



Revista Arbitrada Venezolana
del Núcleo Costa Oriental del Lago



mpacto *Científico*

Universidad del Zulia

Diciembre 2019
Vol. 14 N° 2

ppi 201502ZU4641
Esta publicación científica en formato digital
es continuidad de la revista impresa
Depósito Legal: pp 200602ZU2811 / ISSN:1856-5042
ISSN Electrónico: 2542-3207

 **Impacto Científico**

**Revista Arbitrada Venezolana
del Núcleo LUZ-Costa Oriental del Lago**

Vol. 14. N°2. Diciembre 2019. pp.282-298

Programa computacional para el diseño de sistemas de bombeo mecánico en pozos de petróleo

*Ronny Chirinos, Andreína Rodríguez,
Roger Chirinos, Juan Silva e Ybis Chirinos*
Universidad del Zulia. Núcleo Costa Oriental del Lago. Venezuela
ronnychirinos@gmail.com

Resumen

El propósito de este artículo es presentar el desarrollo de un programa computacional para el diseño de sistemas de bombeo mecánico en pozos de petróleo, a ser utilizado por estudiantes del Programa de Ingeniería de Petróleo del Núcleo Costa Oriental del Lago de la Universidad del Zulia en la Unidad Curricular Producción de Hidrocarburos y profesionales de la industria petrolera. La investigación se catalogó como proyectiva, regida por un diseño de campo, transversal y no experimental, con una población de 45 estudiantes. El programa computacional se elaboró siguiendo la metodología propuesta por Logreira y Martínez (1997), la cual es un eclecticismo entre los modelos de Castro y Blum, que consta de ocho fases principales: planeación, análisis, diseño educativo, diseño interactivo, producción, pruebas, documentación y edición, que permitirá a los usuarios, obtener una visión real sobre los diseños de los sistemas de bombeo mecánico, bajo el método API RP-11L, ayudándolos en la toma de decisiones, a través de una herramienta interactiva de fácil manejo, que reduce el tiempo de cálculo para la obtención de una data rápida, precisa y con un grado de incertidumbre bajo. Asimismo de contar con un recurso para futuras invenciones, con equipos de trabajo mucho más versátiles.

Palabras clave: Programa computacional, diseño de sistemas de bombeo mecánico, pozos de petróleo

Computer program for the design of mechanical pumping systems in oil wells

Abstract

The purpose of this article is to present the development of a computer program for the design of mechanical pumping systems in oil wells, to be used by students of the Petroleum Engineering Program from LUZ Costa Oriental del Lago in the Curricular Unit Production of Hydrocarbons and professionals of the oil industry. The research was classified as projective, governed by a field design, transversal and non-experimental, with a population of 45 students. The computer program was developed following the methodology proposed by Logreira and Martínez (1997), which is an eclecticism between the Castro and Blum models, which consists of eight main phases: planning, analysis, educational design, interactive design, production, testing, documentation and editing, which will allow users to obtain a real vision about the designs of the mechanical pumping systems, under the API RP-11L method, helping them in decision-making, through an easy-to-use interactive tool, that reduces the calculation time to obtain fast, accurate data with a low degree of uncertainty. Also to have a resource for future inventions, with much more versatile work teams.

Keywords: Computer program, design of mechanical pumping systems, oil wells

Introducción

La declinación de la presión de los yacimientos ha obligado a la industria petrolera a la implementación de sistemas de levantamiento artificial, con el propósito de que los fluidos aportados por el yacimiento puedan ser levantados hasta la superficie. Entre los métodos de levantamiento artificial se tienen: el bombeo electrosumergible, la inyección continua e intermitente de gas, el bombeo mecánico (comúnmente conocido como el balancín), bombeo de cavidades progresivas, bombeo hidráulico, entre otros; métodos que consideran las características del yacimiento y del pozo.

Los métodos de levantamiento artificial son utilizados en un alto porcentaje en todo el mundo, con el propósito de mantener y/o extender la fase de extracción de crudo en los pozos de producción. Razón por la cual, la elección del método de levantamiento tiene una considerable influencia en la eficiencia de extracción del crudo y rentabilidad de las operaciones de producción.

La selección de un método de levantamiento conlleva a una extensa labor para los ingenieros, que implica la escogencia más precisa del mismo, a partir de la información

existente y la tecnología disponible a su alcance. En Venezuela, la mayoría de los yacimientos han sido explotados, con crudos de distinta viscosidad y alta declinación de presión; por lo que se hace necesario, la implementación de métodos de producción, que permitan llevar el crudo a la superficie (Arredondo y col., 2003).

De ahí que para realizar su diseño, se hace necesario aplicar una serie de pasos, que involucran cálculos y la interpretación de gráficos, requiriéndose el empleo de una gran cantidad de tiempo. Por lo que se hace necesario el uso de programas computarizados, que garanticen una operación eficiente y segura, para así obtener resultados confiables.

Por lo antes expuesto, se propone el desarrollo de un programa computacional para el diseño de un sistema de bombeo mecánico en pozos de petróleo, que permita a los usuarios tener una visión real de lo que se maneja en el ámbito laboral, ayudando en la tomas de decisiones, brindando una herramienta de fácil manejo, que reduce el tiempo de cálculo para la obtención de una data rápida, precisa y bajo nivel de incertidumbre. Asimismo de contar con un recurso para futuras invenciones con equipos de trabajo mucho más versátiles.

El programa se diseñó bajo la metodología propuesta por Logreira y Martínez (1997) que consta de ocho fases principales a saber: planeación, análisis, diseño educativo, diseño interactivo, producción, pruebas, documentación y edición. Recurso que podrá emplearse como complemento y apoyo de una clase magistral en la unidad curricular Producción de los Hidrocarburos del Programa de Ingeniería de Petróleo del Núcleo Costa Oriental del Lago de la Universidad del Zulia o cualquier usuario de la industria petrolera en general.

Fundamentación teórica Programas computacionales (SOFTWARE)

Para Galvis (2000) el término software representa el soporte lógico correspondiente a programas en español aplicables a toda colección de instrucciones; que sirven para que el computador cumpla una función o realice una tarea. Encargados de exhibir alguna información, de manera sencilla, interactuando con el usuario a través de preguntas o resolución de problemas, empleando recursos multimedia apropiados.

Asimismo destaca, que no basta tener un computador con un programa que cumpla las características antes mencionadas, pues a su juicio, se necesita que alguien pueda aprovechar tal potencial, es decir, no se trata sólo de programar una secuencia de operaciones en la máquina, sino también, de programar una serie de actividades que sean valiosas y conduzcan al logro de objetivos valederos.

De ahí que deba considerarse, no solo la información presentada en el computador al ritmo del usuario, entregar animaciones a todo color y/o con efectos sonoros, sino

pueda utilizarse como herramientas de reorientación en alguna clase o fuera de ella, donde se respete la individualidad y flexibilidad al emplear estos programas en grupos de usuarios con diferente nivel de aprendizaje, pues debe tener la posibilidad de avanzar a su propio nivel de conocimiento, de manera individual y tomando el tiempo que considere necesario para su aprendizaje.

En la presente investigación se diseñó un prototipo bajo la modalidad de tutorial - interactivo, por ser un producto que presenta información sobre una temática específica, en este particular sobre el diseño de sistemas de bombeos mecánico en pozos de petróleo, en la cual, la herramienta interactúa con el usuario en forma de diálogo, estableciendo una retroalimentación, que motiva el aprendizaje de la temática seleccionada.

Sistemas de bombeo mecánico

El bombeo mecánico es un método de producción primaria, que permite la elevación artificial del fluido que se encuentra en un pozo y que por falta de energía no puede surgir a la superficie. Su principal aplicación, es la producción de crudos pesados y extra pesados, aunque también puede usarse en la de crudos medianos y livianos; restringiéndose su uso en pozos desviados, ni cuando la producción de sólidos y/o la relación gas-líquido son muy altas, pues afectan considerablemente la eficiencia de la bomba (González y col., 2016)

En este orden de ideas un sistema de bombeo mecánico, como método de producción, se caracteriza por el uso de una unidad de bombeo para transmitir movimiento a la bomba de subsuelo a través de una serie de cabillas y mediante la energía suministrada por un motor. Emplea una bomba reciprocante de desplazamiento positivo en el fondo del pozo para elevar la presión de fluido y enviarlo a la superficie.

La bomba de subsuelo está compuesta por el barril, pistón, válvula fija y viajera. Para que ocurra la acción de bombeo, el pistón realiza un movimiento reciprocante dentro del barril, mientras que las válvulas fija y viajera (válvulas de no retorno, de bola y asiento) solo permiten el flujo en la dirección al cabezal, cuyo volumen encerrado entre estas dos válvulas constituye la cámara de bombeo.

Cuando el pistón asciende, la válvula viajera se cierra y la fija se abre, permitiendo la entrada de fluido hacia la cámara de bombeo. Cuando el pistón desciende, se cierra la válvula fija y se abre la válvula viajera, lo cual permite la salida del fluido de la cámara de bombeo hacia la descarga de la bomba.

La bomba de subsuelo es accionada por una sarta de cabillas que transmite el movimiento reciprocante desde la superficie hasta la bomba en el extremo superior de la sarta de cabillas donde se encuentra la barra pulida, la cual se encarga de garantizar un buen sello en la prensa-estopas colocado sobre el cabezal, minimizando la fuga

de fluidos de producción. La barra pulida es accionada por el elevador colocado en el cabezote del balancín de superficie.

El balancín es un conjunto de elementos mecánicos que se encargan de transformar el movimiento giratorio de un motor, generalmente eléctrico, en movimiento reciprocante. Debido a que el número de carreras por minutos requeridos a nivel del sistema de bombeo es relativamente bajo, es necesario colocar una caja reductora entre el motor y el balancín (figura 1)

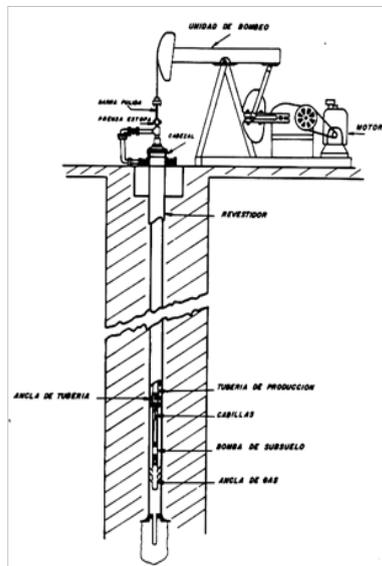


Figura 1. Sistema de levantamiento artificial por bombeo mecánico

Fuente: González y col. (2016)

Para el diseño de una instalación de bombeo mecánico es indispensable predecir los requerimientos de cargas, potencias y contrabalace, así como también, las relaciones de esfuerzo, torques y tasas de producción. Una vez que estos parámetros son conocidos, el equipo apropiado puede ser seleccionado para cumplir los requerimientos establecidos.

Hasta la década de los 50, los métodos de diseño de sistemas de bombes eran empíricos, siendo el sobreviviente de estas viejas técnicas el Método de Mill. Posteriormente, se desarrollaron las “Prácticas Recomendadas 11L” de la API, hasta lograr métodos más exactos como el Método de la Ecuación de Onda. Sin embargo, desde su aparición en 1967 el API RP-11L se ha convertido en el método de diseño más popular, a pesar de sus limitaciones por las suposiciones realizadas al momento de su desarrollo (CIED, 2002)

El método API RP-11L se basa en el uso del computador para simular las condiciones de bombeo, para posteriormente generar las CARTAS DINAGRÁFICAS de fondo y de superficie. Las simulaciones se realizan bajo las siguientes consideraciones:

- Llenado completo de la bomba de subsuelo (sin interferencia de gas o golpe de fluido)
- Cabillas de acero (con diseño API)
- Unidades de bombeo de geometría convencional.
- Poco deslizamiento del motor.
- Unidad perfectamente balanceada.
- No debe existir grandes efectos de fricción o aceleración de fluidos.
- No hay efectos por aceleración del fluido.
- Tubería de producción anclada.
- Profundidades mayores a 2000 pies.

Los datos obtenidos de las cartas dinagráficas calculadas, se utilizaron para desarrollar curvas adimensionales y luego fueron validadas con un gran número de casos de diseño práctico. De ahí, que la base del método API sea la similitud en la forma de las cartas dinagráficas y los factores adimensionales de velocidad y estiramiento de cabillas.

Los resultados de las cartas simuladas fueron correlacionados en términos de relaciones (cantidades adimensionales) y presentadas en forma gráficas, los cuales pueden ser extrapolados a una gran variedad de pozos con diferentes profundidades, diámetro de bombas, velocidades de bombeo y diseño de cabillas.

El método API RP 11L fue desarrollado asumiendo o considerando una unidad de geometría “promedio” que fuese cercano al de una unidad de bombeo convencional. Sin embargo, se han realizado modificaciones usando valores empíricos que corrigen el API RP11L para unidades Mark II, Balanceadas por aire y de geometría mejorada, como Baker Torqmaster, Reverse Mark II de Lufkin y American Producer II.

Cabe destacar, que no existen correcciones para otras geometrías de unidades de bombeo como unidades hidráulicas, unidades mecánicas de carrera larga, tampoco se aplica para cabillas de fibra de vidrio, ni para sistemas con golpe de fluido o interferencia por gas.

Por otra parte, el método API RP 11L solo estima o calcula el efecto de contrabalance para condiciones de balance y no puede usarse para estimar el efecto de una unidad fuera de balance en las cargas de la caja de engranaje.

Para evitar las limitaciones del API RP 11L y de otros métodos, se han empleado modernas técnicas de diseño a través de modelos de computación exactos del sistema

de bombeo por cabillas. Estos modelos simulan el comportamiento del sistema de bombeo y pronostican su comportamiento con exactitud, empleando la ecuación de onda, la cual permite la simulación del comportamiento de la sarta de cabillas. De igual manera, se han empleado modelos matemáticos de unidades de bombeo que permiten simular cualquier geometría de unidad (CIED, 2002)

Metodología

La investigación se tipificó como proyectiva, regida por un diseño de campo, utilizando como marco poblacional los estudiantes del Programa de Ingeniería de Petróleo del Núcleo Costa Oriental del Lago de la Universidad del Zulia cursantes de la unidad curricular Producción de los Hidrocarburos; transeccional ya que se llevó a cabo en un periodo de tiempo determinado y no experimental, pues no se requirió manipular la variable objeto de estudio.

Población y muestra

La población estuvo conformada por 45 estudiantes del Programa de Ingeniería de Petróleo del Núcleo Costa Oriental del Lago de la Universidad del Zulia, que cursaron la Unidad Curricular Producción de los Hidrocarburos. Como muestra de estudio se utilizó la totalidad de la población, por ser de fácil acceso y manejo para los investigadores.

Resultados de la investigación

El programa computacional creado para el diseño de sistema de bombeo mecánico en pozos de petróleo, es una herramienta con características estructurales y funcionales, donde se integran elementos multimedia e hipermedia (texto, sonidos, imágenes, videos, animaciones e hipertextos), que permiten la navegación e interactividad a través del mismo, bajo la modalidad de tutorial interactivo. Para su diseño se siguió la metodología propuesta por Logreira y Martínez (1997), la cual es un eclecticismo entre los modelos de Castro y Blum, que consta de ocho fases principales: planeación, análisis, diseño educativo, diseño interactivo, producción, pruebas, documentación y edición, las cuales se describen a continuación:

Fase I. Planeación: Esta fase se inició con la aplicación de un cuestionario a los estudiantes cursantes de la Unidad Curricular Producción de Hidrocarburos, con el propósito de detectar las dificultades que presentan en el diseño de los sistemas de

bombeo mecánico, para posteriormente interpretar los resultados, y determinar los aspectos a desarrollar en el programa computacional.

Esta tarea permitió detectar cuáles son las necesidades de los potenciales usuarios y ofrecer mejoras al proceso de asimilación de las ecuaciones y gráficos utilizados en el diseño de los sistemas de bombeo mecánico, de manera de lograr un aprendizaje significativo, apoyados en el uso del computador.

Posteriormente, fue necesario conformar un equipo de trabajo, integrado por un ingeniero en computación, un diseñador gráfico, un especialista en pedagogía y los autores de la investigación (especialistas en contenido), quienes posteriormente elaboraron un plan de actividades de acuerdo con la metodología de diseño seleccionada (cuadro 1).

Fase II. Análisis: Previo al diseño e implementación del programa computacional para el diseño de sistema de bombeo mecánico, se llevó a cabo un estudio de las características del usuario, contenido a presentar en el software; también se definió la plataforma de trabajo (estructura hardware y software) y se determinó la factibilidad de realización del programa computacional, desde el punto de vista económico, técnico y operacional. A continuación se describen cada una de estas subfase:

Auditorio: El programa computacional está dirigido a los estudiantes del Programa de Ingeniería de Petróleo del Núcleo Costa Oriental del Lago de la Universidad del Zulia, con edades comprendidas entre 19 y 25 años, cursantes de Unidad Curricular Producción de los Hidrocarburos; sin embargo, por las características del mismo, puede ser usado por cualquier estudiante o persona que desee obtener información sobre su contenido, pues la herramienta se desarrolla bajo un ambiente amigable, atractivo y motivador.

Ambiente: El programa computacional está diseñado para funcionar bajo el sistema operativo Windows XP Profesional, en ambientes de computadoras personales CD-ROM. Se desarrolló bajo el lenguaje de Visual Basic, por ser una herramienta con capacidades interactivas y multimedia, que permite generar ejecutables que incorporan todo tipo de archivos multimedia como: texto, imagen, sonido, videos y animaciones.

Contenido: En esta subfase se recopiló y examinó la información a presentar programa computacional, organizándola secuencialmente en función de los objetivos propuestos en cada uno de los módulos que contiene el mismo. En este sentido, se seleccionó los datos requeridos y tablas para realizar el diseño de bombeo mecánico, bajo el Diseño API RP11L. Asimismo, se incluyó las correlaciones de Darcy y Vogel, para el cálculo del índice de productividad; información que permitirá generar las gráficas de oferta y demanda de los pozos en estudio.

Factibilidad: El diseño del programa computacional se sustenta en un estudio de viabilidad que se realizó tomando en consideración aspectos, económicos, técnicos y operativos.

Cuadro 1. Plan de actividades para el desarrollo del programa computacional para el diseño de sistema de bombeo mecánico en pozos de petróleo

| ACTIVIDAD | DURACIÓN (DIAS) |
|---|------------------------|
| FASE I. PLANEACIÓN | |
| A. Conformación del equipo de trabajo | 5 |
| B. Elaboración del plan de actividades | 5 |
| FASE II. ANÁLISIS | |
| C. Análisis del auditorio | 10 |
| D. Análisis del ambiente | 10 |
| E. Análisis del contenido | 15 |
| F. Estudio de factibilidad económica, técnica, operativa. | 30 |
| FASE III. DISEÑO EDUCATIVO | |
| G. Elaboración de objetivos | 5 |
| H. Diseño del contenido | 20 |
| I. Aplicación de técnicas de aprendizaje | 15 |
| J. Elaboración del plan instruccional | 15 |
| FASE IV. DISEÑO INTERACTIVO | |
| K. Establecimiento de requerimientos funcionales | 15 |
| L. Diseño de interfase | 20 |
| M. Diseño de mapas de navegación | 20 |
| N. Elaboración de guiones de producción | 30 |
| FASE V. PRODUCCIÓN | |
| O. Creación de archivos de video, sonido, animación, texto e imágenes | 30 |
| P. Vinculación de los archivos con el lenguaje de autoría | 20 |
| FASE VI. PRUEBAS | |
| Q. Realización de pruebas alfa y beta | 15 |
| FASE VII. DOCUMENTACIÓN | |
| R. Elaboración de manual de usuario | 5 |
| S. Elaboración del manual de sistema | 5 |
| FASE VIII. EDICIÓN | |
| T. Grabación de CD master y copias | 3 |
| U. Impresión de manuales | 5 |

Fuente: Los autores (2018)

Con relación a la factibilidad económica, para el diseño programa computacional se realizó un estudio de análisis costo-beneficio, el cual permitió identificar y medir los costos de desarrollo y operación, además de los beneficios que obtiene el usuario. En este sentido, las características de los equipos utilizados en el desarrollo y producción del programa computacional son:

Hardware:

- Dos (2) computadores con monitor a color (al menos de 14 pulgadas), Procesador Intel Core i3-3110, con velocidad de procesamiento de 2.6 Ghz, 2.0 Gb de RAM 1 Gb de video, unidad lectura-escritura de CD de 8x12x32x, Kit multimedia completo. Es de señalar, que uno de los computadores se utilizó para el diseño gráfico y el otro en la producción del producto.
- Periféricos para digitalizar videos (a color, 30 cuadros por segundo), audio (estéreo, a 11 Khz de frecuencia de muestreo) e imágenes estáticas y animadas (a color, resolución de 300 dpi)

Software:

- Sistema operativo para administrar los recursos: Windows XP profesional.
- Programas para retocar información digitalizada y crear ilustraciones: Macromedia Freehand 10.0. y Adobe Photoshop 7.0
- Programa para desarrollar animaciones: Macromedia Fash MX
- Programa Visual Basic.
- Por otra parte, para ejecutar el software se requiere de:
- Un (1) computador Pentium III o superior, con monitor a color de al menos catorce pulgadas.
- Procesador de 64 bits, velocidad de procesamiento de 2.6 Ghz, 1020 Mb de memoria RAM, 128 Mb de Video.
- Unidad de lectura de CD de 52x, kit multimedia completo.

Para el desarrollo del programa computacional, los investigadores cuentan con un procesador con las características antes descritas y para la corrida del programa computacional, la institución dispone con áreas dotadas para la aplicación del mismo, por lo que no se requiere realizar una inversión en la adquisición de equipos para el

diseño y producción del software, por lo que se garantiza la viabilidad del producto en el aspecto económico.

En lo referido a la viabilidad operativa, el proyecto es factible por que se cuenta con un equipo de trabajo (descrito en la fase de planeación) con las competencias requeridas para el desarrollo del programa computacional y técnicamente el Programa de Ingeniería del Núcleo Costa Oriental del Lago de la Universidad del Zulia dispone de una sala de computación con la plataforma tecnológica necesaria para su implantación.

Fase III. Diseño educativo: En esta etapa se estructuró los contenidos que se presentarán en el software, de manera de lograr los objetivos de aprendizaje trazados y que ayudará al diseño de las pantallas, con las que el usuario interactuará con el sistema. Para ello, fue necesario definir las estrategias y recursos instruccionales, además de las estrategias de autoevaluación.

Estrategias instruccionales: Las estrategias empleadas en el programa computacional influyen en el procesamiento, almacenamiento, recuperación y aplicación de conocimientos y destrezas en un sentido amplio. Concretamente, ejercen influencia sobre la atención, el registro de estímulos, las funciones de la memoria activa (memoria de trabajo) y la memoria permanente.

En este sentido, las estrategias seleccionadas son las de procesamiento, ya que permiten al usuario, un proceso de captación e ingreso de nueva información, destrezas mentales y un exitoso almacenamiento en la memoria permanente. Para ello, se aplicaron los eventos de Gagné (citado por Galvis, 2000), tal como se describen a continuación:

La aplicación se inicia con la presentación de una animación, que contiene elementos relacionados con el área de estudio, todo ello para promover el interés y motivación del usuario. Posteriormente, se le informa al usuario el propósito del programa y se le invita a conocer su contenido.

El evento sucesivo es la aprehensión, la cual se logra con la incorporación de imágenes e iconos que sirven de botones para acceder al contenido en forma independiente, incorporados tanto en el menú principal, como en los submenús de cada módulo contentivo en el programa computacional, lo que facilita al usuario en la construcción de su aprendizaje.

Con relación al evento adquisición, se suministra al usuario, esquemas de codificación; para ello, la información en los módulos se presenta en forma sencilla y estructurada, haciendo uso de: imágenes, cuadros de textos, videos e hipertextos, que permite una mejor comprensión de los contenidos.

El aprendizaje en este programa computacional, satisface una serie de condiciones: que el alumno sea capaz de relacionar, de manera no arbitraria y sustancial, la nueva información con los conocimientos, experiencias previas que posee en su estructura de conocimientos y que tiene la disposición de aprender significativamente, ya que los

materiales y contenidos de aprendizaje tienen significado lógico, logrado por medio de las claves que se le proporcionan en el programa que activan el recuerdo.

Por otro lado, por medio de los organizadores de ideas y eventos presentados en el programa computacional se promueve la generalización, la cual es una estrategia destinada a crear y potenciar enlaces adecuados entre los conocimientos previos y la nueva información, asegurando mayor significado de los aprendizajes.

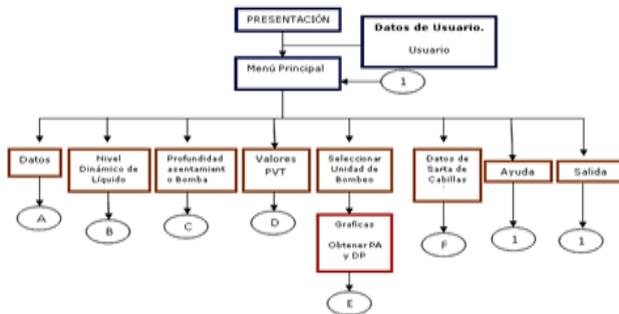
Finalmente, para comprobar si el proceso de aprendizaje se cumplió, en el evento realización se exponen actividades autorreguladoras, con las cuales el usuario trabaja en forma reflexiva comprobando su conocimiento y desempeño. En este sentido, la intervención del usuario en el desarrollo de estas actividades, es retroalimentada, es decir, se le informa de su actuación en forma inmediata, a través de mensajes positivos emitidos por el programa, aun cuando sus respuestas a las actividades no sean las adecuadas, sugiriéndole que revise el contenido.

Recursos instruccionales: Para lograr la armonía entre los elementos que integran el programa computacional, la función educativa que se desea alcanzar y el impacto en el usuario, se utilizaron animaciones, imágenes, símbolos, textos, hipertextos y sonidos, éstos despiertan la atención del usuario hacia los aspectos más relevantes.

Estrategias de autoevaluación: Las actividades autorreguladoras que se presentan en el programa computacional, tienen como propósito que el usuario se haga conjeturas, de manera objetiva, respecto a lo que sabe y hasta qué punto sus esfuerzos van bien encaminados o han sido efectivos en el logro de los objetivos planteados. No se suministra valoración numérica o porcentual, pues es una autoevaluación encargada de orientar al usuario acerca de sus potencialidades y limitaciones, de manera que obtenga elementos que le ayuden a decidir acerca de sus necesidades.

Fase IV. Diseño interactivo: En esta fase de la metodología, se estableció el diseño de la interfaz de navegación, el cual se realizó de acuerdo con las sugerencias realizadas por los expertos en el área de informática educativa. Inicialmente, se integró el contenido conforme a los propósitos del programa computacional y luego, se diseñaron los aspectos algorítmicos y estructurales que definen la estructura compuesta de navegación, que permite al usuario la libertad para escoger su ruta de navegación lineal o no lineal a través de él, ya que cada unidad de información es independiente una de la otra. La estructura puede apreciarse en los mapas de navegación.

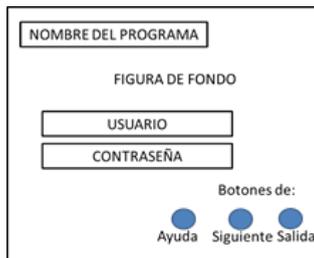
En la gráfica 1, se presenta la estructura principal del programa computacional, conformada por la pantalla de presentación, la cual tiene acceso a las diferentes ventanas de entrada dependiendo de los datos para el diseño de bombeo mecánico en pozos de petróleo; adicionalmente, posee botones de ayuda y salida.



Gráfica 1. Diseño de mapa de navegación principal.

Fuente: Los autores (2018)

Una vez realizados los mapas de navegación, se procedió a efectuar el diseño de pantallas del programa computacional para el diseño de los sistemas de bombeo mecánico para pozos petroleros. La pantalla de presentación se observa en la gráfica 2



Gráfica 2. Diseño de pantalla de presentación

Fuente: Los autores (2018)

La pantalla de presentación del menú principal, está conformada por la identificación del programa, usuario y contraseña, tres botones de acceso (ayuda, siguiente y salida) en la parte inferior derecha, de igual manera se refleja en la parte central, una figura alusiva a la temática.

La sub-fase anterior sirvió de base para definir la estructura interna que tiene el programa computacional para el diseño de sistemas de bombeo mecánico, por lo que seguidamente se procedió a la elaboración de los guiones de producción, con la finalidad de establecer el funcionamiento y la interfaz gráfica del mismo.

En los guiones de producción, se conjugan diferentes medios como texto, hipertexto, sonido, imágenes fijas e hipervinculadas y animaciones, todos ellos balanceados de manera que contribuyan a mejorar el aprendizaje del usuario.



Gráfica 3. Guión de producción pantalla menú principal.

Fuente: Los autores (2018)

La pantalla de presentación fue elaborada de manera sencilla, utilizando para ello la imagen de un balancín, para que el usuario se familiarizara con el contenido del programa. En el diseño de la interfaz de comunicación se empleó el programa Freehand 10.0, con efectos en Adobe Photoshop 7.0, el cual sirvió para editar la imagen de fondo.

Fase V. Producción: Para que los guiones de producción tengan “vida”, capturen la acción y atención del usuario, reflejando el estado y contenido del software, es necesario integrar aplicaciones como: graficadores, animadores y diseñadores gráficos, entre otros.

En este sentido, las aplicaciones utilizadas para el diseño de pantallas y edición del contenido fueron las siguientes: Microsoft Word para Windows, Adobe PhotoShop 7.0, Macromedia Freehand 10.0, Macromedia Flash MX y como herramienta principal de autoría se seleccionó *Visual Basic*, por ser una herramienta de gran ayuda, debido a su versatilidad y compatibilidad con las demás aplicaciones señaladas.

Fase VI. Pruebas: Durante esta fase se realizaron dos pruebas: (a) prueba alfa y (b) prueba beta. Con relación a la primera, son evaluaciones realizadas por expertos en computación, al producto final, diseño instruccional y tema que se está tratando, para agregar mejoras propuesta por ellos.

Para ello se seleccionó un grupo de expertos (en contenido, metodología e informática) quienes revisaron el material educativo y dieron sus apreciaciones al grupo de trabajo, en cuanto a modificaciones al producto hasta la etapa de desarrollo, pues el mismo no será implementado a esta fecha.

Las opiniones, sobre el material educativo, analizadas por el grupo de trabajo, se sintetizan a continuación:

- El experto en contenido consideró que el material satisface los requerimientos establecidos.
- El experto en metodología opinó el material provee los elementos necesarios para lograr un aprendizaje significativo.

- El experto en informática destacó que se cumple a cabalidad los siguientes aspectos: (a) funciones de apoyo a los usuarios, (b) estructura lógica del material, (c) interfaz entre usuario y programa, (d) requerimientos del paquete, (e) mantenimiento del paquete, (f) documentación del paquete.

La segunda prueba realizada fue la prueba beta: esta es la valoración operacional del material, aun cuando no se va a implementar, con ella se buscó determinar errores con relación a la conducta de entrada o con el análisis estructural de instrucción, así también detectar fallas en la comunicación textual, grafica, sonora, así como en la presentación del material. La prueba fue ejecutada en presencia del desarrollador del producto con usuarios potenciales quienes interactuaron con el programa.

En forma general, los usuarios coincidieron que el sistema de control, dado por el programa a los usuarios es bueno. Con relación a las instrucciones de uso y ayudas operativas también opinaron eran apropiadas, claras, completas y, sobre todo, oportunas.

Por otro lado, la forma como se llega al contenido es clara, concisa y bien dosificada, por lo que el programa es significativo; los ejemplos son precisos, los mensajes amigables, la interfaz es agradable y consistente, llegándose a la conclusión que el programa computacional para el diseño de sistemas de bombeo mecánico para pozos de petróleo es adecuado para su uso.

Fase VII. Documentación: Al concluir la etapa de diseño y construcción del software, se inicia la fase de documentación, que consiste en la elaboración de los manuales del usuario y del sistema. El primero, es una guía que sumerge al usuario en el entorno del programa, presentando información útil para el correcto uso del software, propiciando una efectiva interrelación entre éste y el sistema. Por su parte, el manual del sistema, contiene información detallada de cómo fue elaborado el programa, especificando los requerimientos mínimos de hardware/software para el correcto desempeño del programa en el ordenador.

Fase VIII. Edición: En esta etapa, se produce una revisión global del sistema, y se graba un disco compacto (CD master). Asimismo, se imprimen los manuales de usuario y sistema, los cuales son revisados previamente por los miembros del equipo de trabajo.

Consideraciones finales

El programa computacional propuesto tiene como tarea principal el diseño de sistemas de bombeo mecánico convencional para pozos de petróleo, de forma óptima, facilitando la toma de decisiones al usuario, con alto grado de certeza, disminuyéndose el tiempo de análisis y costo de operación; producto que analiza de forma detallada, todos los requerimientos y cálculos matemáticos, de acuerdo a lo establecido en el

método API RP 11L. Razón por la cual, la herramienta tecnológica representa una excelente alternativa de orientación al profesional de la ingeniería, pues permite conocer de forma fácil y rápida, no solo, la metodología del diseño de bombeo mecánico en un pozo de petróleo, sino los resultados a obtener, a la hora de la implementación del sistema de levantamiento artificial.

Para el diseño del programa computacional se requirió de un estudio de viabilidad, el cual se inició con la realización de un análisis costo-beneficio de los requerimientos de hardware y software del sistema, además de una evaluación de los equipos, programas y recurso humano necesarios para la ejecución del proyecto, arrojando como resultando la factibilidad de su diseño y construcción desde el punto de vista técnico, económico y operativo

Seguidamente, se conformó un equipo de trabajo quienes fueron los encargados del diseño educativo e interactivo, seleccionando y adaptando el contenido a presentar, además de elaborar los mapas de navegabilidad, interfaz, bocetos, guiones de producción e incorporación de los elementos de multimedia, en la construcción del programa interactivo.

Por último, se determinó la funcionalidad del programa computacional a través de la realización de las pruebas alfa y beta, seleccionándose expertos en contenido, metodología e informática, así como de usuarios potenciales, quedando demostrada la funcionalidad del producto.

Todo ello, se logró a través del cumplimiento de las diferentes etapas de la metodología propuesta por Logreira y Martínez para el diseño de software educativo, referidas a las fases de planeación, análisis, diseño educativo, diseño interactivo, producción, pruebas, documentación y edición.

Referencias bibliográficas

Arredondo, T; Del Hoy, A.; Fuentes, M.; Nava, L.; González, J. y Vargas, E. (2003). Métodos de levantamiento artificial. Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Barcelona, Venezuela (Información en línea) Consulta, junio 2018

Centro Internacional de Educación y Desarrollo (2002). Diseño de instalaciones de levantamiento artificial por bombeo mecánico. Petróleos de Venezuela (PDVSA), Venezuela.

Galvis, A. (2000). Ingeniería de software educativo. Ediciones Uniandes, 2da reimpresión, Bogotá, Colombia.

González, E.; Montaña, J.; Vargas, R.; Segurondo, R. y Cuellar, O. (2016). Levantamiento artificial por bombeo mecánico. Universidad de Aquino Bolivia, Santa Cruz, Bolivia (Información en línea) Consulta, junio 2018

Logreira, C. y Martínez, P. (1997). Taller sobre metodología de producción del software. Universidad Dr. Rafael Beloso Chacín, Maracaibo, Venezuela.