bombeo (ver Cuadro 2.1 y Figura 2.3).[26, 27, 10, 17, 23, 19, 1, 6]

¹Inspirada en [1]

Sarta de varillas: La sarta de varillas son un grupo de varillas de acero o materiales compuestos, y es la unión entre el equipo de superficie y la bomba de subsuelo. Su función es transmitir movimiento del equipo de superficie a la bomba. En su dinámica, las varillas sufren de estiramiento y compresión, lo cual altera el comportamiento dinámico de la bomba.[26, 27, 10, 17, 23, 19, 1, 6]

Tubería de producción: Esta es la que contiene la sarta de varillas y la bomba de subsuelo y se encarga de llevar el fluido a la superficie.[26, 27, 10, 17, 23, 19, 1, 6]

Figura 2.2: Tipos de bombas de subsuelo



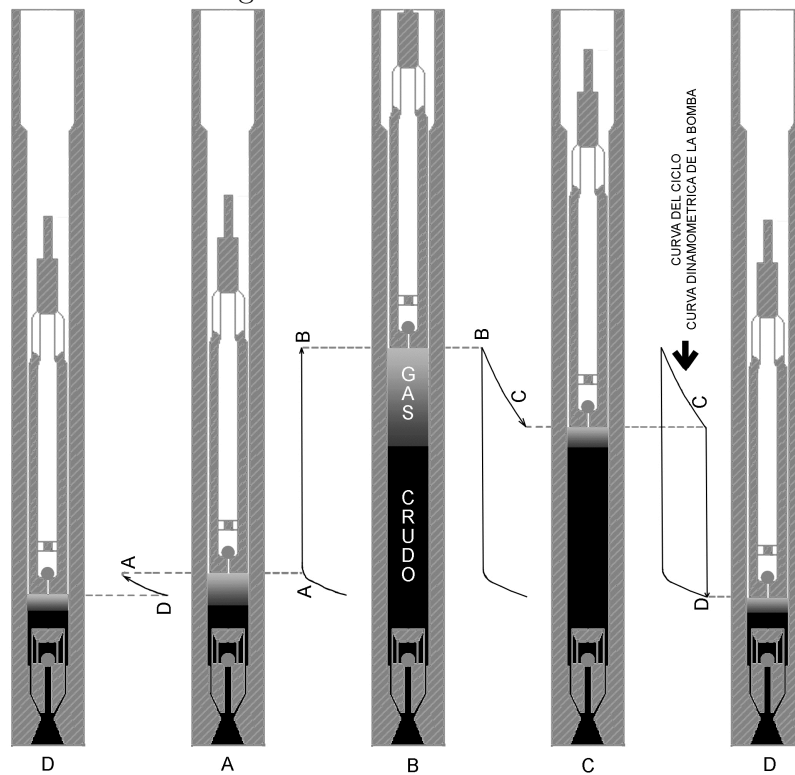
Fuente: Autores²

²Inspirada en [6]

Cuadro 2.1: Descripción del ciclo de bombeo
[12]

POSICIÓN DEL PISTÓN		ACCIÓN DE LA VALVULA	FLUIDO EN LA BOMBA
de	a		
D	A	AMBAS VÁLVULAS CERRADAS	EL GAS LIBRE EN EL ESPACIO MUERTO (CLEARANCE) EXPANDE DE LA PRESIÓN ESTÁTICA A LA PRESIÓN DE NIVEL DE FLUIDO A LA BOMBA
A	B	VÁLVULA ESTACIONARIA ABRE EN A, Y CIERRA EN B.	EL FLUIDO ES ARRASTRADO HACIA LA BOMBA
B	C	AMBAS VÁLVULAS CERRADAS	EL GAS LIBRE EN LA BOMBA ES COMPRIMIDO DESDE LA PRESIÓN DEL NIVEL DE FLUIDO A LA PRESIÓN ESTÁTICA EN LA TUBERÍA DE PRODUCCIÓN.
C	D	VALVULA VIAJERA ABRE EN C, Y CIERRA EN D.	EL FLUIDO ES DESPLAZADO A TRAVÉS DE LA VÁLVULA VIAJERA HACIA EL PISTÓN Y LA TUBERÍA DE PRODUCCIÓN.

Figura 2.3: Ciclo de bombeo



Fuente: Autores³

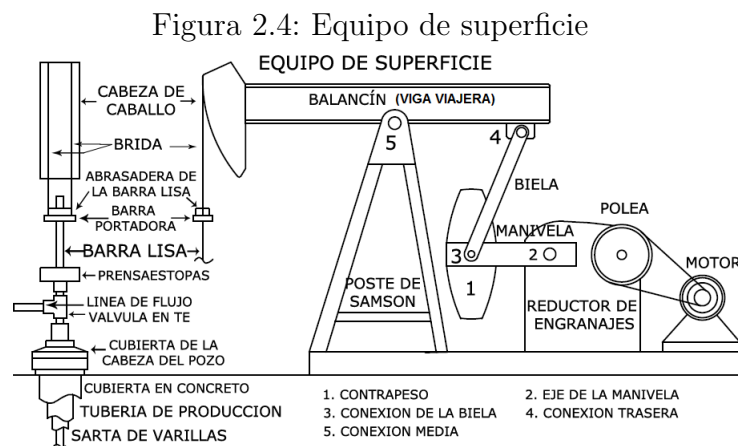
³Inspirada en [12]

2.1.1.2. Equipo de Superficie.

Cabezal del pozo: Este consiste en una serie de válvulas que se usan para direccionar el crudo extraído a los tanques de almacenamiento. Es el punto intermedio entre el equipo de subsuelo y la unidad de bombeo.

Unidad de bombeo: Es un mecanismo que transforma el movimiento rotatorio del motor en un movimiento lineal y oscilatorio. Se encuentra entre el cabezal del pozo y el motor. Sus elementos principales son: la polea y correa, el reductor de engranajes, manivela, contrapesos, biela, viga viajera o balancín, y la cabeza de caballo o mulo (ver Figura 2.4). Se clasifican según el punto de apoyo del balancín y el mecanismo de contrabalance. De acuerdo con esta clasificación, las unidades de bombeo son de tipo convencional, neumáticas o Mark II (ver Cuadro 2.2). Las unidades objeto del estudio son de tipo convencional. Según sus dimensiones, estas se identifican por las normas del American Petroleum Institute, a través de una designación de cuatro dígitos. Ejemplo: la unidad designada como C-57D-109-48 es una unidad convencional C, con un reductor de engranajes de carga máxima 57 Klbs.in y de doble reducción D. Con una carga máxima en el balancín de 10900 libras (109), y un recorrido en la barra lisa de 48 pulgadas.[2, 5, 3, 4].

Motor: Es una máquina asíncrona que transfiere movimiento y torque a la unidad de bombeo. Está conectado mecánicamente a la unidad de bombeo a través de la polea. Se alimenta de un sistema trifásico de corriente alterna a 60 Hz.[11, 9, 7]



Fuente: Autores⁴

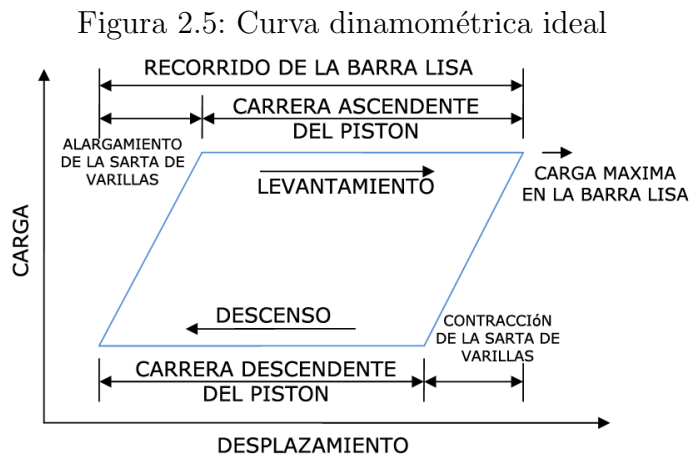
⁴Inspirada en [6]

Cuadro 2.2: Clasificación de las unidades de bombeo

<i>TIPO DE UNIDAD</i>	<i>API</i>	<i>MECANISMO DE CONTRABALANCE</i>	<i>PUNTO DE APOYO</i>
<i>Balanceda por aire</i>	<i>A</i>	<i>Por aire</i>	<i>Extremo trasero del balancín</i>
<i>Balanceda en la viga</i>	<i>B</i>	<i>Por contrapeso</i>	<i>Punto intermedio del balancín</i>
<i>Convencional</i>	<i>C</i>	<i>Por contrapeso</i>	<i>Punto intermedio del balancín</i>
<i>Unitorque Mark II</i>	<i>M</i>	<i>Por contrapeso</i>	<i>Extremo trasero del balancín</i>

2.2. Curvas Dinamométricas

Las curvas dinamométricas son la forma de medir la posición y la fuerza en un ciclo de bombeo (ver Figura 2.3). Estas se miden en el subsuelo y en la superficie. Las de subsuelo describen el comportamiento de la bomba, y las de superficie describen el comportamiento de todo el equipo de subsuelo. Debido a lo anterior las curvas dinamométricas de superficie son objeto del estudio y la entrada al sistema. (ver Figura 2.5). [26, 27, 12]. La figura 2.5 es un curva idealizada donde no se consideran aceleraciones, vibración, fricción y las válvulas estática y viajera se mueven instantáneamente.



Fuente: Autores⁵

⁵Inspirada en [12]

2.3. Cálculo tradicional del Motor

2.3.1. Método 1

La potencia del motor se calcula en hp , empleando la ecuación (2.1).[26, 27, 6]

$$H_p = H_b/sfe \quad (2.1)$$

Donde:

H_b es la potencia total de la barra lisa en hp .

sfe es el factor de seguridad por calentamiento del motor. Empíricamente se utiliza un factor de 0,75.

La ecuación (2.2) define la potencia H_b .

$$H_b = sf * (H_h + H_f) \quad (2.2)$$

Donde:

sf es el factor de seguridad por pérdidas de potencia en el equipo de superficie. Empíricamente se usa un factor de 1,5.

H_h es la potencia hidráulica en hp , la cual representa un gasto útil de energía.

H_f es la pérdida de potencia por fricción entre la bomba de subsuelo y la barra lisa en hp .

La ecuación (2.3) define la potencia H_h .

$$H_h = \frac{q[\frac{bbl}{day}] * 350[\frac{lb}{bbl}] * G * L[ft]}{1440[\frac{min}{day}] * 33000[ft * \frac{lb}{hp}]} = 7,36 * 10^{-6} * q * G * L \quad (2.3)$$

Donde:

q es el número de barriles por día de un fluido con gravedad específica G .

L es la profundidad en pies de la bomba.

Los números 1440, 350 y 33000 son factores de corrección de unidades.

La ecuación (2.3) asume que la bomba estará al nivel del fluido de trabajo, y se desprecia el efecto de la presión del tubo.

La ecuación (2.4) define la potencia H_f .

$$H_f = \frac{0,25 * W_r * S * N \left[\frac{in-lb}{min} \right]}{12 \left[\frac{in}{ft} \right] * 33000 \left[ft * \frac{lb/min}{hp} \right]} = 6,31 * 10^{-7} * W_r * S * N \quad (2.4)$$

Donde:

$0,25 * W_r * S$ son las pérdidas de energía por fricción por golpe.

W_r es el peso de la sarta de varillas.

S el recorrido de la barra lisa.

N es la velocidad de bombeo en ciclos por minuto.

Los números 12 y 33000 son factores de corrección de unidades.

* Ver ejemplo en la sección 5.1.1.

2.3.2. Método 2

Este cálculo es más sencillo y se basa en la producción de barriles por día y en el deslizamiento del motor.[19]

La ecuación (2.5) es para motores de alto deslizamiento [9, 7, 21, 22, 8, 11].

$$H_p = \frac{(BPD * h)}{56000} * sf \quad (2.5)$$

La ecuación (2.6) es para motores de deslizamiento normal [9, 7, 21, 22, 8, 11].

$$H_p = \frac{(BPD * h)}{45000} * sf \quad (2.6)$$

Donde:

BPD es barriles por día a un 100% de eficiencia de la bomba de subsuelo.

h es la profundidad de la bomba de subsuelo en pies.

sf es el factor de seguridad, en el Campo Escuela Colorado se utiliza 1.1.

56000 y 45000 son factores empíricos. La ecuación (2.6), es usada en el Campo Escuela Colorado.

* Para efectos prácticos $BDP = q$ y $h = L$.

* Ver ejemplo en la sección 5.1.2.

Capítulo 3

METODOLOGÍA PARA LA ESPECIFICACIÓN DEL MOTOR EMPLEADO EN EL SISTEMA DE BOMBEO MECÁNICO DE CRUDO.

En este capítulo se contrastan los estándares teóricos, el comportamiento del motor y el análisis dinámico del sistema, se deduce la metodología para seleccionar el motor adecuado para un sistema de bombeo mecánico, que se desarrolla a partir de las siguientes consideraciones generales.

3.1. Consideraciones Generales.

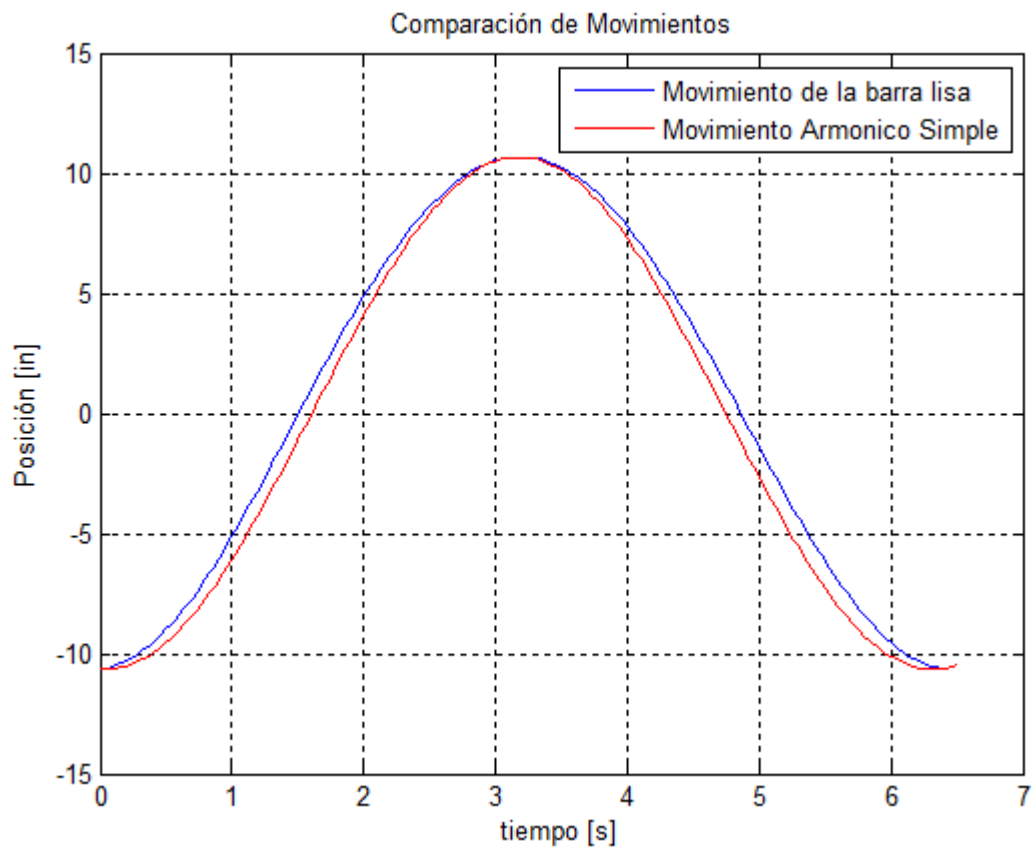
- Dinámica del movimiento de la unidad de bombeo.
- Periodicidad de los ciclos de bombeo.
- Detalles estructurales.
- Entrada de datos al sistema de bombeo mecánico.
- Bases de datos.

- Base tecnológica.

3.1.1. Dinámica del movimiento de la unidad de bombeo.

La barra lisa en la unidad de bombeo (ver Figura 2.4), describe un movimiento oscilatorio, pero no es un movimiento armónico simple (M.A.S). En la figura 3.1, se comparan estos dos movimientos, sin que exista coincidencia. Sin embargo, en el análisis matemático usualmente usado en ingeniería de petróleos, se asume que el movimiento de la barra lisa es un movimiento armónico simple.[26, 27, 10, 6]. Como consecuencia de esta asunción, la velocidad angular en la manivela es constante. En esta metodología, se toma el movimiento real de la barra lisa, lo que resulta, en una velocidad angular variable.

Figura 3.1: Comparación M.A.S vs posición de la barra lisa

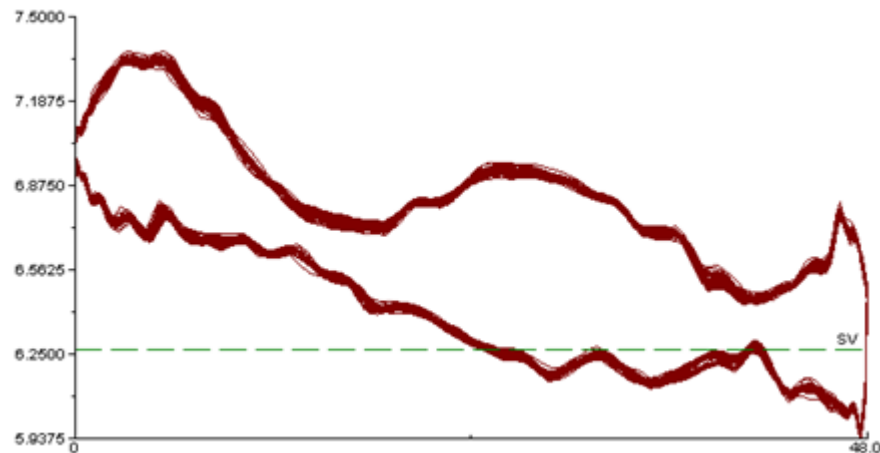


Fuente: Autores

3.1.2. Periodicidad de los ciclos de bombeo.

Cada ciclo de bombeo durante el funcionamiento de la unidad es diferente al anterior, debido a cambios ligeros en las condiciones de carga y desplazamiento en el equipo de subsuelo que se ve reflejado en la barra lisa. Lo cual no es un comportamiento periódico. (ver Figura 3.2).

Figura 3.2: Ciclos de bombeo



Fuente: Echometer TWM⁶

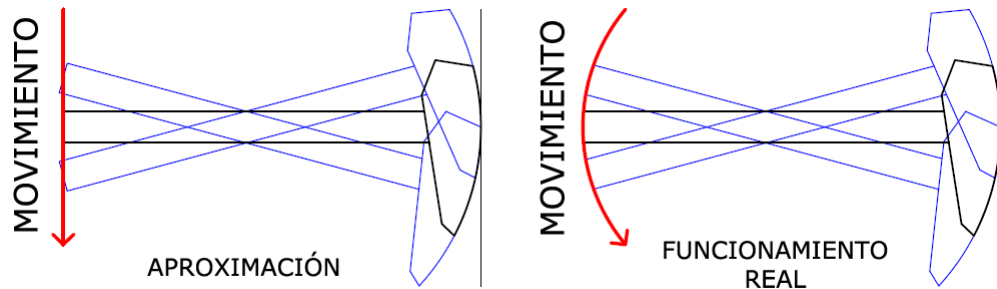
3.1.3. Detalles estructurales.

En el diseño de una unidad de bombeo se asume que el movimiento del extremo del balancín es vertical, sin embargo, este produce un arco, el cual se considera en las ecuaciones de la metodología. (ver Figura 3.3).[26, 27, 10, 3, 4, 6]

Dentro del diseño, se toma en cuenta el ancho del balancín hw y la distancia del eje de rotación al centro de gravedad del mismo. En el cálculo tradicional no se toma en cuenta. (ver Figura 3.4).[26, 27, 10, 6]

⁶Curvas dinámicas de los datos del pozo tomados en campo, tomado del software Echometer TWM

Figura 3.3: Movimiento real y aproximado del balancín



Fuente: Autores

3.1.4. Entrada de datos al sistema de la metodología.

La curva dinamométrica de superficie es objeto del estudio, es la entrada al sistema de bombeo mecánico de crudo, son los datos de entrada en la metodología y los datos de entrada en la herramienta software. La selección de la curva dinamométrica de superficie se da porque refleja el comportamiento del pozo y del equipo de subsuelo, además, es más fácil hacer la medición en campo. (ver Figura 3.5)

3.1.5. Bases de datos.

La información usada en la metodología, está dispuesta en bases de datos en forma de documentos de texto (.txt). Las bases de datos de referencia son: las aportadas por el Campo Escuela Colorado, los estándares de la Lufkin Oilfield Products Group [19], los datos de vigas de acero estándar de la TRIPLE-S STEEL SUPPLY [24] y los datos de motores de Simulink de Matlab [20] y del libro Power Semiconductors Drives, Dewan S.B.[25]

3.1.6. Base tecnológica.

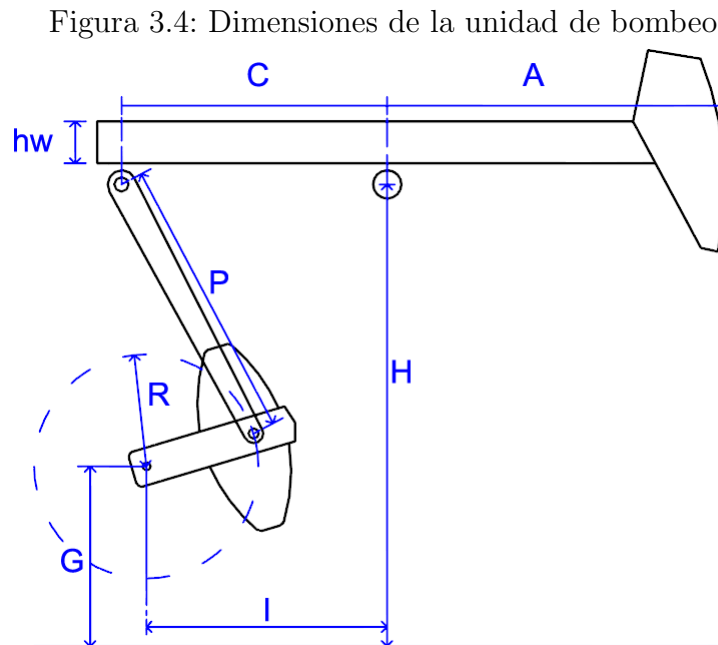
El software desarrollado en la metodología, debe ser ejecutado en una versión de Matlab igual o superior a Matlab R2009b. Versiones anteriores pueden causar errores.

3.2. Pasos de la metodología.

Ahora que se han establecido las consideraciones generales, se puede presentar la metodología. Esta, se compone de 14 pasos.

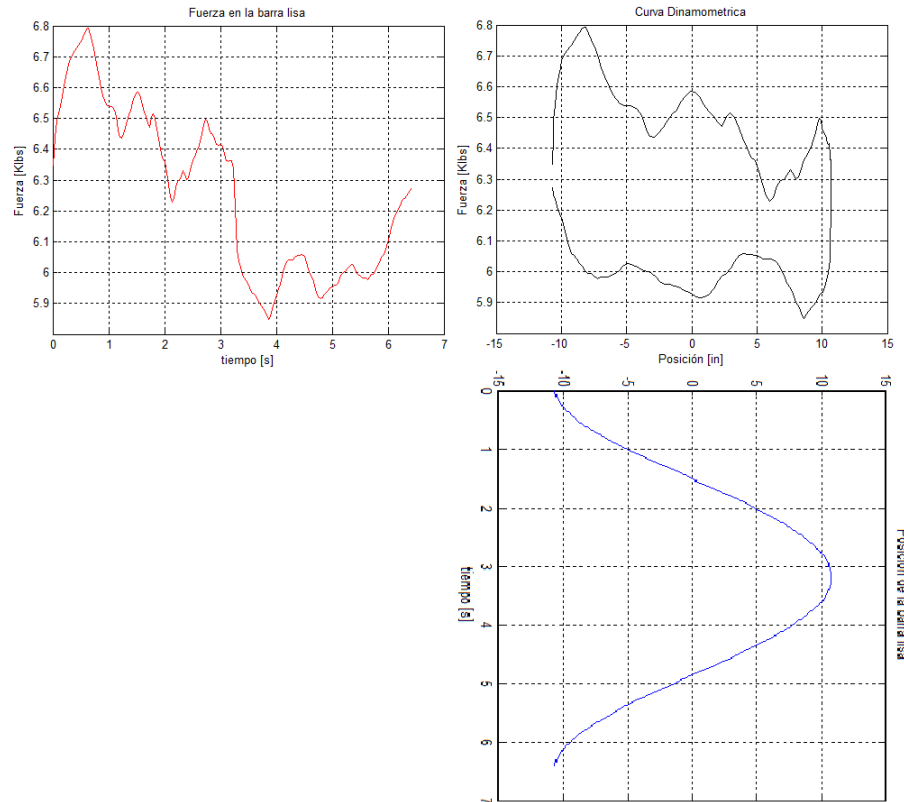
3.2.1. Paso 1: Datos de entrada.

El primer paso, consiste en ingresar los datos de entrada en la interfaz del software. Los datos de entrada son: curva dinamométrica de superficie (fuerza F y posición de la barra lisa x) (ver Figura 3.5), dimensiones de la unidad de bombeo en pulgadas (A , C , I , P , H , G , R , hw) (ver Figura 3.4), desbalance estructural en libras SU , carga de la barra lisa en kilo libras PCR , longitud del stroke o recorrido de la barra lisa en pulgadas SL , peso del contrapeso en kilo libras PC , masa en KLbs MW e inercia del balancín en KLbs.in^2 Iwb , razón de transformación del reductor de engranajes rg , y radio de la polea en pulgadas rp . Ver ejemplo en la sección 5.2.1.



Fuente: Autores

Figura 3.5: Fuerza y posición de la barra lisa, de su correspondiente curva dinamométrica



Fuente: Autores

3.2.2. Paso 2: Condición de balance de datos.

Como el movimiento de la barra lisa no es periódico (ver figura 3.2), estos se analizan y se ajustan a través de un proceso iterativo. Este proceso se realiza dentro del software.

3.2.3. Paso 3: Condición de fuerza y stroke o recorrido de la barra lisa.

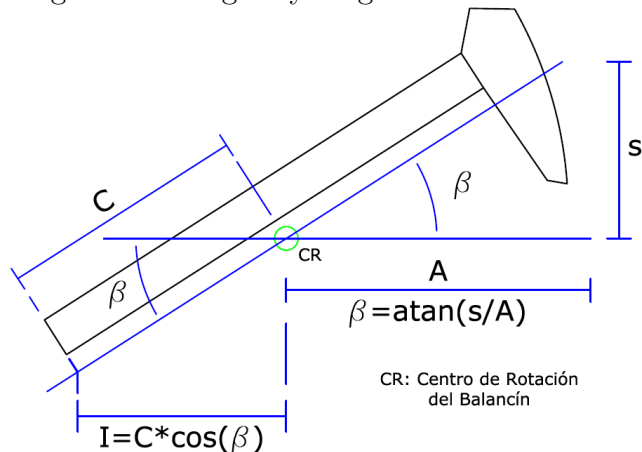
La fuerza máxima en la barra lisa y el stroke o recorrido máximo de la barra lisa, son limitantes en la selección de la unidad de bombeo, ya que la fuerza máxima en la barra lisa determina la fuerza máxima que puede soportar la estructura; y el stroke máximo de la barra lisa, determina el máximo desplazamiento de la estructura. Así que el software, escoge las unidades que están por encima de estas condiciones y continua con el cálculo. Ver ejemplo en la sección 5.2.3.

3.2.4. Paso 4: Condición de ajuste de la estructura.

En un sistema, normalmente se ingresan datos de entrada y se obtienen datos de salida. En esta metodología, se toman los datos de salida y se encuentra la entrada. En el medio de este proceso se encuentra la Unidad de Bombeo, la cual, debe tener unas dimensiones que concuerden con estos datos de salida para recrear de manera correcta la entrada. Sin embargo, los datos de las dimensiones de la Unidad son correctos mas no iguales a las que se encuentran en la máquina real, debido a las pequeñas variaciones que se dan en el momento de la construcción y de su uso diario. Es por esto que es necesario ajustar los datos estructurales de la Unidad a los datos de salida. Este arreglo estructural se realiza encontrando los valores I , R y P (ver figura 3.4). Ver ejemplo en la sección 5.2.4.

Cálculo de I : En la figura 3.6, s es la mitad de la longitud del stroke o recorrido de la barra lisa. Con las distancias A y C propias de cada Unidad, se calcula la distancia I . Esta distancia I calculada, no siempre coincide con la distancia I dada en los datos de la unidad de bombeo (ver Figura 3.4), debido al tamaño del recorrido de la barra lisa en la curva dinamométrica. En consecuencia, la geometría de la unidad no coincide, y la manivela no gira apropiadamente. Por lo tanto, en un proceso iterativo se ajustan las dimensiones de la unidad para que coincidan con los datos de entrada. En el caso del radio de la manivela R (ver Figura 3.4), también se acomoda a los datos de entrada, por las mismas razones.

Figura 3.6: Ángulo y longitudes del balancín

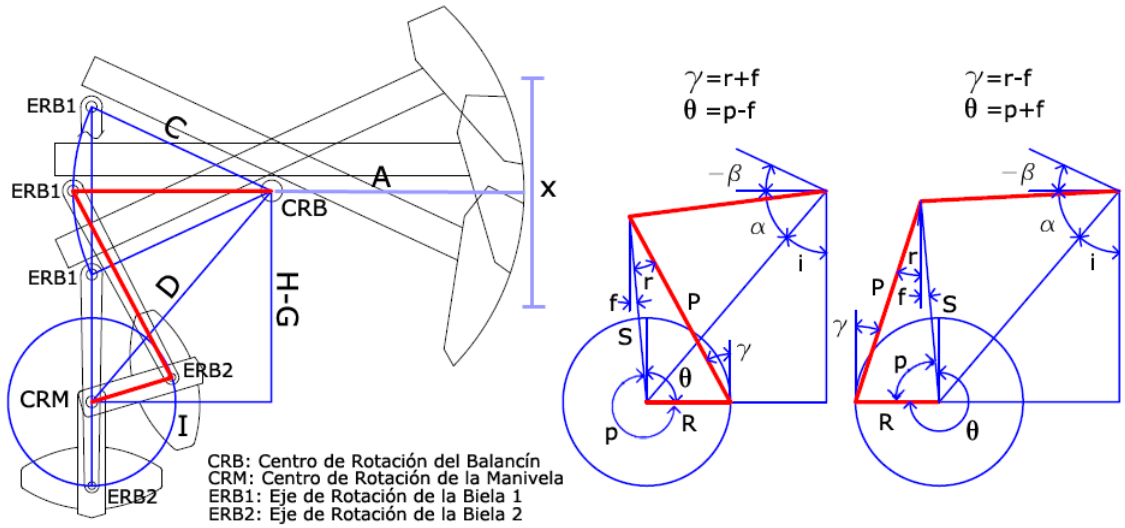


Fuente: Autores

3.2.5. Paso 5: Cálculos de los ángulos.

Ajustada la geometría, el software calcula los ángulos de la Unidad de Bombeo. Estos cálculos dan como resultado el ángulo θ de la manivela y el ángulo γ entre la biela y la manivela. (ver Figura 3.7). Con estos ángulos, se hallan la velocidad, la aceleración y el torque en la manivela. Ver ejemplo en la sección 5.2.5.

Figura 3.7: Cálculo de los ángulos



Fuente: Autores

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{x}{A} \right) \quad (3.1)$$

$$i = \sin^{-1} \left(\frac{I}{D} \right) \quad (3.2)$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{I}{D} \right) \quad (3.3)$$

$$S = \sqrt{C^2 + D^2 - 2 * C * D * \cos(\alpha - \beta)} \quad (3.4)$$

$$c = \cos^{-1} \left(\frac{S^2 + D^2 - C^2}{2 * S * D} \right) \quad (3.5)$$

$$r = \cos^{-1} \left(\frac{S^2 + P^2 - R^2}{2 * S * P} \right) \quad (3.6)$$

$$p = \cos^{-1} \left(\frac{S^2 + R^2 - P^2}{2 * S * R} \right) \quad (3.7)$$

$$f = c - i \quad (3.8)$$

$$\theta = p - f \quad (3.9)$$

para $0 \leq \theta \leq \pi$

$$\theta = p + f \quad (3.10)$$

para $\pi < \theta \leq 2\pi$

$$\gamma = f + r \quad (3.11)$$

para $0 \leq \theta \leq \pi$

$$\gamma = f - r \quad (3.12)$$

para $\pi < \theta \leq 2\pi$

Donde:

x es la posición de la barra lisa en el tiempo en *in*.

β es el ángulo entre el balancín y la horizontal en *rad*.

A es la primera mitad del balancín en *in*.

C es la segunda mitad del balancín en *in*.

D es la distancia entre los ejes de rotación del balancín y la manivela en *in*.

I es la distancia horizontal entre los ejes de rotación del balancín y la manivela en *in*.

H es la distancia vertical entre el suelo y el eje de rotación del balancín en *in*.

G es la distancia vertical entre el suelo y el eje de rotación de la manivela en *in*.

i es el ángulo entre la vertical y D en *rad*.

α es el ángulo entre la horizontal y D en *rad*.

S es la distancia entre el extremo superior de la biela y el eje de rotación de la manivela en *in*.

P es la longitud de la biela. R es el radio de la manivela en *in*.

c el ángulo entre S y D en *rad*.

r el ángulo entre S y P en *rad*.

p el ángulo entre S y R en *rad*.

f el ángulo entre S y la vertical en *rad*.

θ el ángulo de la manivela en *rad*.

γ el ángulo entre la vertical y la biela P en *rad*.

3.2.6. Paso 6: Cálculo de la velocidad y la aceleración angular del balancín y la manivela.

Calculados los ángulos, el software calcula la velocidad y aceleración angular del balancín y la manivela. Para el cálculo de la velocidad del balancín y la manivela, se derivan el ángulo β y θ , respectivamente. Para el cálculo de las aceleraciones se hace la segunda derivada de los ángulos β y θ . Ver ejemplo en la sección 5.2.6.

$$\omega_{wb} = \frac{d\beta}{dt} \quad (3.13)$$

$$\alpha_{wb} = \frac{d^2\beta}{dt^2} \quad (3.14)$$

$$\omega_c = \frac{d\theta}{dt} \quad (3.15)$$

$$\alpha_c = \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (3.16)$$

Donde:

β es el ángulo entre el balancín y la horizontal en *rad*.

θ el ángulo de la manivela en *rad*.

ω_{wb} es la velocidad del balancín en *rad/s*.

α_{wb} es la aceleración del balancín en *rad/s²*.

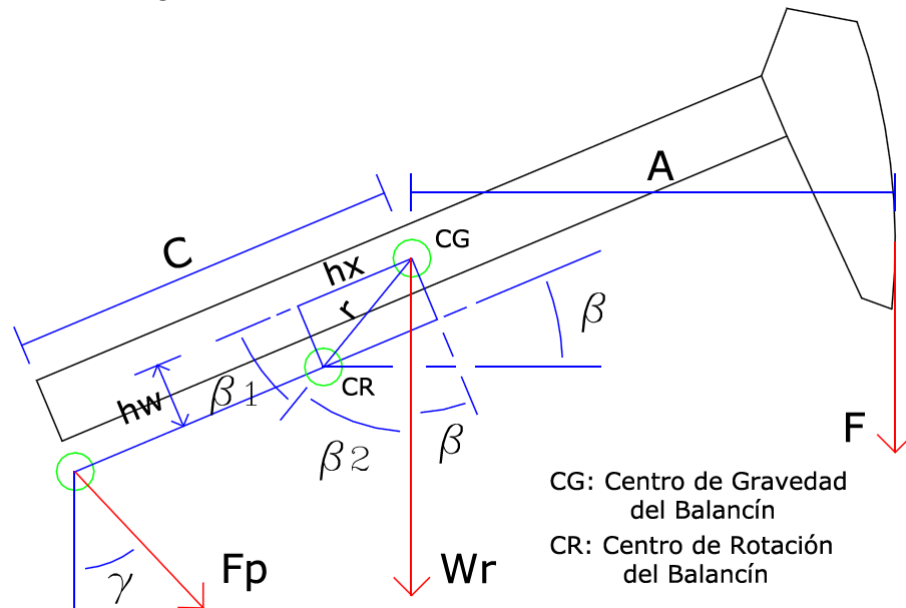
ω_c es la velocidad de la manivela en *rad/s*.

α_c es la aceleración de la manivela en *rad/s²*.

3.2.7. Paso 7: Sumatoria de momentos en el balancín.

Con este paso se inicia a referir o trasladar la fuerza y posición de la barra lisa al eje del motor. Haciendo sumatoria de momentos alrededor del eje de rotación del balancín igual a la inercia por la aceleración angular, se tiene: (ver Figura 3.8). Ver ejemplo en la sección 5.2.7.

Figura 3.8: Sumatoria de fuerzas en el balancín



Fuente: Autores

$$hx = \frac{C + A}{2} - C \quad (3.17)$$

$$r = \sqrt{hw^2 + hx^2} \quad (3.18)$$

$$\beta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{hw}{hx} \right) \quad (3.19)$$

$$\beta_2 = \pi - \beta - \beta_1 \quad (3.20)$$

$$-F * A + Fp * C * \cos(\gamma) * \cos(-\beta) + Fp * C * \sin(\gamma) * \sin(-\beta) - W_r * \sin(\beta_2) = (I_{wb} + m * r^2) * \alpha_{wb} \quad (3.21)$$

$$Fp = \frac{F * A + W_r * \sin(\beta_2) + (I_{wb} + m * r^2) * \alpha_{wb}}{C * \cos(\gamma) * \cos(-\beta) + C * \sin(\gamma) * \sin(-\beta)} \quad (3.22)$$

Donde

hx es la distancia horizontal entre el centro de gravedad y el centro de rotación del balancín en *in*.

A es la primera mitad del balancín en *in*.

C es la segunda mitad del balancín en *in*.

r es la distancia del centro de rotación al centro de gravedad del balancín en *in*.

hw es el ancho del balancín en *in*.

β es el ángulo entre el balancín y la horizontal en *rad*.

γ el ángulo entre la vertical y la biela P en *rad*.

F es la fuerza en la barra lisa en el tiempo en *Klbs*.

Fp es la fuerza resultante al extremo del balancín en *Klbs*.

W_r es el peso del balancín en *Klbs*.

I_{wb} es la Inercia del balancín en *Klbs * in²*.

m es la masa del balancín en *Klbs*.

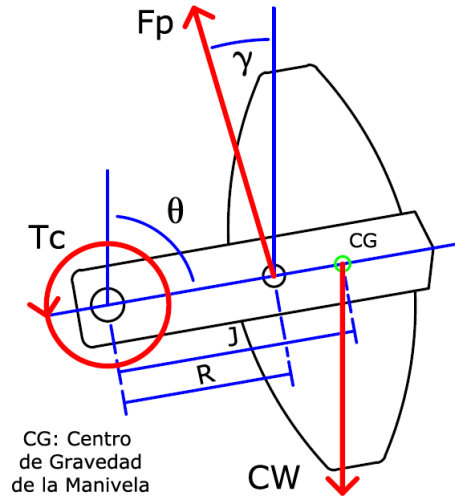
α_{wb} es la aceleración del balancín en *rad/s²*.

3.2.8. Paso 8: Cálculo del torque en la manivela.

En este paso, el software calcula el torque en la manivela Tc . Se logra, al referir o trasladar Fp al eje de la manivela, transformando el movimiento lineal en un movimiento rotativo de manera definitiva. Haciendo sumatoria de momentos en la manivela igual a

aceleración angular por inercia de la manivela, y despejando, se tiene. (ver Figura 3.9). Ver ejemplo en la sección 5.2.8.

Figura 3.9: Sumatoria de fuerzas en la manivela



Fuente: Autores

$$T_c = -R * F_p * (\cos(\gamma) * \sin(\theta) + \sin(\gamma) * \cos(\theta)) + CW * J * \sin(\theta) - I_c * \alpha_C \quad (3.23)$$

Donde:

T_c es el torque en la manivela en $Klbs * in/s^2$

I_c es la inercia de la manivela en $Klbs * in^2$.

CW es la fuerza que ejerce el contrapeso de la manivela en $Klbs$.

R es el radio de la manivela en in .

J es la distancia del eje de rotación al centro de gravedad de la manivela en in .

α_C es la aceleración en la manivela en rad/s^2 .

θ el ángulo de la manivela en rad .

γ el ángulo entre la vertical y la biela P en rad .

3.2.9. Paso 9: Reducción de torque y aumento de velocidad a través del reductor de engranajes.

En este paso se refiere o traslada el torque de la manivela T_c y la velocidad de la manivela ω_c al eje del reductor de engranajes. Se aplica la razón de transformación del reductor de engranajes rg al torque y a la velocidad en la manivela, obteniendo como resultado, el torque y velocidad a la salida del reductor de engranajes. Ver ejemplo en la sección 5.2.9.

$$TGb = \frac{T_c}{rg} \quad (3.24)$$

$$WGb = rg * \omega_c \quad (3.25)$$

Donde:

TGb es el torque del reductor de engranajes en $Klbs * in/s^2$.

T_c es el torque de la manivela en $Klbs * in/s^2$.

rg es la razón de transformación del reductor de engranajes.

WGb es la velocidad del reductor de engranajes en rad/s .

ω_c es la velocidad de la manivela en rad/s .

3.2.10. Paso 10: Reducción de torque y aumento de velocidad a través de la polea.

En este paso se refiere o traslada el torque y la velocidad del reductor de engranajes (TGb y WGb) al eje del motor. Se aplica la razón de transformación de la polea rp al torque y velocidad en el reductor de engranajes, obteniendo el torque y velocidad en el eje del motor. En este paso también se calcula la potencia mecánica en el eje del motor como el producto del torque por la velocidad angular. Ver ejemplo en la sección 5.2.10.

$$Tm = \frac{TGb}{rp} \quad (3.26)$$

$$Wm = rp * WGb \quad (3.27)$$

$$Pm = Tm * Wm \quad (3.28)$$

Donde:

Tm es el torque en el motor en $Klbs * in/s^2$.

Wm es la velocidad en el motor en rad/s .

rp la razón de transformación del reductor de engranajes.

3.2.11. Paso 11: Inicio de la simulación.

Una vez calculado el torque en el eje del motor Tm , el software ingresa datos en la simulación para calcular la eficiencia y escoger el motor que más se adecue a la instalación. Primero, se ingresa la base de datos de los motores en la opción: "DATOS MOTORES" (ver Figura 4.4). Segundo, se crea el vector de torque, compuesto de varios ciclos, donde el primer ciclo esta multiplicado por dos para simular el arranque mecánico. Tercero, se establecen los parámetros de simulación del motor, que corresponden a los parámetros ingresados en las bases de datos de motores. Cuarto, se establece el radio de la polea adosada al eje del motor. Quinto, se configuran los parámetros de la fuente de alimentación, según los datos en las bases de datos. Sexto, se inicia la simulación. Ver ejemplo en la sección 5.2.11.

$$rpi = \frac{Wm}{ws} \quad (3.29)$$

Donde:

rpi es el radio de la polea adosada al eje del motor en in .

ws es la velocidad de sincronismo en rad/s .

Wm es la velocidad del motor en rad/s .

3.2.12. Paso 12: Simulación iterativa y cálculo de la eficiencia.

Establecidos los parámetros de simulación, el software la ejecuta y se repite para cada motor en la base de datos. Como resultado de cada paso se calcula la eficiencia para cada motor. La eficiencia de cada motor se calcula con la ecuación (3.30). Ver ejemplo en la sección 5.2.12.

$$eficiencia = \left(\frac{Pm_{ef}}{Pe_{ef}} \right) * 100 \quad (3.30)$$

Donde:

Pm_{ef} es el valor eficaz de la potencia mecánica en el tiempo de la máquina.

Pe_{ef} es el valor eficaz de la potencia eléctrica en el tiempo de la máquina.

3.2.13. Paso 13: Elección del motor.

Finalizada la simulación, se escoge el motor con la mayor eficiencia que concuerde con la velocidad y potencia de los datos. Sin embargo, también se muestran los motores cuya eficiencia este entre el 90 y 99%, para que se exista la posibilidad de escoger otro motor cuando el motor seleccionado no sea sencillo de encontrar (ver Figura 5.22). Una vez decidido que motor se va a usar, el escogido u otro, este se busca en la opción: "SELECCIONE MOTOR", una vez encontrado, se simula de manera independiente en la opción: "CALCULAR" (ver Figura 4.4). Finalizada esta simulación, se pueden ver las gráficas. Ver ejemplo en la sección 5.2.13.

3.2.14. Paso 14: Instalación del motor.

Con la potencia del motor escogido, se busca la instalación correspondiente de acuerdo con la potencia del motor, en la interface (ver Figura 4.5). Como resultado, se observa el tamaño mínimo del conductor de cobre, las características del interruptor automático termomagnético, el interruptor de seguridad, y el arrancador magnético. Así mismo, las características eléctricas del conductor, y el diametro del tubo en pulgadas. Ver ejemplo en la sección 5.2.14.

Para referencias respecto a las siglas y especificaciones de los elementos de la instalación que se muestran en la interfaz, en la pestaña instalación del motor, ver: [8, 18, 22, 14, 16, 13, 21]

Ya terminados todos los pasos se dispondrá de un motor e instalación idóneos para el pozo.

Capítulo 4

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA

4.1. Generalidades

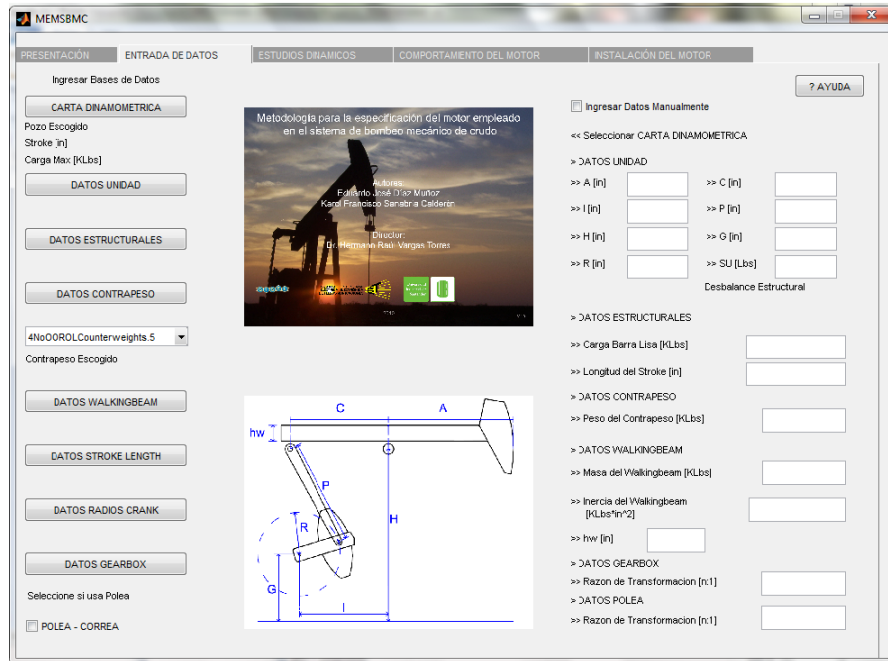
La metodología se ha implementado a través de una herramienta software. En las figuras 4.1 a 4.5, se muestran las pestañas de la interfaz de usuario.(ver Apéndice A).

Figura 4.1: Pestaña de presentación de la interfaz de usuario



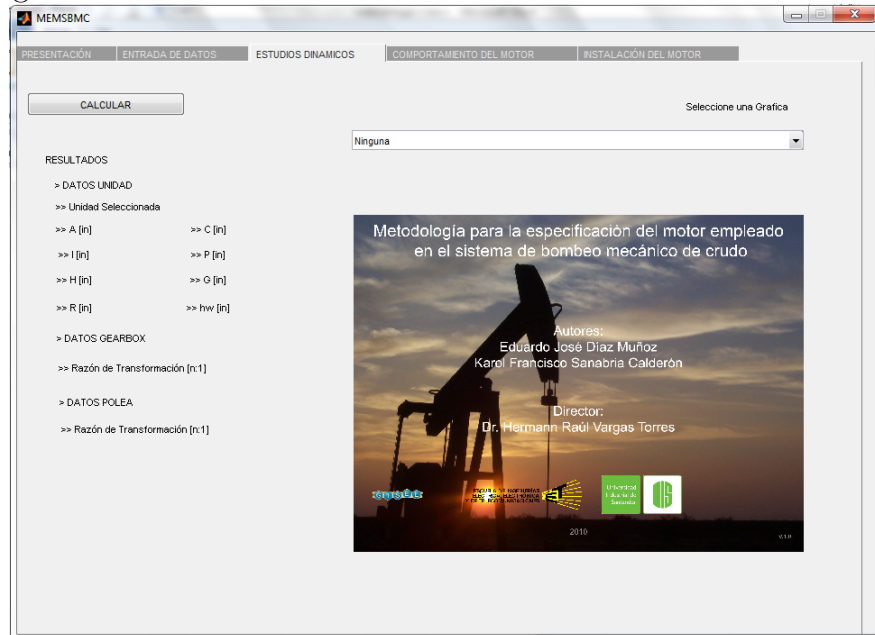
Fuente: Autores

Figura 4.2: Pestaña de entrada de datos de la interfaz de usuario



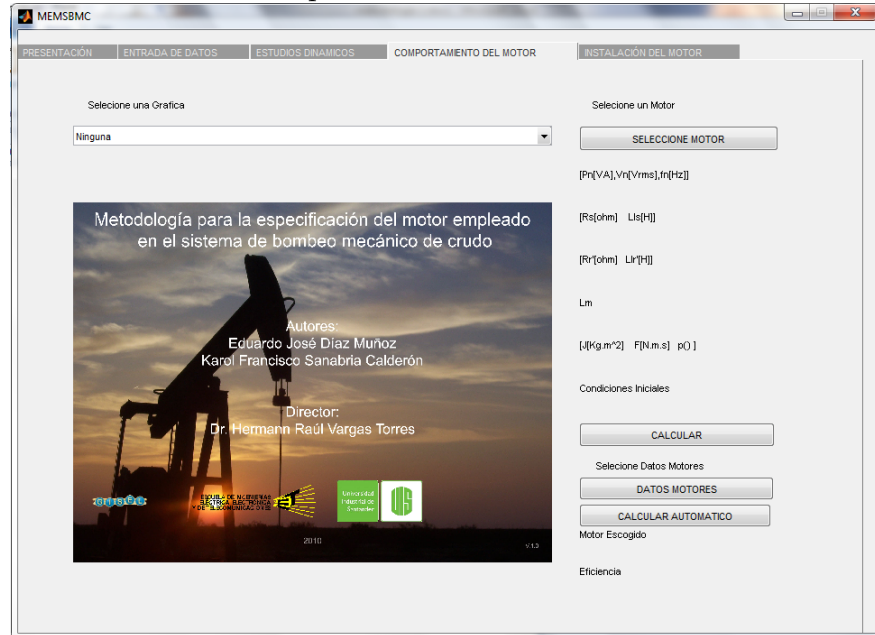
Fuente: Autores

Figura 4.3: Pestaña de estudios dinámicos de la interfaz de usuario



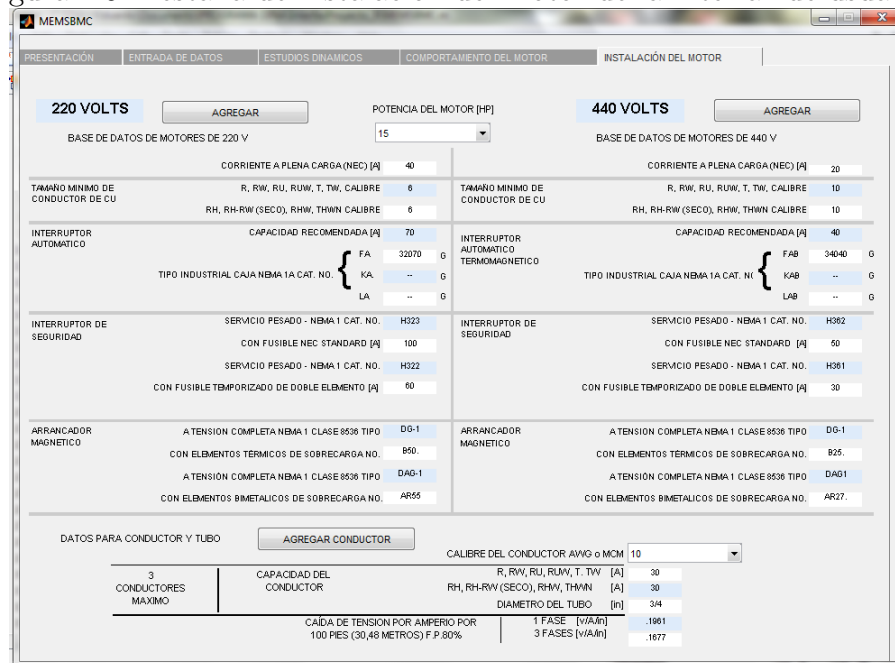
Fuente: Autores

Figura 4.4: Pestaña de comportamiento dinámico de la interfaz de usuario



Fuente: Autores

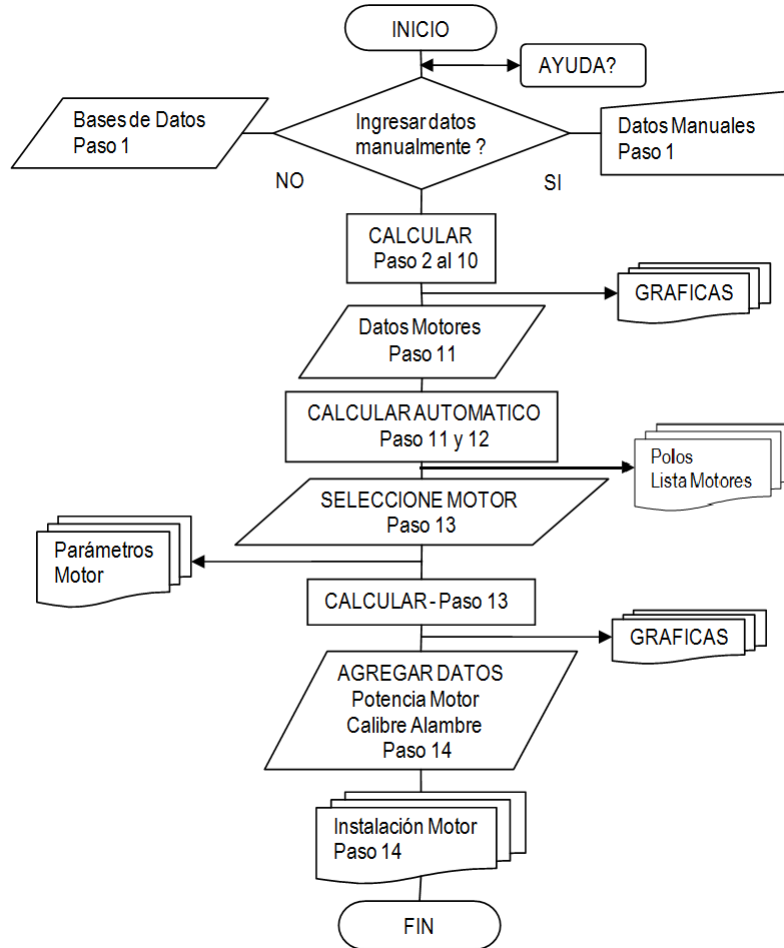
Figura 4.5: Pestaña de instalación del motor de la interfaz de usuario



Fuente: Autores

En la figura 4.6 se muestra el esquema conceptual del funcionamiento del software.

Figura 4.6: Diagrama conceptual del funcionamiento del software



Fuente: Autores

4.2. Ejemplo de uso de la interface

A continuación se presenta la metodología, aplicada a un pozo en particular. Al azar se selecciona el pozo COLORADO 75.

4.2.1. Pestaña ENTRADA DE DATOS.

Por base de datos se ingresan los siguientes archivos: **0075.txt**: Es el archivo .txt de la curva dinamométrica del pozo COLORADO 75, tiempo, posición y fuerza. **Conven-**

tional API Geometry Dimensions.txt: Es un archivo .txt donde se encuentra la base de datos de las unidades de bombeo. **Structural Data.txt:** Es un archivo .txt donde se encuentran los parámetros estructurales de las unidades de bombeo. **Counterbalance Data.txt:** Es un archivo .txt con la base de datos de contrapesos de las unidades de bombeo. 4No5SCROCounterweights es el contrapeso de referencia para el pozo COLORADO 75, seleccionado en el popupmenu: Contrapeso Escogido. **Walking-beam Data.txt:** Es la base de datos de los parámetros físicos del balancín. **Stroke Length.txt:** Es el archivo que contiene las longitudes del stroke o recorrido de la barra lisa. **Radios Data.txt:** Es el archivo que contiene los radios de las manivelas. **GearBox Data1.txt:** Es un archivo .txt que contiene la base de datos de las cajas de cambios. **Polea Data.txt:** Es un archivo que contiene los radios de la polea en el reductor de engranajes.

4.2.2. Pestaña ESTUDIOS DINÁMICOS

Se pulsa el botón CALCULAR para empezar a correr los estudios dinámicos. Al finalizar, aparece un mensaje que dice: análisis completo. Después, se pueden ver las figuras que describen el funcionamiento del sistema de bombeo, los datos de la unidad de bombeo (ver Figura 3.4) y la relación de transformación del reductor de engranajes y la polea.

4.2.3. Pestaña COMPORTAMIENTO DEL MOTOR

Se pulsa el botón DATOS MOTORES cargando el archivo llamado AsynchronousMachineData2.txt, este es un archivo .txt en donde se encuentra la base de datos con los parámetros de los motores, hay otros similares pero se escoge esta porque es la base de datos más extensa. Después de agregar la base de datos se pulsa CALCULAR AUTOMATICO después de pulsar este botón, el programa muestra el nombre del motor escogido, este es el motor 14.15HP_440V_4p con una eficiencia del 97,43%. Una vez se escoge el motor, se pulsa el botón SELECCIONE MOTOR, y se busca el motor escogido. Hecho esto, se pulsa CALCULAR, para correr la simulación de este motor en particular. Terminada la simulación se observan las figuras que describen el comportamiento del motor, contrastando los resultados con la potencia y velocidad del sistema de bombeo mecánico modelo.

El pozo Colorado 75 tiene motor marca Flender-Col de 30 HP y 1175 RPM. Este motor está sobredimensionado ya que el requerimiento de potencia obtenido es de 15 HP.

4.2.4. Pestaña INSTALACIÓN DEL MOTOR

Se pulsa el botón AGREGAR, para las tensiones de 220 y 440 Volts, y el botón AGREGAR CONDUCTOR. Luego se selecciona del POPUPMENU: POTENCIA DEL MOTOR, la potencia del motor escogido. Luego se selecciona POPUPMENU: CALIBRE DEL CONDUCTOR AWG o MCM, el calibre del conductor. En la interfaz se muestran los detalles de la instalación recomendada (ver Figura 4.5).

Capítulo 5

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se presenta un ejemplo del cálculo de la metodología explicada en el capítulo 3 y la sección 2.3. Al final se analizan los resultados.

5.1. Cálculo tradicional del Motor

En esta sección se encuentra el desarrollo de las ecuaciones expuestas en la sección 2.3. Para la correcta aplicación de estas ecuaciones, se emplean los datos aportados por el Campo Escuela Colorado. Estos datos, se refieren a los motores instalados, los datos de producción y características del pozo.

Los motores instalados en los pozos del Campo Escuela Colorado son los siguientes:

Colorado 37 tiene un motor marca Weg de 10 *hp* y 1110 *rpm*.

Colorado 75 tiene un motor marca Flender-Col de 30 *hp* y 1175 *rpm*.

Colorado 38-70 y 12-69 tienen motores marca General Electric, Sargent Econopac II de 1200 *rpm*.

Colorado 36 tiene un motor sin placa, puede oscilar entre 10 y 20 *hp*.

Los datos de producción y características del pozo, se muestran en el cuadro 5.1.

Cuadro 5.1: Datos suministrados por el Campo Escuela, para el pozo Colorado 75

Nombre	Variable	Valor
Barriles por día	q	5
Gravedad API	$GAPI$	36,7
Profundidad del pozo ft	L	4528
Peso de las varillas Lb	W_r	7224
Recorrido de la Barra Lisa in	S	21,33
Ciclos por minuto	N	10,98

W_r se calcula a partir de los datos de la sarta de varillas mostrados en el cuadro 5.2:

Cuadro 5.2: Datos de la sarta de varillas

Tamaño	Numero n	Grado	Densidad Longitudinal m	Longitud l
3/4"	80	D	1,61 lb/ft	30 ft
5/8"	100	D	1,12 lb/ft	30 ft

De los datos anteriores se calcula W_r con la ecuación (5.1):

$$W_r = n * l * m \quad (5.1)$$

Reemplazando:

$$W_r = (80 * 30 * 1,61) + (100 * 30 * 1,12) = 7224 \text{ lb}$$

De la Gravedad API [15] se calcula la gravedad específica GE con la ecuación (5.2):

$$GE = \frac{141,5}{GAPI + 131,5} = 0,841 \quad (5.2)$$

Estos datos se reemplazan en los métodos 1 y 2, en las secciones 5.1.1 y 5.1.2.

5.1.1. Método 1

El método 1, encuentra la potencia hidráulica y las pérdidas por fricción para hallar la potencia del motor. (ver sección 2.3.1).[6]

Siguiendo las ecuaciones de la sección 2.3.1, se obtiene:

Reemplazando en la ecuación (2.3) se obtiene:

$$H_h = \frac{5*350*0,841*4528}{1440*33000} = 0,1402 \text{ hp}$$

Reemplazando en la ecuación (2.4) se obtiene:

$$H_f = \frac{0,25*7224*21,333*10,98}{12*33000} = 1,0683 \text{ hp}$$

Reemplazando en la ecuación (2.2) se obtiene:

$$H_b = 1,5 * (0,1402 + 1,0683) = 1,57 \text{ hp}$$

Reemplazando en la ecuación (2.1) se obtiene:

$$H_p = 1,8127/0,75 = 2,41 \text{ hp}$$

La potencia del motor calculada por el método 1 es de 2,41 hp.

5.1.2. Método 2

El método 2, se basa en la producción de barriles por día y en el deslizamiento del motor.(ver sección 2.3.2).[19]

Se reemplaza en las ecuaciones (2.5) , (2.6) y los datos del cuadro 5.1. Donde $BDP = q$ y $h = L$.

$$H_p = \frac{(BDP*h)*sf}{56000} = \frac{5*4528*1,1}{56000} = 0,444 \text{ hp}$$

$$H_p = \frac{(BDP*h)*sf}{45000} = \frac{5*4528*1,1}{45000} = 0,553 \text{ hp}$$

La potencia para motores de alto deslizamiento es 0,444 hp y para bajo deslizamiento 0,553 hp.⁷

5.2. Cálculo del motor por medio de la metodología

Siguiendo los 14 pasos de la metodología explicada en el capítulo 3, se puede encontrar la potencia del motor.

5.2.1. Paso 1: Datos de entrada.

Se ingresan en el software los datos de entrada presentados en el cuadro 5.3: (ver Figura 3.4). Ver sección 3.2.1.

⁷El concepto de alto y bajo deslizamiento en motores, se puede encontrar en [9][21].

Cuadro 5.3: Datos de entrada en la metodología

Nombre	Variable	Valor
Distancia delantera del balancín <i>in</i>	<i>A</i>	56
Distancia posterior del balancín <i>in</i>	<i>C</i>	48,17
Distancia entre el eje de la manivela y el balancín <i>in</i>	<i>I</i>	48
Longitud de la biela <i>in</i>	<i>P</i>	57,5
Distancia de la base al eje del balancín <i>in</i>	<i>H</i>	106,63
Distancia de la base al eje de la manivela <i>in</i>	<i>G</i>	45,13
Radio de la manivela <i>in</i>	<i>R</i>	18
Desbalance estructural <i>Lbs</i>	<i>SU</i>	150
Carga en la barra lisa <i>KLbs</i>	<i>PCR</i>	8,9
Longitud del stroke o recorrido de la barra lisa <i>in</i>	<i>SL</i>	21,333
Peso del contrapeso <i>KLbs</i>	<i>PC</i>	5,3
Masa del balancín <i>KLbs</i>	<i>MW</i>	0,312510625
Inercia del balancín <i>KLbs * in²</i>	<i>Iwb</i>	298,68707
Razón de transformación del reductor de engranajes	<i>rg</i>	14,66
Radio de la polea <i>in</i>	<i>rp</i>	12,5
Ancho del balancín <i>in</i>	<i>hw</i>	15,86

5.2.2. Paso 2: Condición de balance de datos.

Como el movimiento de la barra lisa no es periódico, estos se analizan y se ajustan a través de un proceso iterativo. Este proceso se realiza dentro del software.

5.2.3. Paso 3: Condición de fuerza y stroke o recorrido de la barra lisa.

El software selecciona la unidad C-57D-89-42 con una fuerza máxima en el balancín de 89000 libras y un recorrido máximo en el balancín de 42 pulgadas. Lo cual está por encima de los valores de La fuerza máxima en la barra lisa (6793,54 libras) y el recorrido máximo de la barra lisa (21,3333 pulgadas) de los datos. Es decir, la unidad seleccionada impone condiciones que no son excedidas por los datos, y por lo tanto es adecuada. Ver sección 3.2.3.

5.2.4. Paso 4: Condición de ajuste de la estructura.

De acuerdo con lo que se menciona en la sección 3.2.4, se tiene:

Cuadro 5.4: Datos estructurales originales y ajustados

Variable	Valor Original <i>in</i>	Valor Ajustado <i>in</i>
<i>A</i>	56	56
<i>C</i>	48,17	48,17
<i>I</i>	48	47,32
<i>P</i>	57,5	61,5
<i>H</i>	106,63	106,63
<i>G</i>	45,13	45,13
<i>R</i>	18	9,0131766
<i>hw</i>	15,86	15,86

Al calcular la distancia *I* con la ecuación mostrada en la figura 3.6, se obtiene:

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{s}{A} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{10,6666}{56} \right) = 0,1882 \text{ rad o } 10,7842^\circ.$$

$$I = C * \cos(\beta) = 48,17 * \cos(0,1882) = 47,31 \text{ in}$$

Al comparar el *I* (47,3 *in*) calculado con el *I* (48 *in*) de la Unidad de Bombeo seleccionada, se encuentra una pequeña diferencia. Debido a esto, el software ejecuta un proceso iterativo para ajustar los datos estructurales de la Unidad a la *I* calculada. Los datos estructurales ajustados de la Unidad, están en el cuadro 5.4.

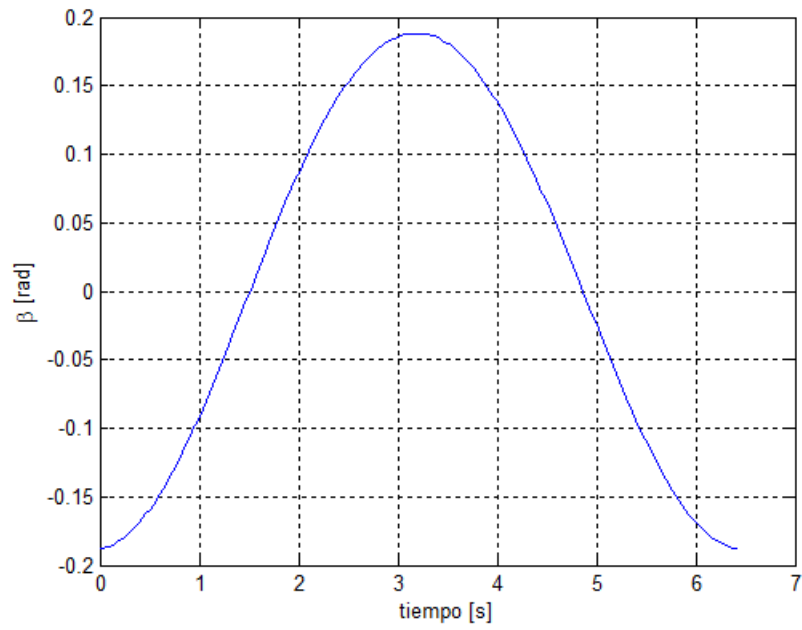
5.2.5. Paso 5: Cálculos de los ángulos.

Con las ecuaciones de la sección 3.2.5, se calculan los resultados mostrados en las figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.8, 5.7, que representan los ángulos que se ven en la figura 3.7.

$$i = 0,6558 \text{ rad o } 37,5753^\circ$$

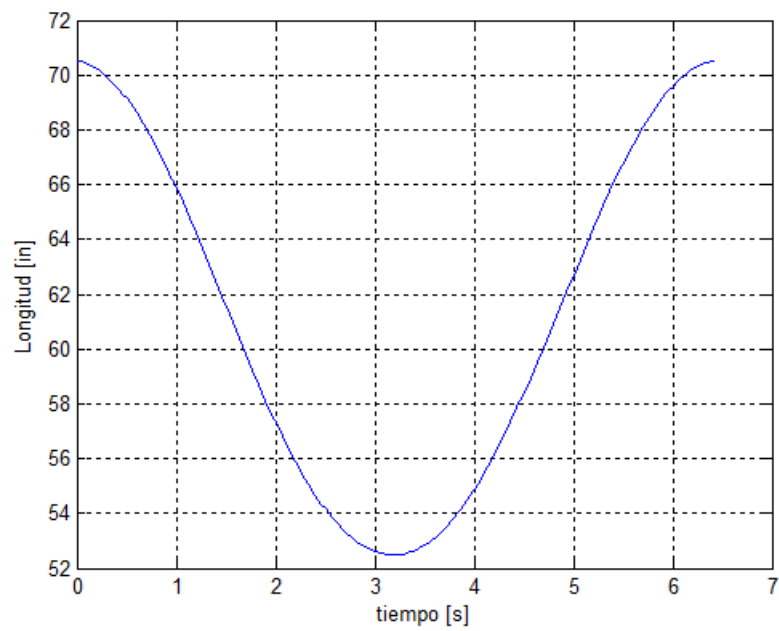
$$\alpha = 0,9149 \text{ rad o } 52,4246^\circ$$

Figura 5.1: Ángulo β entre la horizontal y el balancín



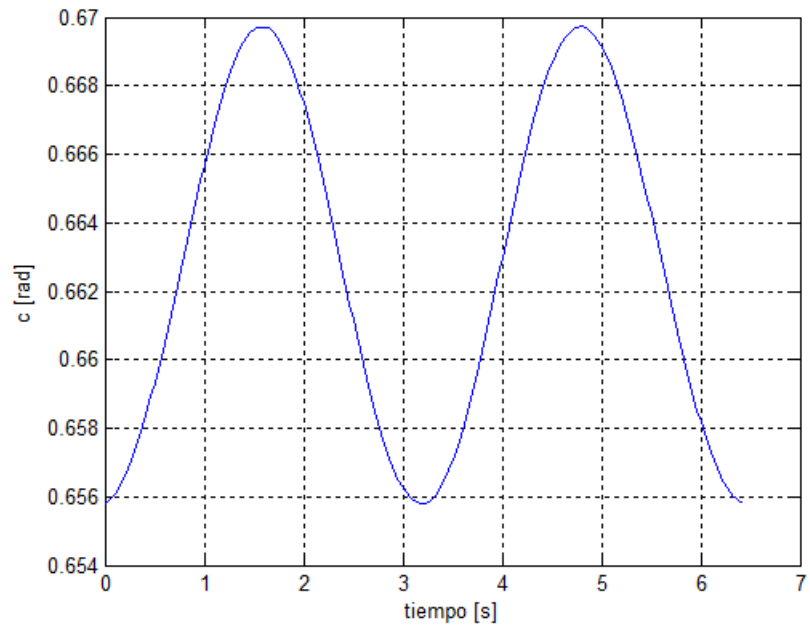
Fuente: Autores

Figura 5.2: Longitud entre el eje de rotación de la biela y la manivela S



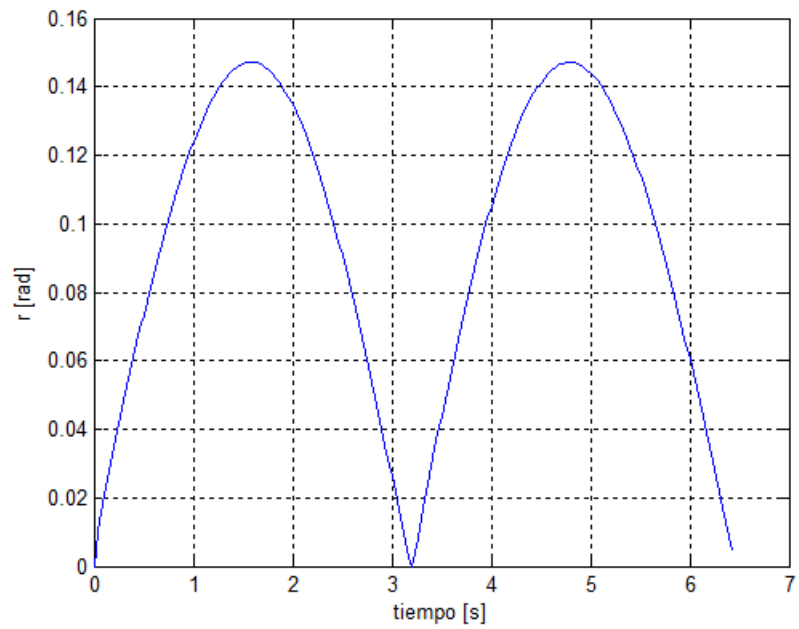
Fuente: Autores

Figura 5.3: Ángulo c entre S y D



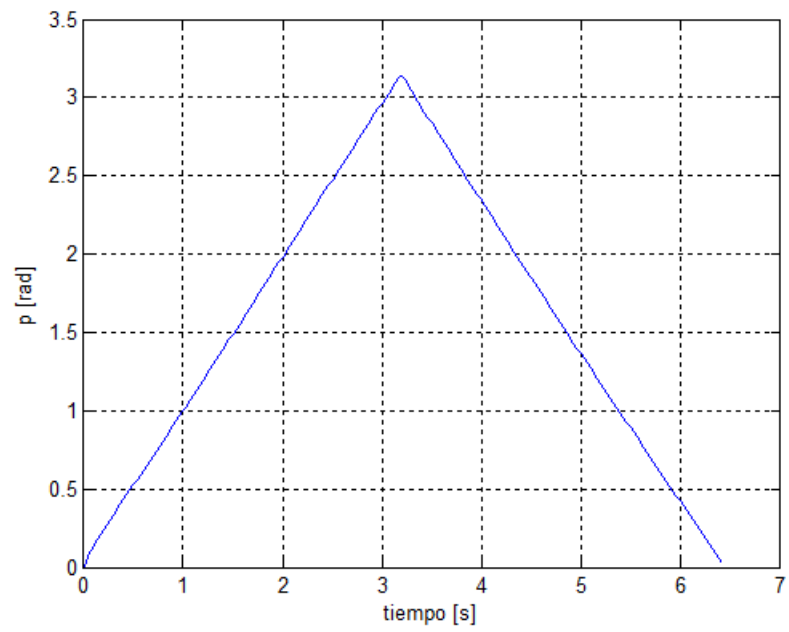
Fuente: Autores

Figura 5.4: Ángulo r entre S y la biela



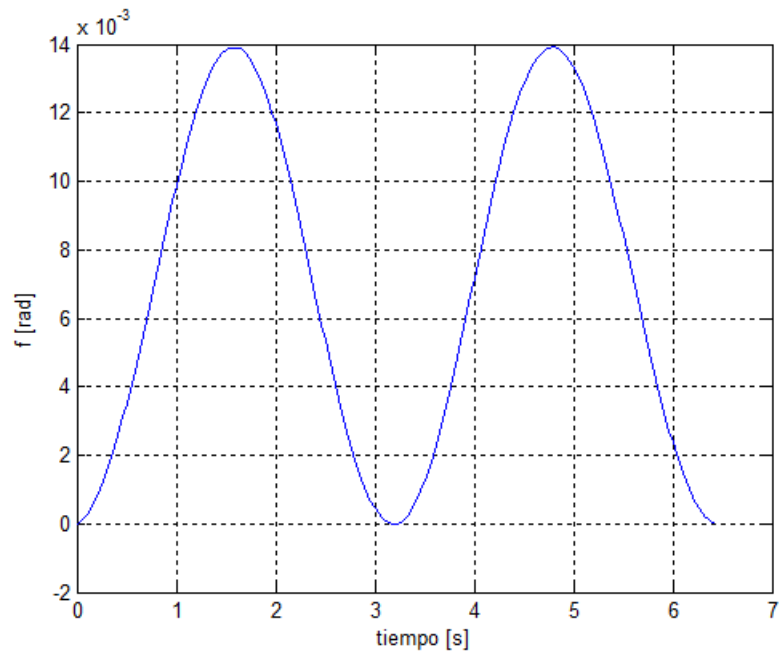
Fuente: Autores

Figura 5.5: Ángulo p entre la manivela y S



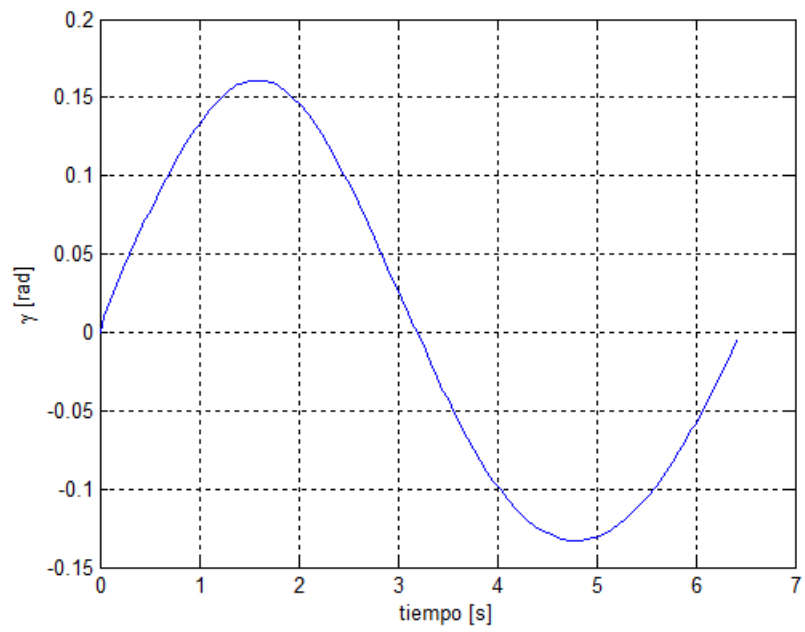
Fuente: Autores

Figura 5.6: Ángulo f entre la vertical y S



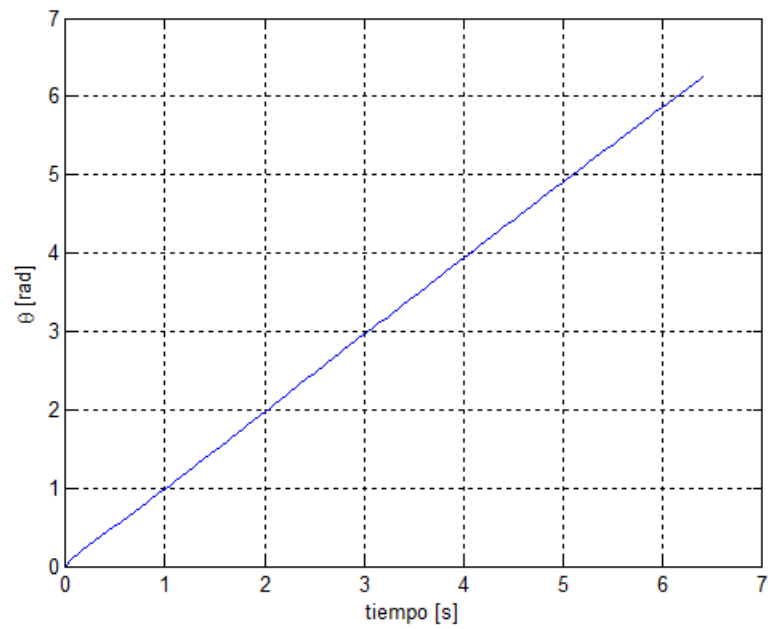
Fuente: Autores

Figura 5.7: Ángulo γ entre la vertical y la biela



Fuente: Autores

Figura 5.8: Ángulo θ entre la vertical y la manivela

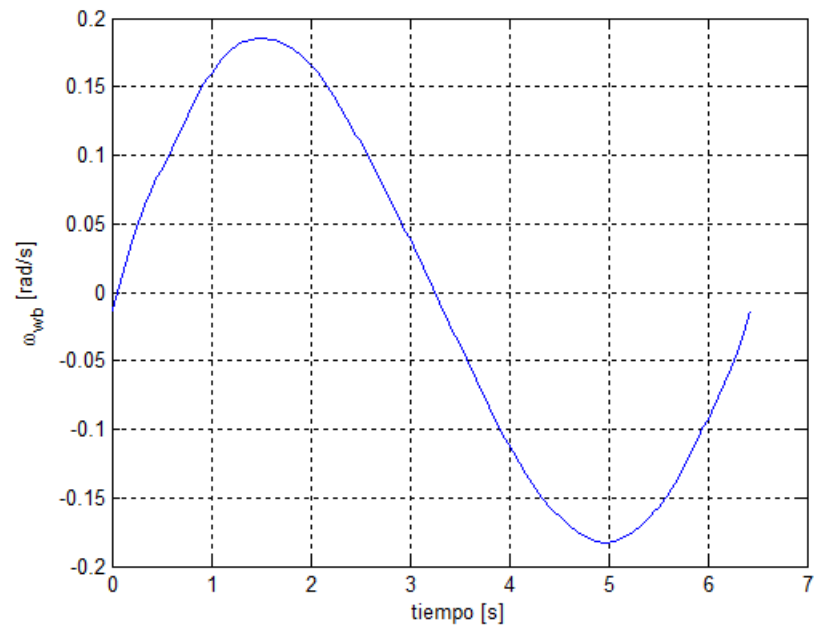


Fuente: Autores

5.2.6. Paso 6: Cálculo de la velocidad y la aceleración angular del balancín y la manivela.

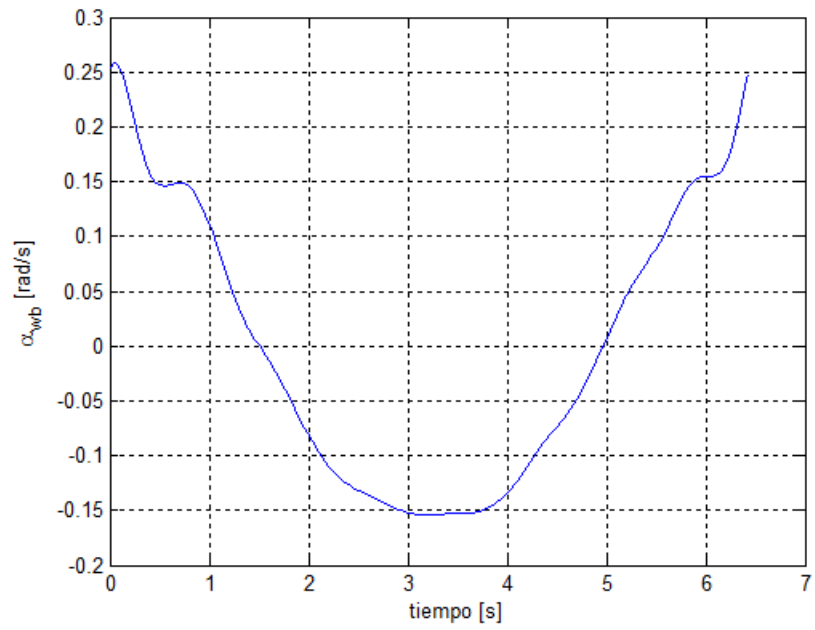
Para el cálculo de la velocidad del balancín y la manivela, se derivan el ángulo β y θ , respectivamente. Para el cálculo de las aceleraciones se derivan las velocidades. Las figuras 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, muestran las velocidades y aceleraciones. Ver sección 3.2.6.

Figura 5.9: Velocidad angular del balancín ω_{wb}



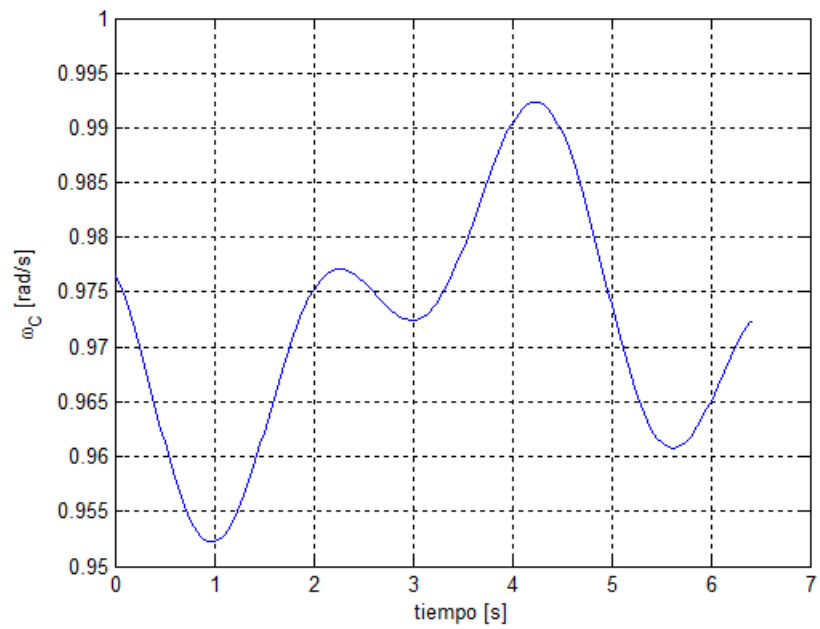
Fuente: Autores

Figura 5.10: Aceleración angular del balancín α_{wb}



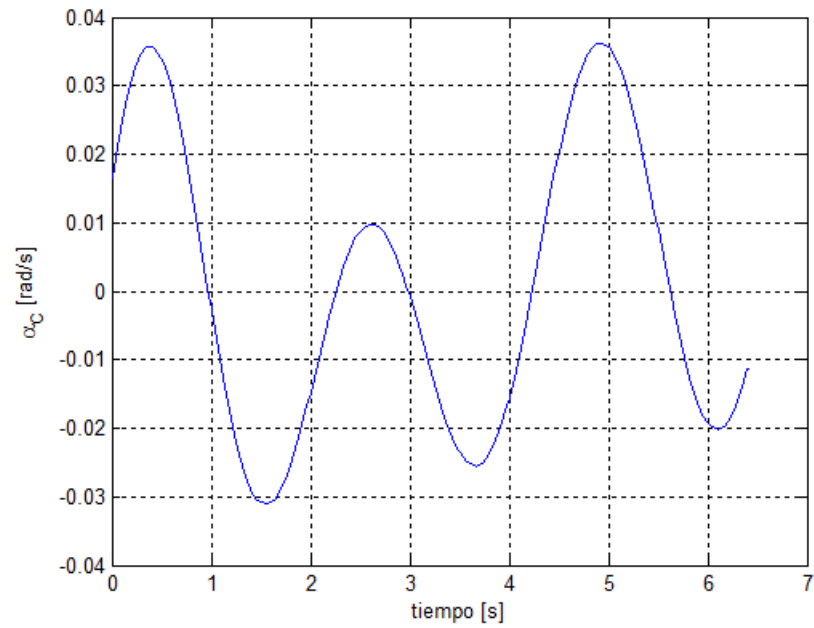
Fuente: Autores

Figura 5.11: Velocidad angular de la manivela ω_c



Fuente: Autores

Figura 5.12: Aceleración angular de la manivela α_C

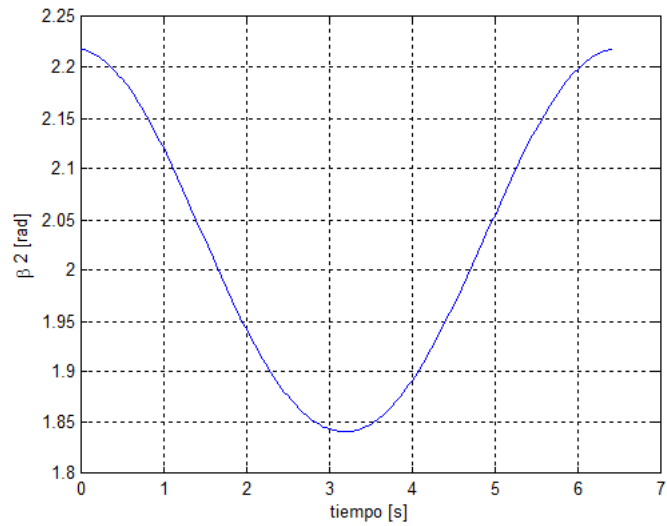


Fuente: Autores

5.2.7. Paso 7: Sumatoria de momentos en el balancín.

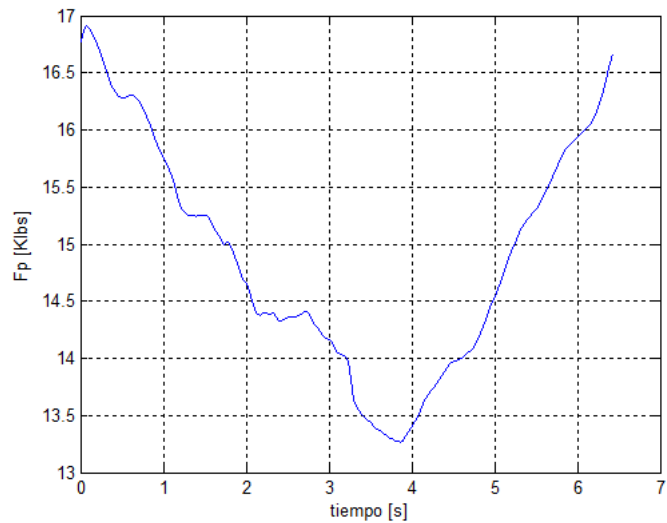
De acuerdo con lo explicado en la sección 3.2.7, se reemplaza de la ecuación (3.17) a la ecuación (3.22) y se obtiene, $hx = 3,915$ en *in*, $r = 8,8437$ en *in*, $\beta_1 = 1,1122$ en *rad* o $63,7246^\circ$, y las figuras 5.13 y 5.14, del ángulo β_2 y la fuerza resultante en el balancín F_p .

Figura 5.13: Ángulo β_2



Fuente: Autores

Figura 5.14: Fuerza resultante en el balancín F_p

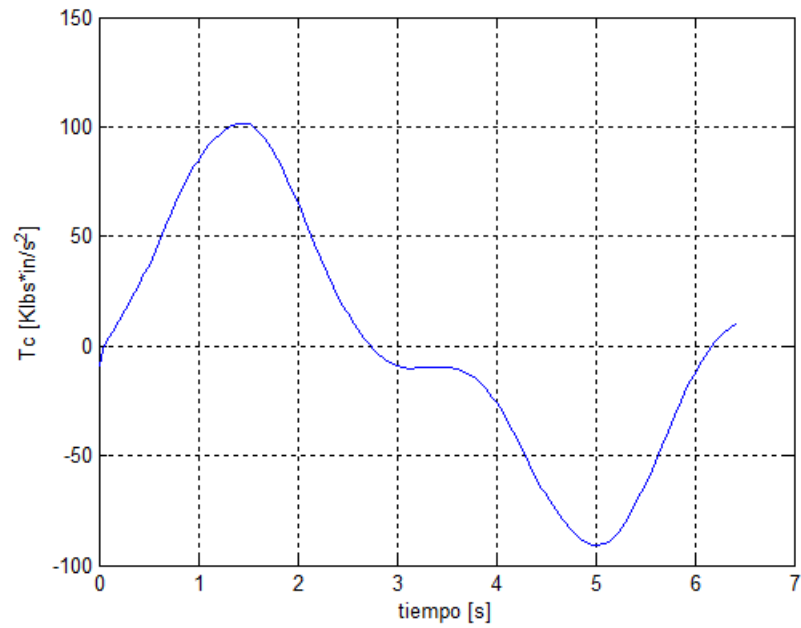


Fuente: Autores

5.2.8. Paso 8: Cálculo del torque en la manivela.

Se calcula el torque en la manivela y se obtiene la figura 5.15. Ver sección 3.2.8.

Figura 5.15: Torque en la manivela T_c

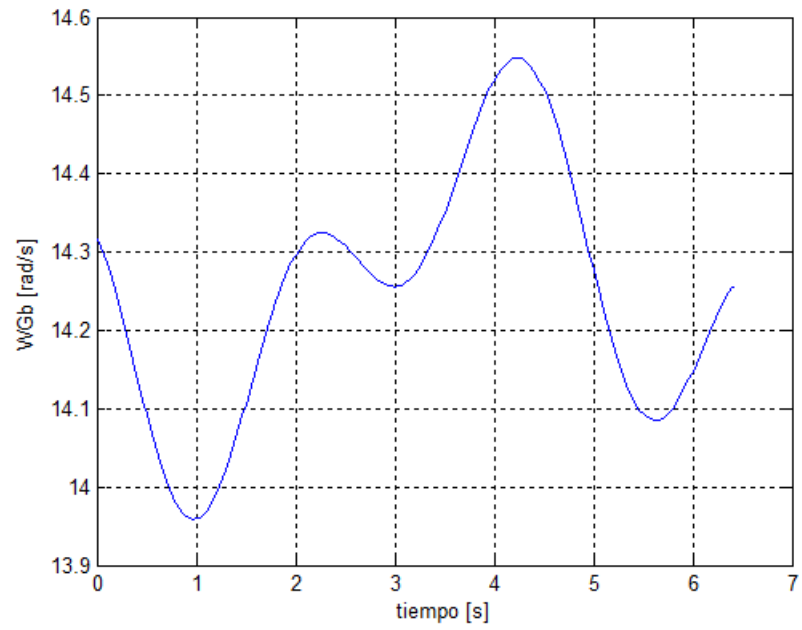


Fuente: Autores

5.2.9. Paso 9: Reducción de torque y aumento de velocidad a través del reductor de engranajes.

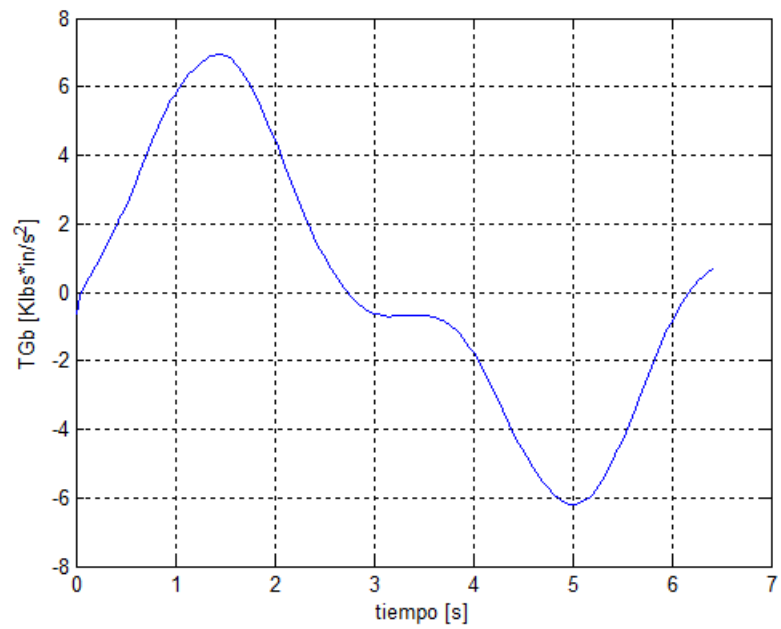
Se calcula el torque y la velocidad en el reductor de engranajes que se observan en las figuras 5.16 y 5.17. Ver sección 3.2.9.

Figura 5.16: Velocidad en el reductor de engranajes WGb



Fuente: Autores

Figura 5.17: Torque en el reductor de engranajes TGb

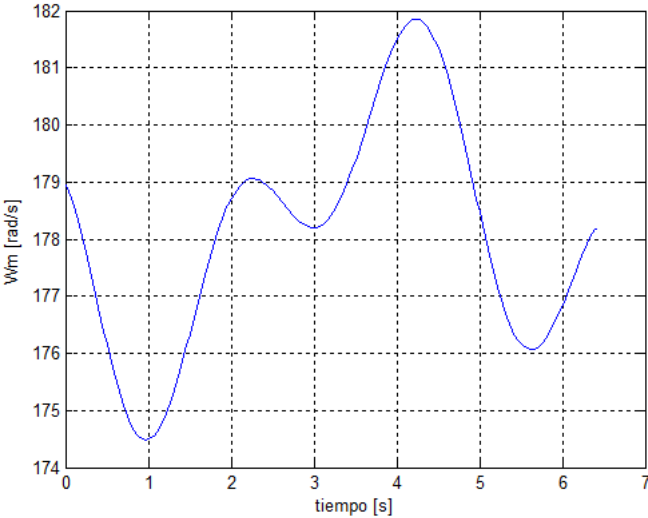


Fuente: Autores

5.2.10. Paso 10: Reducción de torque y aumento de velocidad a través de la polea.

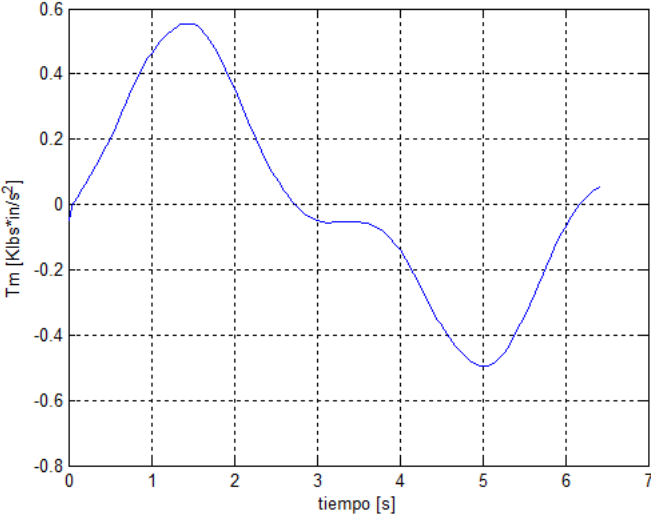
Se calcula el torque, la velocidad y la potencia mecánica en el motor y los resultados se presentan en las figuras 5.18, 5.19 y 5.20. Ver sección 3.2.10.

Figura 5.18: Velocidad del motor W_m



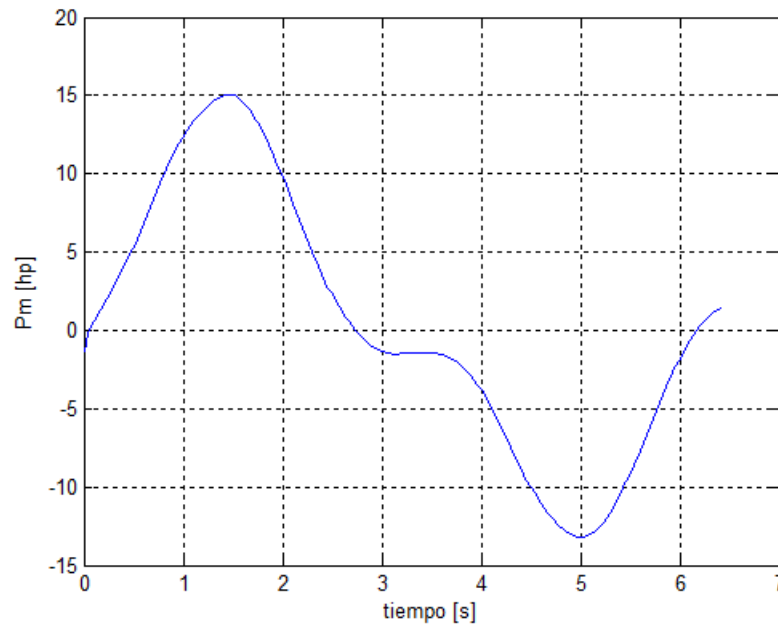
Fuente: Autores

Figura 5.19: Torque en el motor T_m



Fuente: Autores

Figura 5.20: Potencia mecánica del motor



Fuente: Autores

5.2.11. Paso 11: Inicio de la simulación.

Según lo expresado en la sección 3.2.11, se ingresa la base de datos de motores y los parámetros del motor, estos son: la potencia nominal P_n en VA , el voltaje nominal V_n V_{rms} , la frecuencia f_n Hz , la resistencia del estator R_s ohm , la inductancia del estator L_{ls} H , resistencia del rotor R_r' ohm , la inductancia del rotor L_{lr}' H , inductancia mutua L_m H , la inercia J $Kg * m^2$, el factor de fricción F $N * m * s$, par de polos p y las condiciones iniciales. Para el motor seleccionado estos parámetros se observan en la figura 5.21.

El radio de la polea adosada al motor para el motor escogido es $r_{pi} = 0,944$ in que es 2,39 (2,4) cm o 4,79 (4,8) cm de diámetro.

Figura 5.21: Parámetros del motor

Seleccione un Motor

SELECCIONE MOTOR

[Pn[VA], Vn[Vrms], fn[Hz]]
[11190 440 60]

[Rs[ohm] Lls[H]]
[0.66 0.001744]

[Rr'[ohm] Llr'[H]]
[0.35455 0.002616]

Lm
0.11237

[J[Kg.m²] F[N.m.s] p()]
[0.0588 0.012919 2]

Condiciones Iniciales
[1 0 0 0 0 0 0 0]

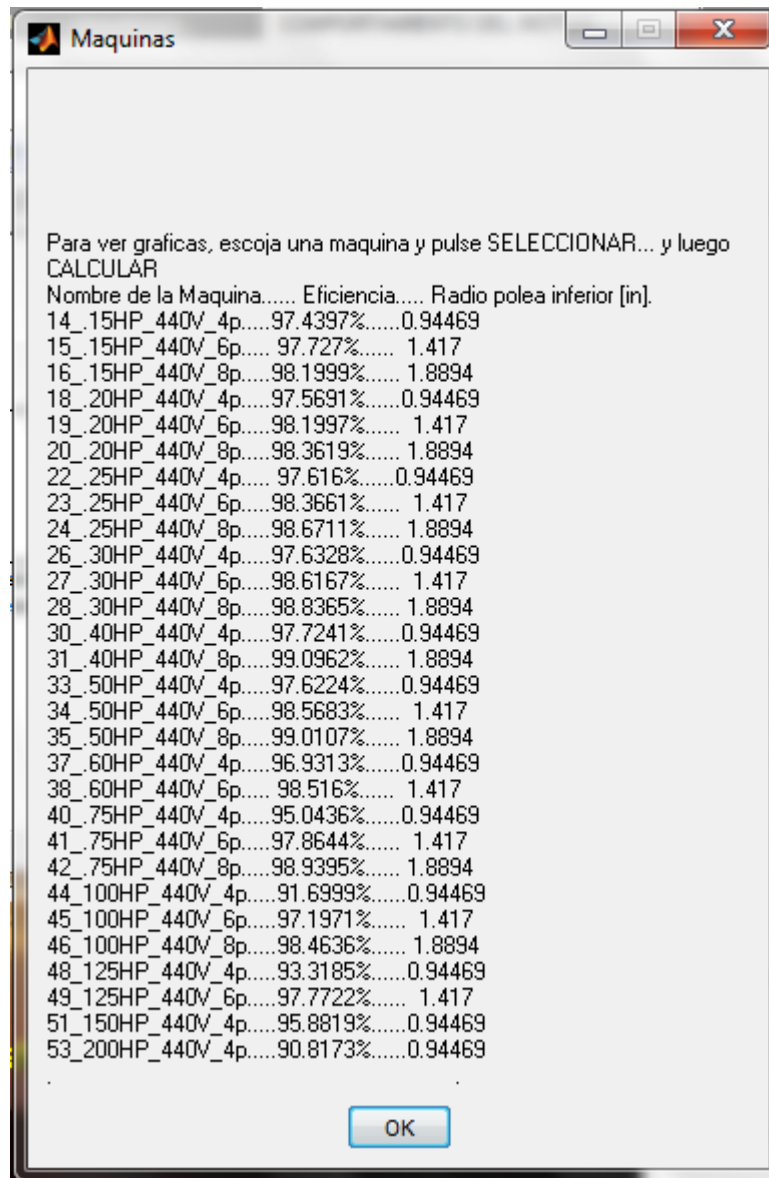
CALCULAR

Fuente: Autores

5.2.12. Paso 12: Simulación iterativa y cálculo de la eficiencia.

Se realiza la simulación para todos los motores con base en la ecuación (3.30) y como resultado, se obtiene la figura 5.22 donde se muestra la lista de los motores con eficiencias superiores al 90%. Ver sección 3.2.12.

Figura 5.22: Lista de motores escogidos por el software



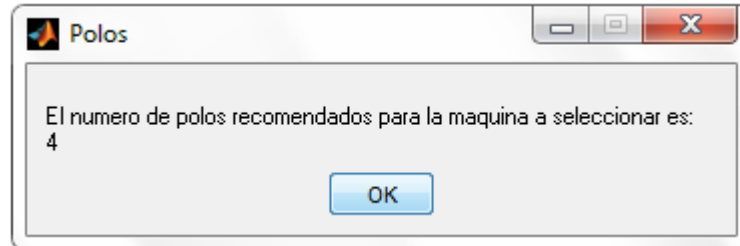
Fuente: Autores

5.2.13. Paso 13: Elección del motor.

Se realiza el procedimiento presentado en la sección 3.2.13 y se obtiene el motor con la mejor eficiencia. En este caso es el motor 14_15HP_440V_4p con una eficiencia del 97,43%. Además, se obtiene la lista con los motores (ver Figura 5.22) y el número de polos recomendado (ver Figura 5.23).

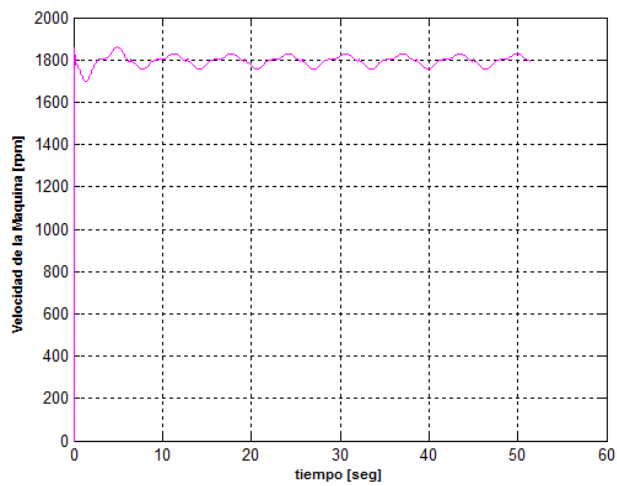
Una vez terminada la simulación se ven las figuras 5.18,5.19,5.20,5.24, 5.25 y 5.26.

Figura 5.23: Polos recomendados



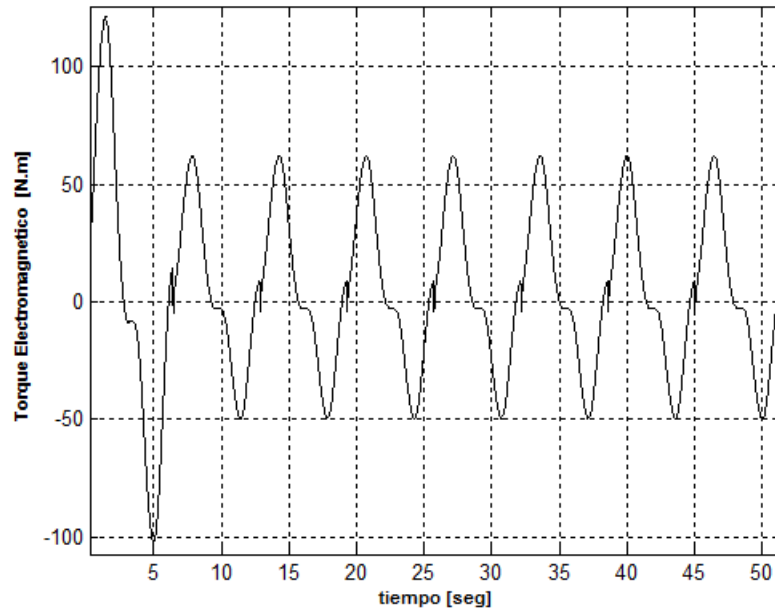
Fuente: Autores

Figura 5.24: Velocidad del motor simulado: W_m



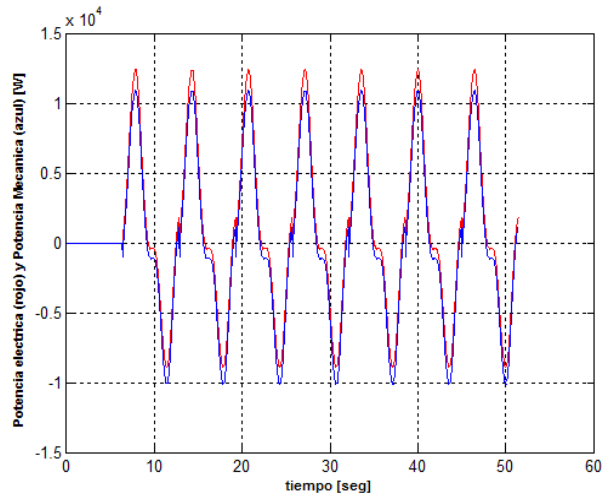
Fuente: Autores

Figura 5.25: Torque electromagnético del motor Te



Fuente: Autores

Figura 5.26: Potencia eléctrica y mecánica en el motor



Fuente: Autores

5.2.14. Paso 14: Instalación del motor.

Se sigue el procedimiento de la sección 3.2.14 y se obtiene como resultado lo que se ve en las figuras 5.27 y 5.28.

Figura 5.27: Protecciones

	CORRIENTE A PLENA CARGA (NEC) [A]	20	
TAMAÑO MÍNIMO DE CONDUCTOR DE CU	R, RW, RU, RUW, T, TW, CALIBRE	10	
	RH, RH-RW (SECO), RHW, THWN CALIBRE	10	
INTERRUPTOR AUTOMÁTICO TERMOMAGNÉTICO	CAPACIDAD RECOMENDADA [A]	40	
	TIPO INDUSTRIAL CAJA NEMA 1A CAT. N1	FAB	34040 G
		KAB	-- G
		LAB	-- G
INTERRUPTOR DE SEGURIDAD	SERVICIO PESADO - NEMA 1 CAT. NO.	H362	
	CON FUSIBLE NEC STANDARD [A]	50	
	SERVICIO PESADO - NEMA 1 CAT. NO.	H361	
	CON FUSIBLE TEMPORIZADO DE DOBLE ELEMENTO [A]	30	
ARRANCADOR MAGNÉTICO	A TENSION COMPLETA NEMA 1 CLASE 8536 TIPO	DG-1	
	CON ELEMENTOS TÉRMICOS DE SOBRECARGA NO.	B25.	
	A TENSION COMPLETA NEMA 1 CLASE 8536 TIPO	DAG1	
	CON ELEMENTOS BIMETÁLICOS DE SOBRECARGA NO.	AR27.	

Fuente: Autores

Figura 5.28: Características del conductor

DATOS PARA CONDUCTOR Y TUBO		AGREGAR CONDUCTOR		CALIBRE DEL CONDUCTOR AWG o MCM		10
3 CONDUCTORES MÁXIMO	CAPACIDAD DEL CONDUCTOR	R, RW, RU, RUW, T, TW [A]				30
		RH, RH-RW (SECO), RHW, THWN [A]				30
				DIÁMETRO DEL TUBO [in]		3/4
		CAÍDA DE TENSION POR AMPERIO POR 100 PIES (30,48 METROS) F.P.80%		1 FASE [v/A/in]		.1961
				3 FASES [v/A/in]		.1677

Fuente: Autores

5.3. Análisis

Los resultados de los tres métodos referentes a la potencia del motor se resumen en el cuadro 5.5.

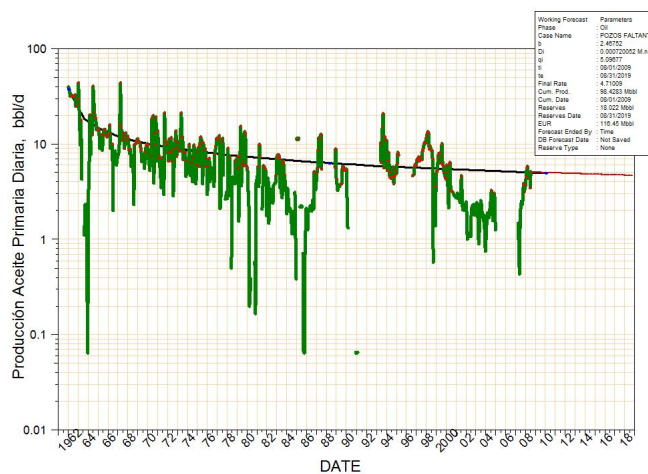
En el caso de los métodos 1 y 2, la potencia del motor encontrado es pequeña, lo que implica que un motor normal o de propósito general sería suficiente para levantar una carga de 8,9 *KLbs* o 4036,972 *Kg*. Los cálculos asociados a los métodos 1 y 2 se calculan con una producción de 5 barriles por día, lo cual puede ser la razón de la poca potencia. Sin embargo, se calcula la potencia cuando el pozo producía a su máximo de rendimiento, de acuerdo con su curva de producción (ver Figura 5.29), es decir a 45 barriles por día, la potencia calculada por los métodos 1 y 2 sigue siendo baja (Método 1: 2,41 *hp* y Método 2: 0.444 *hp* y 0.553 *hp*).

La metodología da una potencia de 15 *hp*, que es más cercano al valor instalado de 30 *hp* en el pozo, aunque, sigue siendo menor a este.

Cuadro 5.5: Resumen resultados

Método	Potencia en <i>hp</i>	Potencia en <i>W</i>
Método 1	2,41	1802,2
Método 2	0,444	331.612
	0,553	412.67
Metodología	15	11185,498

Figura 5.29: Curva de producción del pozo 75



Fuente: Campo Escuela Colorado

Capítulo 6

CONCLUSIONES

Se elaboró una herramienta software que cumple con el objetivo de seleccionar el motor de inducción para una instalación de bombeo mecánico de crudo.

La herramienta software obtiene los parámetros del motor escogido por la metodología, y muestra los datos de las protecciones e instalación a utilizar para el motor.

La herramienta software muestra que los valores de potencia encontrados, fueron en general, menores a los instalados en el Campo Escuela Colorado.

Este proyecto muestra que hay oportunidades para los ingenieros electricistas en el mundo petrolero, ya que en este se trabaja en términos de eficiencias mecánicas y no de eficiencia eléctrica.

El software soluciona el problema que origina la inexactitud en las dimensiones de la estructura de la unidad de bombeo.

El software soluciona la redundancia de datos, proporcionados por el software Echometer.

El proyecto se desarrolló bajo el sistema anglosajón o inglés de unidades, ya que es el sistema utilizado en el mundo del petróleo.

La metodología se utiliza con el pozo en funcionamiento, a diferencia de los métodos "tradicionales" que se utilizan en el proceso de diseño. Lo cual, es mas útil por el cambio en los niveles de producción que sufren los pozos al pasar el tiempo. Por esto mismo, se recomienda aplicar el software cada cierto tiempo en base al comportamiento del pozo, para irse adaptando a las necesidades.

El software se podría utilizar como herramienta de diseño, si se utiliza una señal de entrada que simule las condiciones en las que el pozo trabajará, e ingresando las bases de datos adecuadas. Por supuesto, esta señal de entrada debe estar en sintonía con los datos introducidos en las bases de datos, y los datos del pozo, para que el diseño sea apropiado. Este diseño solo serviría para el equipo de superficie, específicamente la unidad de bombeo y el motor, y no, para el equipo de subsuelo, este debería diseñarse primero y usarlo de base para la señal de entrada.

El sistema de bombeo mecánico de crudo es un sistema que en su ciclo de trabajo, hace que el motor genere y consuma energía, por lo tanto, se tomo como criterio de selección del motor el valor máximo instantáneo en valor absoluto de la potencia mecánica del sistema.

El software utiliza el ancho del balancín como aproximación para encontrar la distancia del centro del balancín hasta el centro de rotación, ya que es un dato que se puede conseguir en los estándares relacionados con los balancines. Sin embargo, si se puede medir directamente en campo la distancia del centro del balancín al centro de rotación, es aconsejable utilizar este valor multiplicado por dos, para un cálculo más preciso, aunque tal vez no tenga impacto en la escogencia del motor.

El software asegura que la unidad seleccionada en la metodología, exceda los límites de capacidad de fuerza y de desplazamiento de los datos de entrada. Ya que de no ser así, la unidad seleccionada no sería la adecuada.

El software fue elaborado en Matlab para la especificación del motor.

El software brinda la posibilidad de utilizar un motor diferente al que se sugiere, lo cual es mas práctico desde el punto de vista de los costos y de la eficiencia en la producción.

Debido a que no se encontraron datos de arranque transitorio mecánico del sistema, se tomo como valor de arranque el doble del par de los datos en el primer ciclo.

Se recomienda usar una base de datos de motores basada en los motores que estén disponibles en el mercado o en el campo donde se utilice el software, ya que sus parámetros pueden diferir de los parámetros que se encuentran en la base de datos. Esta base de datos esta realizada en base al libro Dewan S.B, Power Semiconductors Drives.

Bibliografía

- [1] Paul ADAIR. *COMPLETION DESIGN MANUAL*.
- [2] American Petroleum Institute (API). *API Specification for Oil Well Pumps (API Standard 11A)*. 7ma edition, 1944.
- [3] American Petroleum Institute (API). *API Specification for Miscellaneous Pumping Equipment (API Standard 11D)*. 5ta edition, 1952.
- [4] American Petroleum Institute (API). *API Specification for Pumping Units (API Standard 11E)*. 7ma edition, 1956.
- [5] American Petroleum Institute (API). *API Specification for Sucker Rods (API Standard 11B)*. 12ma edition, 1957.
- [6] E.D.Graves B.C.Craft, W.R.Holden. *Well Design: Drilling and Production*. Prentice-Hall, Inc., 1962.
- [7] Jimmie J. Cathey. *Máquinas Eléctricas, Análisis y Diseño con MATLAB*. McGraw-Hill Company.
- [8] NTC 2050 C CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO. ICONTEC, 2002.
- [9] Stephen J. Chapman. *Máquinas Eléctricas*. McGraw-Hill Company, 3ra edition, 2000.
- [10] BETHLEHEM STEEL COMPANY. *SUCKER ROD HANDBOOK*. —, 3ra edition.
- [11] A.E FITZGERALD. *MÁQUINAS ELÉCTRICAS*. McGraw-Hill Company, 6ta. edition, 2003.

- [12]Guillermo José Salas G. *Dinagramas, Manual de Interpretación*. Editorial Universitaria Universidad de Zulia, 3ra edition, 1976.
- [13]<http://ecatalog.squared.com/pubs/Electrical100CT0901.pdf>.
- [14]<http://ecatalog.squared.com/pubs/Motor>
- [15]http://es.wikipedia.org/wiki/Gravedad_API.
- [16]<https://images.tradeservice.com/ATTACHMENTS/DIR100011/SQAREDE00901147C162164623645.pdf>.
- [17]<http://www.americancompletiontools.com/>.
- [18]<http://www.coelregiomontana.com/conductores electricos/viakon condumex.pdf>.
- [19]<http://www.lufkin.com/>.
- [20]<http://www.mathworks.com/>.
- [21]<http://www.nema.org/>.
- [22]<http://www.schneider electric.com>.
- [23]<http://www.slb.com/>.
- [24]<http://www.sss steel.com/>.
- [25]Dewan S.B. *Power Semiconductors Drives*. A Wiley-Interscience publication, 1984.
- [26]T.E.W.NIND. *PRINCIPLES OF OIL WELL PRODUCTION*. McGraw-Hill Company, 1st. edition, 1987.
- [27]ZARA.JOSEPH. *MODERN OIL-WELL PUMPING*. The Petroleum Publishing Company, 1st. edition, 1962.

Apéndice A

Manual de Usuario

MANUAL DE USUARIO

SOFTWARE - METODOLOGÍA PARA LA ESPECIFICACIÓN DEL MOTOR EMPLEADO EN EL SISTEMA DE BOMBEO MECÁNICO DE CRUDO (MEMSBMC)



Introducción

En este manual se explica cómo usar la interface de usuario de una manera adecuada, además, cómo interactuar con ella para darle el mayor provecho.

La interface se compone de cinco pestañas: la primera corresponde a la pestaña de presentación, la segunda corresponde a la pestaña de entrada de datos, la tercera pestaña corresponde a la pestaña de comportamiento del motor y la quinta pestaña corresponde a la pestaña de instalación del motor.

Índice

1. Presentación.
2. Entrada de Datos.
3. Estudios Dinámicos.
4. Comportamiento del Motor.
5. Instalación del Motor.

1. Presentación.

En la pestaña presentación se encuentra la información general respecto al nombre del proyecto , realizadores y demás, estos son:

Nombre del Proyecto:
Metodología para la Especificación del Motor empleado en el Sistema de Bombeo Mecánico de Crudo.

Autores:
Eduardo José Díaz Muñoz.
Karol Francisco Sanabria Calderón.

Director de Proyecto:
Dr. Hermann Raúl Vargas Torres.

Universidad:
Universidad Industrial de Santander.

Escuela:
Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.

Grupo de investigación:
GISEL, Grupo de investigación en Sistemas de Energía Eléctrica.



2. Entrada de Datos.

En la pestaña entrada de datos se ingresan los datos referentes al sistema mecánico de bombeo, como son: los datos de pozo y los datos de la unidad de bombeo.

The screenshot shows the MEMSBMC software interface. The 'ENTRADA DE DATOS' tab is active. On the left, there are buttons for 'CARTA DINAMOMETRICA', 'DATOS UNIDAD', 'DATOS ESTRUCTURALES', 'DATOS CONTRAPESO', 'DATOS WALKINGBEAM', 'DATOS STROKE LENGTH', 'DATOS RADIOS CRANK', and 'DATOS GEARBOX'. Below these is a dropdown menu for 'Contrapeso Escogido' and a 'POLEA - CORREA' checkbox. The central area displays a presentation slide with the title 'Metodología para la especificación del motor empleado en el sistema de bombeo mecánico de crudo' and lists authors (Eduardo José Díaz Muñoz, Karol Francisco Sarabria Calderín) and a director (Dr. Hermann Raúl Vargas Torres). To the right, there are input fields for manual data entry, including 'DATOS UNIDAD' (A, I, H, R, C, P, G, SU), 'DATOS ESTRUCTURALES' (Carga Barra Lisa, Longitud del Stroke), 'DATOS CONTRAPESO' (Peso del Contrapeso), 'DATOS WALKINGBEAM' (Masa del Walkingbeam, Inercia del Walkingbeam, hw), 'DATOS GEARBOX' (Razon de Transformacion), and 'DATOS POLEA' (Razon de Transformacion). A checkbox 'Ingresar Datos Manualmente' is present, and a 'POLEA - CORREA' checkbox is at the bottom left. A technical diagram of a pumpjack mechanism is shown in the center, with labels C, A, hw, P, R, G, and H.

Hay dos modos de ingresar los datos en la ventana, el primer modo corresponde a ingresar los datos a través de bases de datos (archivos .txt) **Ingresar Bases de Datos**, y el segundo modo consiste en ingresar los datos manualmente **Ingresar Datos Manualmente**, sin embargo, los modos no son excluyentes, se pueden ingresar tanto los datos de bases de datos como los manuales a la vez y decidir cual utilizar a la hora de realizar los cálculos, por defecto el programa realizara los cálculos en base a los datos de la base de datos a menos que se le indique que calcule con los datos ingresados a mano.

Para usar el modo de ingresar los datos por bases de datos solo que hay que ingresar cada base de datos correspondiente a cada botón como se explica más adelante.

Para usar el modo manual, solo hay que chequear la casilla Ingresar Datos Manualmente y luego digitar los datos, como se explica más adelante.

Ingresar Bases de Datos.

Ingresar Bases de Datos

CARTA DINAMOMETRICA

Pozo Escogido

Stroke [in]

Carga Max [KLbs]

DATOS UNIDAD

DATOS ESTRUCTURALES

DATOS CONTRAPESO

4No0OROLCounterweight...

Contrapeso Escogido

DATOS WALKINGBEAM

DATOS STROKE LENGTH

DATOS RADIOS CRANK

DATOS GEARBOX

Seleccione si usa Polea

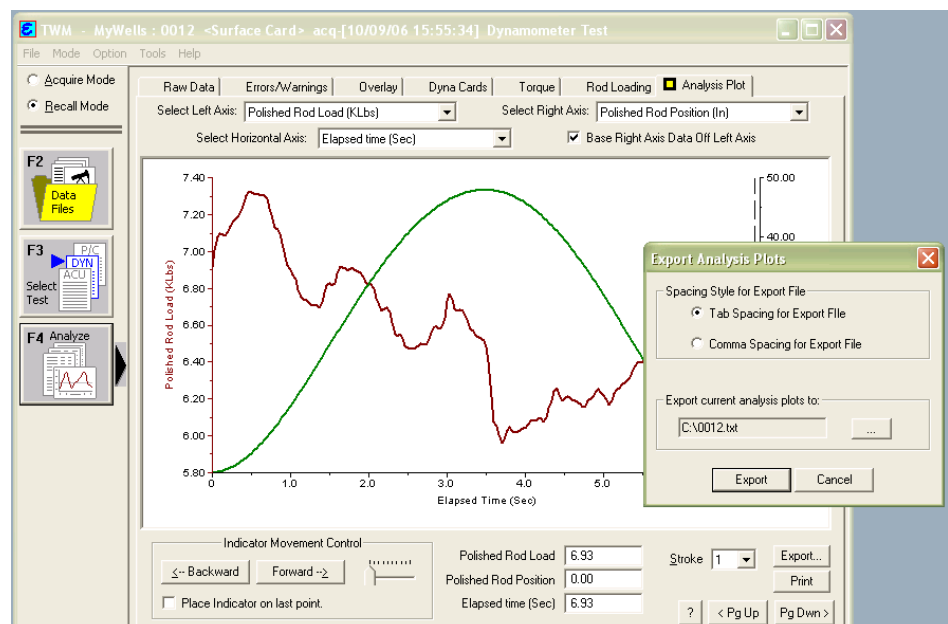
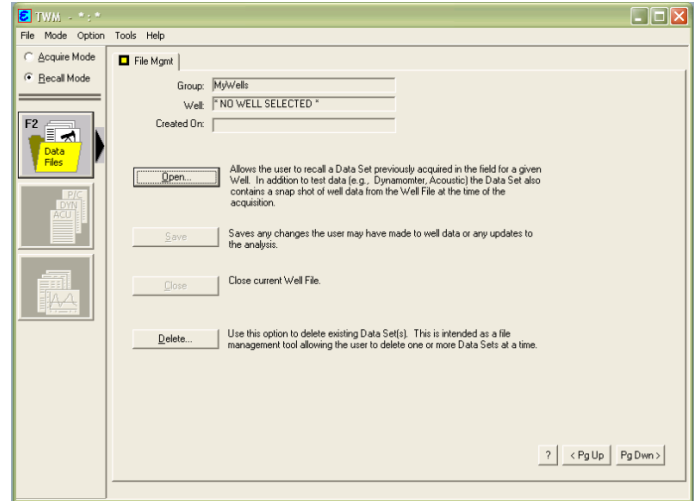
POLEA - CORREA

CARTA DINAMOMETRICA: Este botón contiene los datos de la Curva dinamoétrica de superficie del pozo, estos se encuentran contenidos dentro de un archivo txt el cual es resultado de exportar la información del programa

Echometer TWM, el cual es un software que junto con un dispositivo de medida toma la información de las curvas del pozo, las cuales se toman en el campo.

Por defecto el programa trae la información de los pozos del Campo Colorado UIS en convenio con Ecopetrol s.a. correspondientes a los pozos 12, 36, 37, 69, 70 y 75.

En el caso de que se necesite agregar información de otro pozo solo tienes que exportarlo del programa Echometer como se muestra a continuación.



Ventana del software TWM -Echometer¹

¹ Software de medida de descarga gratuita - Total Well Management-Echometer, usado para lectura y análisis de información de pozos petroleros.

```

0012 2.txt: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
209
X Axis Y1 Axis Y2 Axis
Elapsed Time Polished Rod Position Polished Rod Load
(Sec) (In) (KLbs)
0 0.00764079 6.94829
0.0333333 0.0676883 7.04168
0.0666667 0.156066 7.08021
0.1 0.269417 7.0923
0.133333 0.405446 7.0815
0.166667 0.561886 7.09187

```

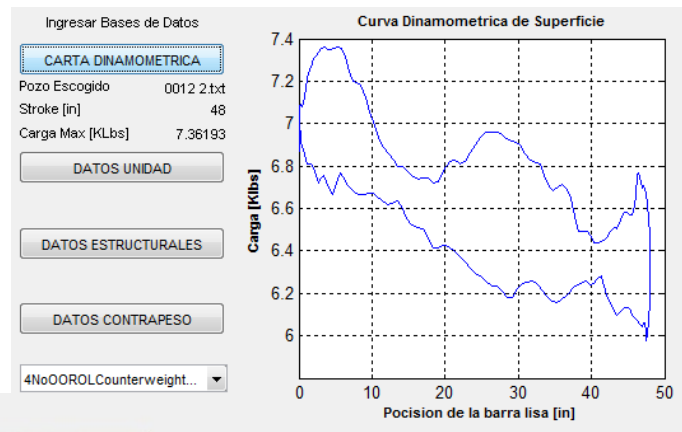
En el caso de querer ingresar la información directamente en un txt el formato del mismo debe cumplir con la estructura que se muestra en la grafica a continuación. En el primer renglón del txt debe aparecer el número de datos o filas del archivo de datos, correspondientes a número de filas en

las columnas de números del txt. El segundo, tercero y cuarto renglón deben contener lo que se ve en la imagen, que corresponde a los títulos eje x, eje y1, eje y2, tiempo, posición de la barra lisa, carga en la barra lisa, segundos, pulgadas, y kilo libras, desde el renglón 5 hasta el último está los datos en columnas espaciadas por tabs.

Al oprimir el botón aparecerá una ventana en la cual deberá seleccionar el txt que contenga la información del pozo, en el caso por defecto podrá escoger entre los txt de los pozos mencionados antes 0012.txt, 0036.txt, 0037.txt, 0069.txt, 0070.txt o 0075.txt.

Al cargar la información de manera exitosa deberá aparecer la curva dinamométrica correspondiente así como alguna información debajo del botón, como se muestra.

En caso contrario no aparecerá la información ni la grafica y en su lugar aparecerán unas líneas y la imagen de presentación, como se muestra.



CARTA DINAMOMETRICA

Pozo Escogido -----
Stroke [in] -----
Carga Max [KLbs] -----

DATOS UNIDAD

DATOS ESTRUCTURALES

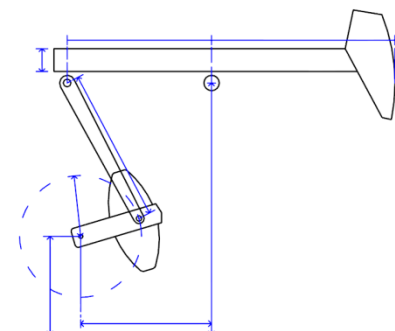
DATOS CONTRAPESO



DATOS UNIDAD

DATOS UNIDAD: Pulsando este botón se ingresara la información correspondiente a la unidad de bombeo mecánico de superficie la cual se muestra en esta imagen.

Por defecto el programa tiene almacenada la información de las unidades de bombeo de la empresa Lufkin, sin embargo se puede utilizar cualquier base de datos de otro fabricante de



este tipo de maquina siempre y cuando el txt que se agregue, tenga la configuración que se ve en la grafica.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda										
C-1824D-305-240	1		228	120.03	120	226.75	340.00	111.00	60	53	46	39	-2740	111.78/240
C-1280D-305-240	2		228	120.03	120	226.80	340.00	111.00	60	53	46	39	-2855	111.78/240
C-912D-305-240	3		228	120.03	120	226.75	340.00	111.00	60	53	46	39	-2740	111.78/240
C-1824D-365-216	4		235	120.03	120	172.50	286.00	111.00	53	46	39	32	-2030	101.31/216
C-1280D-427-192	5		210	120.03	120	172.50	286.50	111.00	53	46	39	32	-995	90.43/192
C-1824D-365-192	6		210	120.03	120	172.50	286.00	111.00	53	46	39	32	-1985	90.51/192

El txt debe componerse de 14 columnas, la primera es la designación API de la unidad, la segunda es la numeración, de la tercera a la doce es A C I P G H R1 R2 R3 R4, la trece es SU que es el desbalance estructural y la ultima es T.F. 90/ Stroke length.

Cuando los datos se ingresan exitosamente aparece un pequeño OK, de lo contrario aparece una línea.



DATOS ESTRUCTURALES

DATOS ESTRUCTURALES: A través de este botón se obtienen los datos estructurales de la unidad, principalmente se obtiene la carga máxima en la barra lisa y el stroke length.

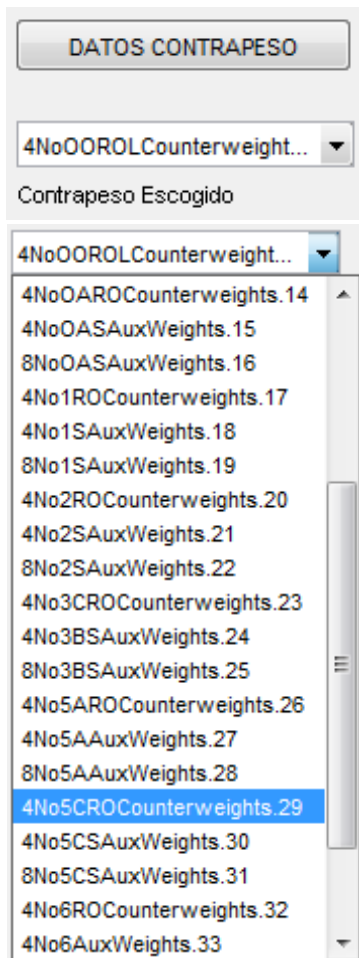
Por defecto el programa usa los datos de Lufkin, sin embargo si usted quiere usar sus datos, tan solo tiene que ingresar los datos en un txt con la siguiente configuración.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda										
C-1824D-305-240		30.500	240	209	179	151	W33x241	1-3/8x16CTRS.	120110CA	1SE	ORA	OTGB		
C-1280D-305-240		30.500	240	209	179	151	W33x241	1-3/8x16CTRS.	120110CA	1SE	ORA	OTGB		
C-912D-305-240		30.500	240	209	179	151	W33x241	1-3/8x16CTRS.	120110CA	1SE	ORA	OTGB		
C-1824D-365-216		36.500	216	185	155	126	W33x241	1-3/8x16CTRS.	106110CA	0S	OOR	OOTG		
C-1280D-427-192		42.700	192	166	139	113	W36x247	1-3/8x16CTRS.	106110CA	0S	OOR	OOTG		
C-1824D-365-192		36.500	192	165	139	113	W33x221	1-3/8x16CTRS.	106110CA	1SE	ORA	OTGB		
C-1280D-365-192		36.500	192	165	139	113	W33x221	1-3/8x16CTRS.	106110CA	1SE	ORA	OTGB		
C-912D-365-192		36.500	192	165	139	113	W33x221	1-3/8x16CTRS.	106110CA	1SE	ORA	OTGB		
C-912D-305-192		30.500	192	165	139	113	W33x201	1-1/4x16CTRS.	106110CA	1SE	ORA	OTGB		
C-912D-365-168		36.500	168	145	124	0	W33x221	1-3/8x16CTRS.	94110CA	1SE	ORA	OTGB		
C-640D-365-168		36.500	168	145	124	0	W33x221	1-3/8x16CTRS.	94110CA	1SE	ORA	OTGB		
C-912D-305-168		30.500	168	145	124	0	W33x201	1-1/4x16CTRS.	94110CA	1SE	ORA	OTGB		
C-640D-305-168		30.500	168	145	124	0	W33x201	1-1/4x16CTRS.	94110CA	1SE	ORA	OTGB		

En la primera columna esta la designación de la unidad, en la segunda la carga de la barra lisa, de la tercera a la sexta están los recorridos de la barra lisa en pulgadas s1 s2 s3 s4, en la séptima el walking beam, en la octava el wireline hanger en inches, en la novena el crank, en la decima crank pin bearing, en la undécima el equalizer bearing, en la doceava el center bearing.

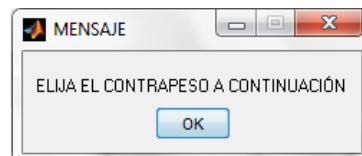
Cuando los datos se ingresan exitosamente aparece un pequeño OK, de lo contrario aparece una línea.





DATOS CONTRAPESO: Pulsando este botón se accede a ingresar los datos de contrapesos, y pesos auxiliares en la manivela (crank), una vez entrada la base de datos en txt aparece un mensaje que advierte sobre escoger el contrapeso que se quiera.

Una vez se pulsa OK, se debe elegir del popumenu el contrapeso que se quiera.



Cuando el ingreso de datos es exitoso aparece un OK y el nombre del contrapeso escogido, en caso contrario aparecerá una línea y ningún nombre u otro no escogido.



Por defecto los datos traen los valores de contrapeso de Lufkin, sin embargo si se quieren agregar sus propios datos de contrapeso solo se tiene que agregar un txt con la siguiente configuración:

popumenu

38														
00	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	5.0000	6.0000	7.0000	8.0000	9.0000	10.000	11.000	12.000	13.000	14.000
01	240.00	240.00	240.00	216.00	192.00	192.00	192.00	192.00	192.00	168.00	168.00	168.00	168.00	168.00
02	-2.740	-2.855	-2.740	-2.030	-1.149	-1.985	-1800.	-1800.	-1800.	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500	-1.500
03	120110	120110	120110	106110	106110	106110	106110	106110	106110	94110.	94110.	94110.	94110.	94110.
04	1.4700	1.3560	1.4700	2.6150	4.0600	3.2150	3.4000	3.4000	3.4000	4.3600	4.3600	4.3600	4.3600	4.3600
05	15.035	14.920	15.035	17.585	20.829	19.970	20.155	20.155	20.155	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
06	19.040	18.925	19.040	22.000	25.716	24.915	25.100	25.100	25.100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
07	23.040	22.925	23.040	26.415	30.724	29.860	30.045	30.045	30.045	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
08	12.255	12.140	12.255	14.515	17.395	16.535	16.720	16.720	16.720	19.380	19.380	19.380	19.380	19.380
09	15.510	15.395	15.510	18.105	21.420	20.555	20.740	20.740	20.740	23.910	23.910	23.910	23.910	23.910
10	18.765	18.650	18.765	21.695	25.445	24.575	24.760	24.760	24.760	28.440	28.440	28.440	28.440	28.440
11	10.880	10.765	10.880	12.995	15.690	14.835	15.020	15.020	15.020	17.455	17.455	17.455	17.455	17.455
12	14.005	13.885	14.005	16.440	19.550	18.695	18.880	18.880	18.880	21.805	21.805	21.805	21.805	21.805
13	17.130	17.010	17.130	19.885	23.410	22.555	22.740	22.740	22.740	26.150	26.150	26.150	26.150	26.150

El numero de columnas corresponde al número de maquinas que se introdujeron en la bases de datos de Datos Unidad, mas una columna de numeración que es la primera, como se ve en la imagen, el numero de filas corresponde a lo siguiente: la primera fila indica el numero de filas del txt a partir de la fila numerada como cero 00, tomando la fila 00 como 1; la fila 2 es una fila de numeración de las maquinas, empezando con 1 hasta la última maquina, como se ve en la figura; la fila tres corresponde al máximo recorrido de la barra lisa, la tercera fila corresponde al desbalance estructural, la cuarta fila corresponde al tipo de manivela, la

quinta fila corresponde al contrabalance de la manivela, y de la sexta fila en adelante se colocan los valores de contrapeso fijos y auxiliares.

los nombres en el popupmenu se pueden cambiar para coincidir con los nuevos datos del contrapeso para esto se debe crear un txt como se ve en la figura, con el nombre Counterbalance Names.txt que contenga una sola columna sin espacios entre los caracteres con los nombres de los contrapesos fijos y auxiliares que corresponden con los ingresados en el txt de los datos del contrabalance de la fila seis en adelante. por defecto este txt ya existe dentro de los datos del programa así que por favor no borrarlo, y tan solo renombrarlo, para no perder la información.



DATOS WALKINGBEAM

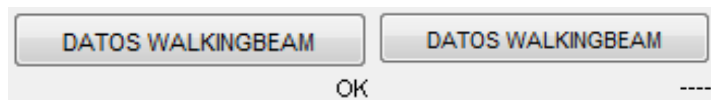
DATOS WALKINGBEAM: Los datos del walkingbeam constituyen los datos de inercia y peso del mismo. Por defecto los datos que se incluyen en el programa, son la inercia y masa calculada del walkingbeam (viga viajera), a partir de los datos de la Lufkin. Si se desea ingresar sus propios datos de inercia y demás, debe crear un txt que respete la siguiente configuración:

Walkingbeam Data.txt: Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda					
66									
1	34.18	15.86	1.4	0.83	348.03	6.989616479	6989.616479	174.015	72.05573663
2	34.18	15.86	1.4	0.83	348.03	6.989616479	6989.616479	174.015	72.05573663
3	34.18	15.86	1.4	0.83	348.03	6.989616479	6989.616479	174.015	72.05573663
4	34.18	15.86	1.4	0.83	355.03	7.130200094	7130.200094	177.515	76.42923447
5	36.08	16.51	1.35	0.8	330.03	6.793131086	6793.131086	165.015	63.28359567
6	33.93	15.805	1.275	0.775	330.03	6.078064656	6078.064656	165.015	56.45187797
7	33.93	15.805	1.275	0.775	330.03	6.078064656	6078.064656	165.015	56.45187797
8	33.93	15.805	1.275	0.775	330.03	6.078064656	6078.064656	165.015	56.45187797
9	33.68	15.745	1.15	0.715	330.03	5.528013556	5528.013556	165.015	51.32143308
10	33.93	15.805	1.275	0.775	330.03	6.078064656	6078.064656	165.015	56.45187797
11	33.93	15.805	1.275	0.775	330.03	6.078064656	6078.064656	165.015	56.45187797

El numero de filas corresponde al mismo número de maquinas que se ingresaron en las bases de datos anteriores, en este caso 66. La primera fila contiene el número de maquinas y a su vez el numero de filas del txt, la primera columna es de numeración, de la segunda a la ultima corresponde a: A, B, C, D, longitud del walkingbeam, peso del walkingbeam en [Klbs], peso del walkingbeam en [Lbs], el valor medio de las longitudes del beam $(L1+L2/2)$, y la inercia en $[Klbs.in^2]$.

Cuando el ingreso de datos es exitoso aparece un OK y cuando no una línea.



DATOS STROKE LENGTH

DATOS STROKE LENGTH: Esta base de datos corresponde un los datos del stroke length, normalmente por defecto en los datos de Structural Data vienen cuatro, sin embargo en ocasiones ciertas maquinas traen mas, es por esto se creó esta base de datos que por defecto trae los mismos que vienen en Structural Data, pero que se pueden agregar más en cada columna; para crear su propio base de datos debe seguir la siguiente configuración.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
66				
1	240	209	179	151
2	240	209	179	151
3	240	209	179	151
4	216	185	155	126
5	192	166	139	113
6	192	165	139	113
7	192	165	139	113
8	192	165	139	113
9	192	165	139	113
10	168	145	124	0
11	168	145	124	0

Por defecto las primeras cuatro columnas de datos, corresponde a las mismas de Structural Data, s1, s2, s3, s4, a partir de ahí las columnas que se agregen serán adicionales y corresponderán a los stroke length adicionales que se quieran agregar.

la primera fila corresponde al número de filas del txt y a su vez el número de maquinas ya ingresadas en las bases de datos anteriores; y la primera columna es para numeración.

En el caso de que los datos se ingresen correctamente aparecerá un OK en caso contrario una línea.

DATOS STROKE LENGTH

DATOS STROKE LENGTH

OK

DATOS RADIOS CRANK

DATOS RADIOS CRANK: En esta base de datos están los radios de la manivela, y están relacionados con el recorrido de la barra lisa, de manera tal que para determinado recorrido de la barra hay un radio. La forma de modificar el txt es la misma que con los stroke, se tienen cuatro columnas por defecto que son las mismas que aparecen en los datos de Datos Unidad, R1, R2, R3, R4, si se quieren agregar más radios se deben agregar en más columnas.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
66				
1	60	53	46	39
2	60	53	46	39
3	60	53	46	39
4	53	46	39	32
5	53	46	39	32
6	53	46	39	32
7	53	46	39	32
8	53	46	39	32
9	53	46	39	32
10	47	41	35	0
11	47	41	35	0

Si los datos se ingresan exitosamente aparecerá un OK, en caso contrario aparecerá una línea.

DATOS RADIOS CRANK

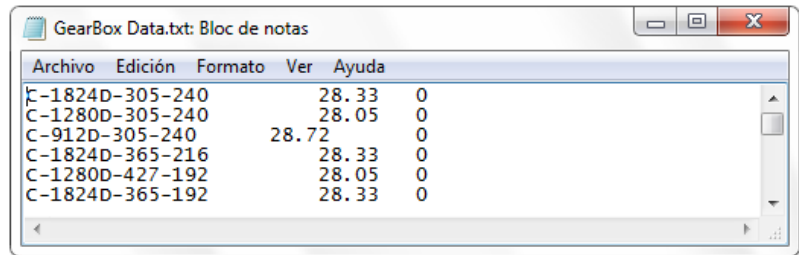
DATOS RADIOS CRANK

OK

DATOS GEARBOX

DATOS GEARBOX: Corresponde a los datos del reductor de engranajes, por defecto se usan los datos de Lufkin, pero si se quiere cambiar los datos puede crear el txt con la siguiente configuración.

La primera columna corresponde a los nombres de las unidades que se están usando, la segunda la razón de transformación de la caja de cambios correspondiente y la tercera columna corresponde a la inercia de la caja de cambios, en el caso de que no se tengan datos sobre esta última se coloca cero.



Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
C-1824D-305-240			28.33	0
C-1280D-305-240			28.05	0
C-912D-305-240			28.72	0
C-1824D-365-216			28.33	0
C-1280D-427-192			28.05	0
C-1824D-365-192			28.33	0

En el caso de que los datos se ingresen correctamente aparecerá un OK en caso contrario una línea.

DATOS GEARBOX

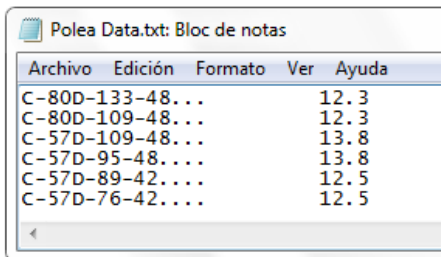
DATOS GEARBOX

OK

Seleccione si usa Polea

POLEA - CORREA

POLEA - CORREA: En este caso debido a que algunas maquinas tienen correa y otras no, se usa una caja de chequeo, al seleccionarla, se debe escoger los datos de la polea.



Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
C-80D-133-48...			12.3	
C-80D-109-48...			12.3	
C-57D-109-48...			13.8	
C-57D-95-48...			13.8	
C-57D-89-42...			12.5	
C-57D-76-42...			12.5	

Por defecto estos datos corresponden a los de la Lufkin, sin embargo se pueden ingresar sus propios datos creando un txt con la siguiente configuración:

La primera columna debe contener la designación de la unidad como se muestra y en la segunda la relación de transformación de la polea, en el caso de no tener información respecto a la relación de transformación se debe introducir como relación 1.

En el caso de que los datos se ingresen correctamente aparecerá un OK en caso contrario una línea y en el caso de que se deseleccione aparecerá un 1, indicando que no se usara la polea en los cálculos.

Seleccione si usa Polea

POLEA - CORREA

Seleccione si usa Polea

POLEA - CORREA

OK

Seleccione si usa Polea

POLEA - CORREA

1

Ingresar Datos Manualmente

<< Seleccionar CARTA DINAMOMETRICA

> DATOS UNIDAD

>> A [in] >> C [in]

>> I [in] >> P [in]

>> H [in] >> G [in]

>> R [in] >> SU [Lbs]

Desbalance Estructural

> DATOS ESTRUCTURALES

>> Carga Barra Lisa [KLbs]

>> Longitud del Stroke [in]

> DATOS CONTRAPESO

>> Peso del Contrapeso [KLbs]

> DATOS WALKINGBEAM

>> Masa del Walkingbeam [KLbs]

>> Inercia del Walkingbeam [KLbs*in²]

>> h_w [in]

> DATOS GEARBOX

>> Razon de Transformacion [n:1]

> DATOS POLEA

>> Razon de Transformacion [n:1]

Ingresar Datos Manualmente.

Para poder usar los datos ingresados manualmente en los cálculos se debe seleccionar la caja de chequeo, aunque esto no quiere decir que no se pueden ingresar ambos datos (manuales y base de datos) a la vez. Sin embargo, tener en cuenta que lo que determina que datos que se van a usar en los cálculos es la caja de chequeo.

Ingresar Datos Manualmente

Para seleccionar los datos de la carta dinamométrica se pulsa el mismo botón que en el caso de la base de datos.

CARTA DINAMOMETRICA	
Pozo Escogido	0012 2.txt
Stroke [in]	48
Carga Max [KLbs]	7.36193

En las casillas se ingresa los valores numéricos de los datos que se solicitan de manera similar a las bases de datos pero para una sola maquina.

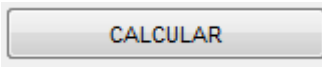
Una vez ingresado el dato se pulsa enter para guardarlo.

Por favor, tener en cuenta que la longitud del stroke debe ser igual al stroke que aparece debajo del botón CARTA DINAMOMETRICA.

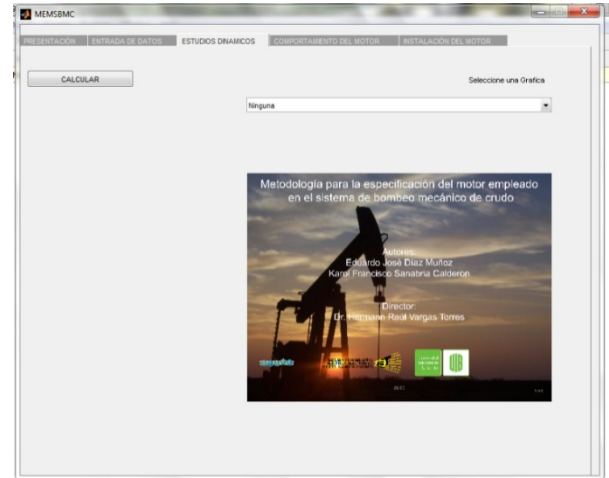
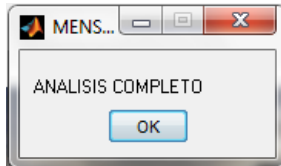
En el caso de que no se tenga información o no se use polea en la maquina se debe digitar 1.

3. Estudios Dinámicos.

Esta es la tercera pestaña del programa y su objeto es calcular y mostrar los resultados.



CALCULAR: Es el primer y único botón a pulsar en la pestaña, una vez pulsado se inician los cálculos y estos terminan cuando aparece el mensaje: "ANALISIS COMPLETO".



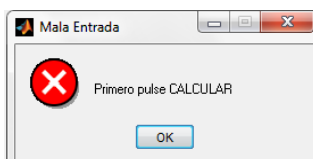
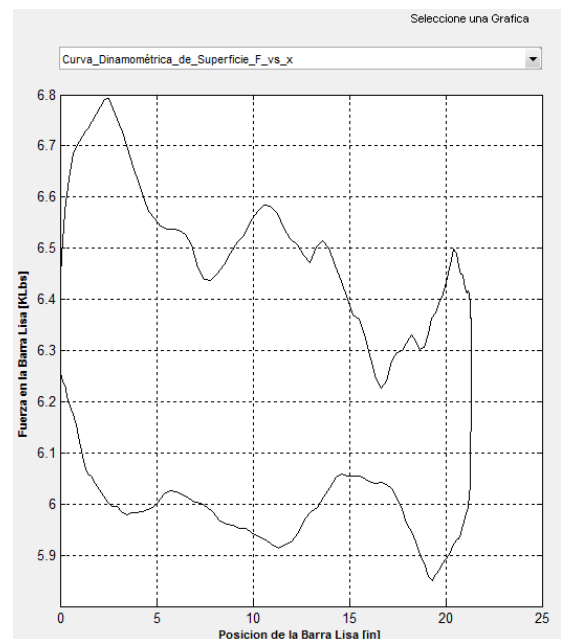
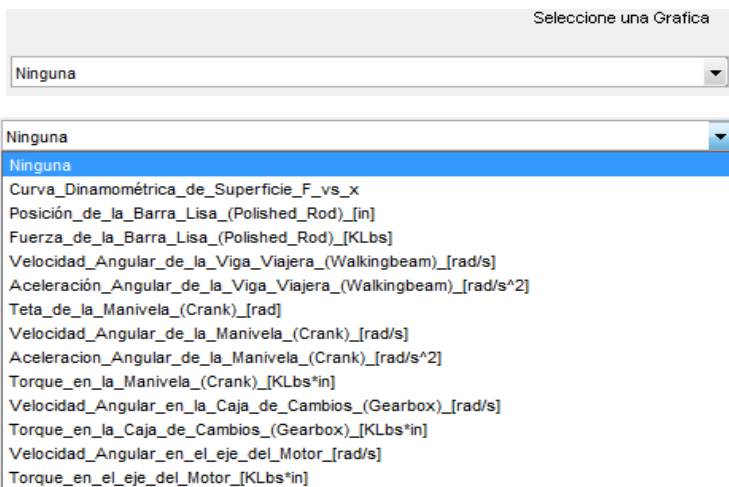
En el caso de ingresarse un contrapeso incorrecto saldrá un mensaje de error que indica: "Ingrese otro Contrapeso", en este caso deberá regresarse a la pestaña entrada de datos e ingresar un contrapeso correcto, y luego volver a pulsar el botón calcular.



En el caso de que se desee cambiar cualquier dato en particular no es necesario ingresar todos los datos de nuevo, solo el dato que se quiera cambiar.

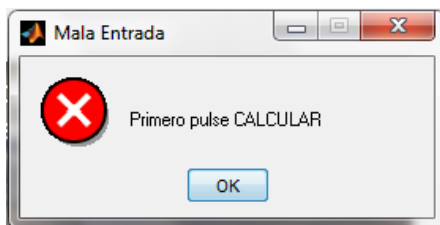
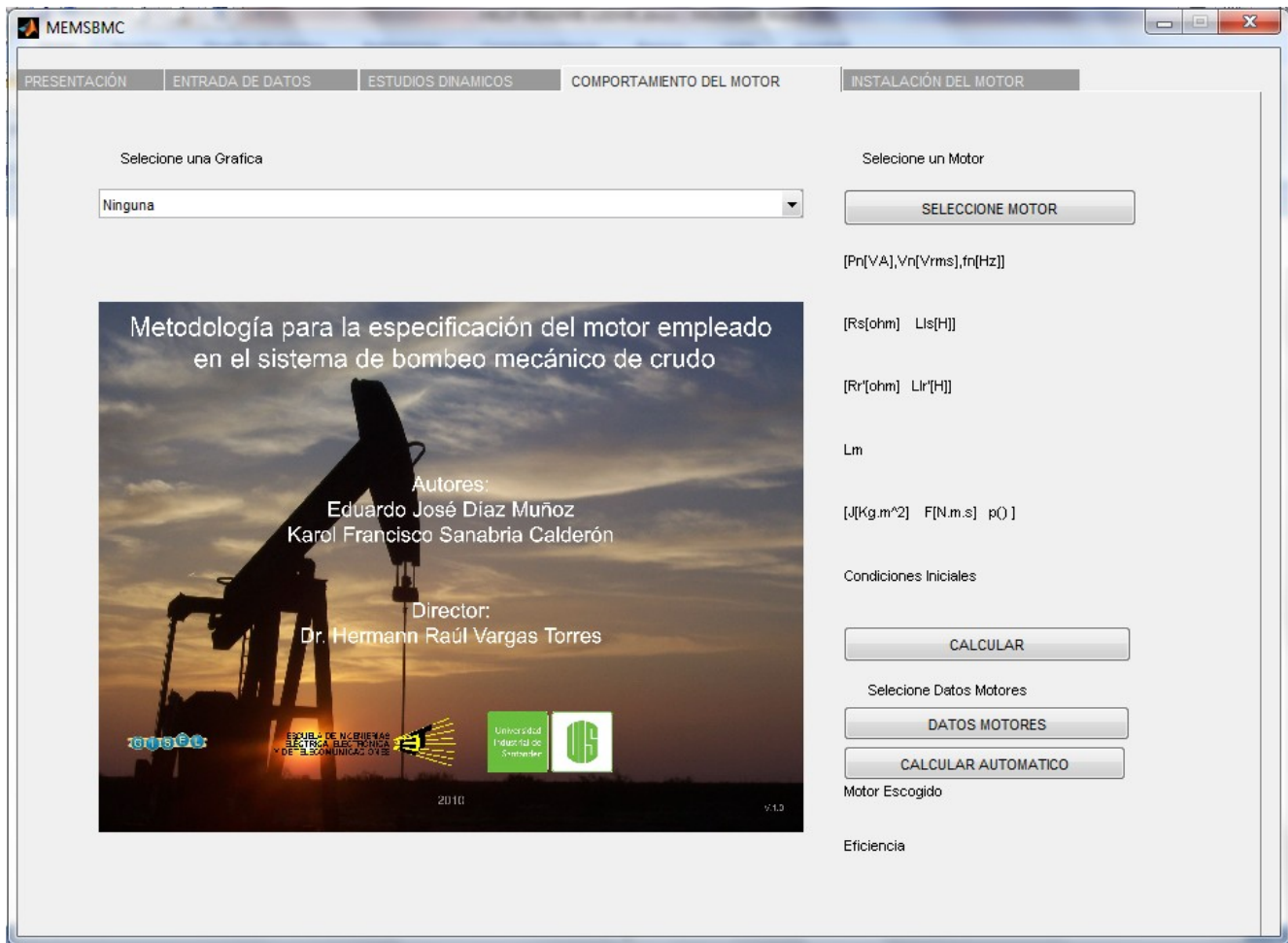
Una vez se hayan realizado los cálculos con éxito, podrán verse los resultados y las graficas correspondientes.

Para ver las graficas que interesan, solo debe escoger de la lista del popupmenu, arriba de la grafica, en el caso de seleccionar ninguna aparecerá la grafica de presentación.



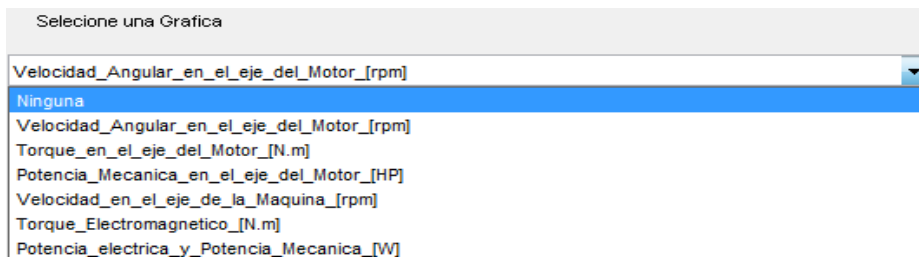
Este mensaje aparece al intentar ver una grafica antes de calcular.

4. Comportamiento del Motor.



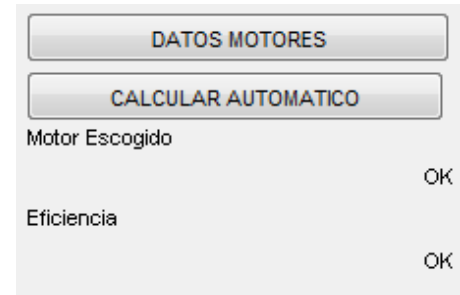
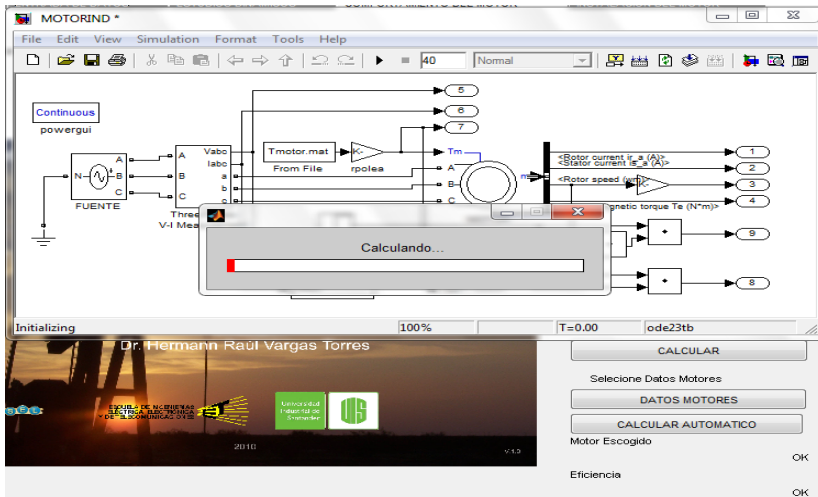
Esta ventana se divide en tres secciones: graficas (Seleccione una grafica), calculo de un motor (Seleccione un Motor), calculo de varios motores (Seleccione Datos Motores).

Graficas: Para ver una grafica primero tienes que haber pulsado CALCULAR y CALCULAR AUTOMATICO; de lo contrario aparece un mensaje de error que te dice que primero pulses calcular. Una vez hechos los cálculos podrás desplegar el popupmenu y ver las graficas.



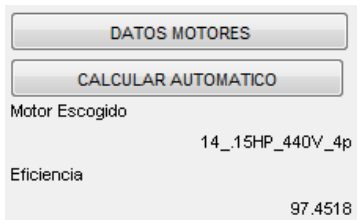
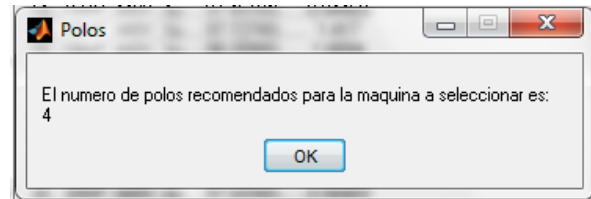
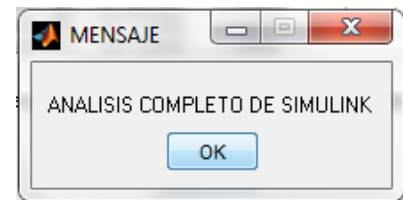
Para trabajar correctamente en esta pestaña lo primero que debes hacer escoger una base de datos de motores (DATOS MOTORES) dentro de la carpeta

Motores y sus parámetros, luego pulsa CALCULAR AUTOMATICO, y se abrirá un modelo de simulink junto con una barra de espera que te dará la noción del tiempo que dura el cálculo.

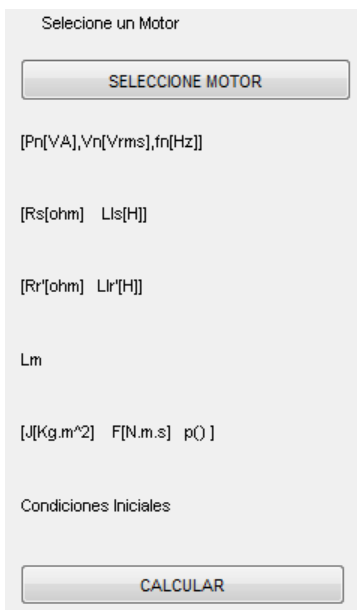


Al ingresar los datos correctamente aparecerá un OK como se ve en la figura, en caso contrario aparecerán dos líneas.

Una vez terminado el cálculo automático aparecerá el mensaje ANÁLISIS COMPLETO DE SIMULINK, acto seguido, aparecerán dos mensajes, uno mostrara, el numero de polos recomendado y el otro todas las maquinas que estuvieron del 90 al 99.9% de eficiencia aunque no coincidan con el numero de polos o su potencia sea mayor a la requerida, a su vez en el mismo mensaje aparecerá el radio de la puela inferior que está en el eje del motor y que se debe usar en la vida real para obtener el resultado esperado.



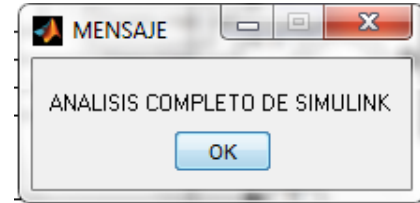
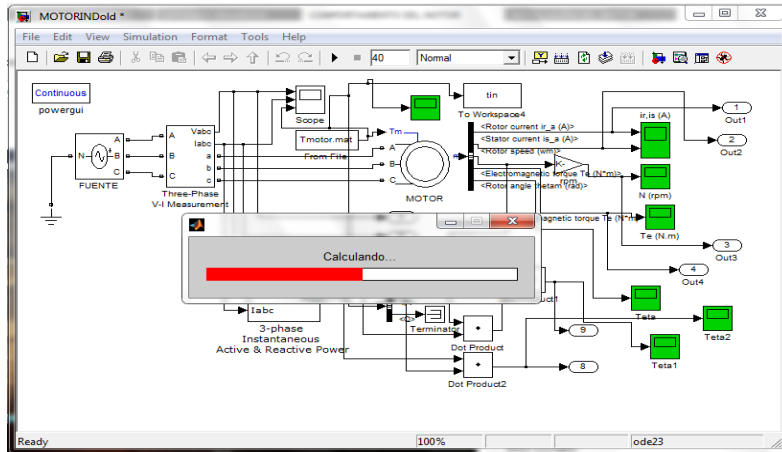
En la interface aparecerá el motor escogido con su eficiencia, como se muestra aquí.



Después de dar OK a los mensajes procedemos a SELECCIONE UN MOTOR, para seleccionar el motor que se nos fue sugerido en motor escogido o el que se quiere dependiendo de la lista que aparece. Luego de escoger el motor a correr se pulsa CALCULAR, y sale un modelo en simulink, así como una barra de espera hasta que se termina el cálculo y aparece un mensaje de dialogo que dice ANÁLISIS COMPLETO DE



SIMULINK, inmediatamente podemos comenzar a ver las graficas.



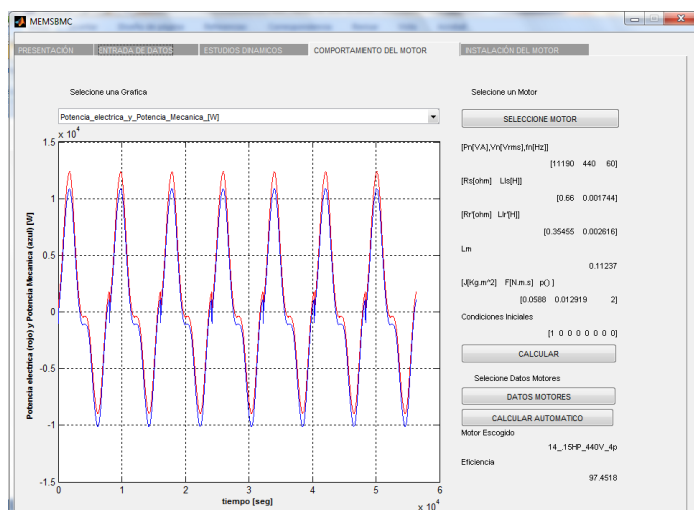
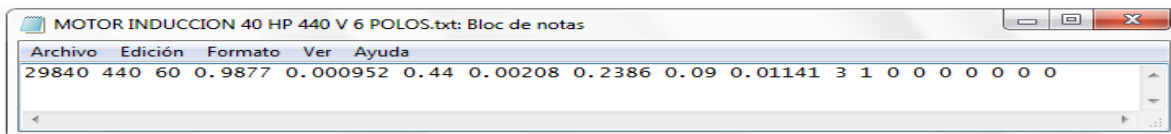
Quando los datos del botón SELECCIONE MOTOR se ingresaron exitosamente aparecerán los parámetros del motor, en otro caso líneas.

Usted puede agregar su propio motor. Primero busque la carpeta base de datos y luego motores y sus parámetros, cree un nuevo txt con el nombre del motor a ingresar de manera similar a los que aparecen en la carpeta, el archivo txt debe tener una configuración como la que se ve en la imagen donde sus columnas son respectivamente: Pn (VA), Vn(Vrms), fn(Hz), Rs(ohm), Lls(H), Rr'(ohm), Llr'(H), Lm, J(Kg*m²), F(N*m*s), pares de polos, Condiciones iniciales= slip, th, ias, ibs, ics, phaseas, phasebs, phasecs.

En el caso de tener una base de datos de varios motores se mantiene el formato mostrado en la figura pero con un numero de regiones igual al número de motores que desees usar.

Seleccione un Motor

Pn[VA],Vn[Vrms],fn[Hz]	[11190 440 60]
[Rs[ohm] Lls[H]]	[0.66 0.001744]
[Rr'[ohm] Llr'[H]]	[0.35455 0.002616]
Lm	0.11237
[J[Kg.m ²] F[N.m.s] p()]	[0.0588 0.012919 2]
Condiciones Iniciales	[1 0 0 0 0 0 0]



5. Instalación del Motor.

MEMSBMC

PRESENTACIÓN | ENTRADA DE DATOS | ESTUDIOS DINAMICOS | COMPORTAMIENTO DEL MOTOR | **INSTALACIÓN DEL MOTOR**

220 VOLTS [AGREGAR] POTENCIA DEL MOTOR [HP] 15 **440 VOLTS** [AGREGAR]

BASE DE DATOS DE MOTORES DE 220 V BASE DE DATOS DE MOTORES DE 440 V

220 VOLTS		440 VOLTS	
CORRIENTE A PLENA CARGA (NEC) [A]	40	CORRIENTE A PLENA CARGA (NEC) [A]	20
TAMAÑO MINIMO DE CONDUCTOR DE CU	R, RW, RU, RUW, T, TW, CALIBRE 6 RH, RH-RW (SECO), RHW, THWN CALIBRE 6	TAMAÑO MINIMO DE CONDUCTOR DE CU	R, RW, RU, RUW, T, TW, CALIBRE 10 RH, RH-RW (SECO), RHW, THWN CALIBRE 10
INTERRUPTOR AUTOMÁTICO	CAPACIDAD RECOMENDADA [A] 70 TIPO INDUSTRIAL CAJA NEMA 1A CAT. NO. { FA 32070 G, KA -- G, LA -- G	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO TERMOMAGNETICO	CAPACIDAD RECOMENDADA [A] 40 TIPO INDUSTRIAL CAJA NEMA 1A CAT. N. { FAB 34040 G, KAB -- G, LAB -- G
INTERRUPTOR DE SEGURIDAD	SERVICIO PESADO - NEMA 1 CAT. NO. H323 CON FUSIBLE NEC STANDARD [A] 100 SERVICIO PESADO - NEMA 1 CAT. NO. H322 CON FUSIBLE TEMPORIZADO DE DOBLE ELEMENTO [A] 60	INTERRUPTOR DE SEGURIDAD	SERVICIO PESADO - NEMA 1 CAT. NO. H362 CON FUSIBLE NEC STANDARD [A] 50 SERVICIO PESADO - NEMA 1 CAT. NO. H361 CON FUSIBLE TEMPORIZADO DE DOBLE ELEMENTO [A] 30
ARRANCADOR MAGNETICO	A TENSION COMPLETA NEMA 1 CLASE 8536 TIPO DG-1 CON ELEMENTOS TÉRMICOS DE SOBRECARGA NO. B50. A TENSION COMPLETA NEMA 1 CLASE 8536 TIPO DAG-1 CON ELEMENTOS BIMETÁLICOS DE SOBRECARGA NO. AR55	ARRANCADOR MAGNETICO	A TENSION COMPLETA NEMA 1 CLASE 8536 TIPO DG-1 CON ELEMENTOS TÉRMICOS DE SOBRECARGA NO. B25. A TENSION COMPLETA NEMA 1 CLASE 8536 TIPO DAG1 CON ELEMENTOS BIMETÁLICOS DE SOBRECARGA NO. AR27.

DATOS PARA CONDUCTOR Y TUBO [AGREGAR CONDUCTOR]

CALIBRE DEL CONDUCTOR AWG o MCM 10

3 CONDUCTORES MAXIMO		CAPACIDAD DEL CONDUCTOR	
R, RW, RU, RUW, T, TW	[A]	30	
RH, RH-RW (SECO), RHW, THWN	[A]	30	
DIAMETRO DEL TUBO	[in]	3/4	
CAÍDA DE TENSION POR AMPERIO POR 100 PIES (30,48 METROS) F.P. 80%	1 FASE [v/A/in]	.1961	
	3 FASES [v/A/in]	.1677	

Esta es la quinta pestaña del programa y tiene como objetivo dar la instalación del motor, esta funciona agregando los datos del motor y del conductor, para después seleccionar de los popuemenus la potencia del motor que se calculó, y el calibre de alambre que se desee utilizar, inmediatamente, aparecerá la información correspondiente en pantalla.

En el caso de pedir la información para un motor sin antes haber agregado la información de los motores, aparecerá un error.

