

“Diseño y simulación de una estación para automatizar el proceso de vaciado y llenado con aceite de los módulos de las herramientas de la empresa Schlumberger que operan en el fondo del pozo durante la perforación”

ARTÍCULO DE PROYECTO DE GRADO
(RECIBIDO ING.: MILTON ACOSTA)

Christian Estévez
christian_est@hotmail.com
Irina Garcés
irinat10@hotmail.com

Director: Ing. Carlos Naranjo,
Codirector: Ing. Luis Echeverría

Resumen

El presente proyecto define todos los parámetros necesarios para la implementación de la estación cuando la empresa auspiciante lo considere necesario y se demostró su funcionamiento mediante una simulación de sus sistemas.

Mediante un PLC Siemens S7-1215C, se controla todos los elementos eléctricos, electrónicos, mecánicos e hidráulicos que permiten la automatización del proceso de vaciado y llenado, limitando la intervención del técnico al montaje del módulo, iniciación del proceso y desmontaje del módulo.

El PLC y sus accesorios (módulos de expansión y panel de operador HMI), controlan un actuador lineal eléctrico, doce válvulas solenoides y dos bombas que funcionan en conjunto según el procedimiento requerido para cada módulo.

Mediante el panel de operador HMI, botoneras y luces indicadores el técnico que realice el procedimiento tendrá una interacción total con la estación, permitiéndole seleccionar y visualizar los parámetros para cada procedimiento de vaciado y llenado.

La simulación y pruebas realizadas en las estaciones actuales determinaron una reducción de la intervención del técnico en un 88%, tomándole 18 minutos para culminar el proceso de vaciado y llenado de uno de los módulos.

Una simulación asegura un correcto funcionamiento, para la propuesta de implementación mundial, se entregó a la empresa auspiciante todos los documentos necesarios para que al seguirlos se implemente en cualquier taller de mantenimiento.

Palabras Clave

Vacío, Automatización, Schlumberger, Simulación, PLC.

Abstract

The present project defines all the necessary parameters so that the sponsor implements the vacuum fill oil station in the future. The simulation showed the proper functioning of the station's systems.

A Siemens PLC S7-1215C and its accessories (Expansion modules, HMI operator's touch screen) controls all electronic, electric, mechanical and hydraulic components, among these are one linear actuator, twelve solenoid valves, and two pumps (one for the pressuring and the other for the vacuum).

With the help of a HMI, buttons, and indicating lights, the technician carrying out the process will have a complete interaction with the station, allowing him to select and visualize all the parameters within the vacuum fill process.

The simulation and tests done guarantee a correct functioning of the machine that support the proposal for a global implementation of the project.

Keywords

Vacuum, Automation, Schlumberger, Simulation, PLC

I. INTRODUCCIÓN

El actual crecimiento de la industria, y los altos estándares demandados por los clientes; fomentan la estandarización de los procesos así como el mejoramiento de los mismos. Hoy en día, la mejor manera de alcanzar y

superar dichas demandas es automatizando los procesos. La limitación de la interacción hombre-máquina es el efecto inmediato más apreciable proveniente de una automatización de procesos y es la principal razón por la cual Schlumberger vio la necesidad de automatizar el

proceso de vaciado y llenado de los módulos de las herramientas que operan en el fondo del pozo durante la perforación para la extracción de petróleo y gas, cuya explotación está en apogeo en nuestro medio.

La extracción de estos recursos naturales en nuestro país está aumentando notablemente, este crecimiento sumado a la posibilidad de la explotación de campos antes protegidos por el estado Ecuatoriano, han permitido que Schlumberger-Ecuador se separe de México, Colombia, Perú y demás países para establecerse como un solo Geomercado. Esta independización supone un crecimiento y por lo tanto un aumento de actividades que trae consigo una mayor frecuencia con la que se realizan los procesos de vaciado y llenado para cada módulo.

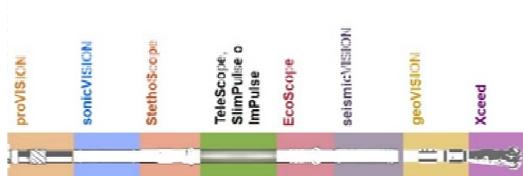
Para suplir con el aumento de la frecuencia, estandarizar los procesos, elevar los niveles de calidad y limitar la intervención del técnico, es que mediante la aplicación de conceptos de ingeniería se define todos los parámetros necesarios para la implementación de la estación de vaciado y llenado.

A. Antecedentes

Schlumberger proporciona la gama más amplia de productos y servicios desde la exploración hasta la producción. Unos de los servicios que la empresa ofrece mediante su segmento D&M (Drilling and Measurements – Mediciones y Taladrado), son la realización de mediciones y el registro de datos durante el taladrado, MWD (Measurements While Drilling) y LWD (Logging While Drilling) respectivamente.

Los servicios avanzados que proporciona la línea LWD son la adquisición de datos de alta calidad para el direccionamiento geológico y evaluación de formación. Los servicios avanzados que proporciona la línea LWD son la adquisición de datos de alta calidad para el direccionamiento geológico y evaluación de formación.

Figura 1. Ubicación de los módulos en una de las herramientas. (Patrick, 2013)



Todos los módulos mecánicos de Schlumberger cuya operación se lleva a cabo en el fondo del pozo son llenados con aceite hidráulico por las siguientes razones:

- Lubricar los componentes móviles dentro de la herramienta.
- Enfriar los componentes internos de la herramienta mediante la disipación del calor generado hacia el lodo que circula alrededor.
- Evitar la invasión de lodo al interior de la herramienta manteniendo una presión positiva.

Los módulos que requieren someterse al proceso de vaciado y llenado son MMA y MTA-BC de la herramienta TeleScope, IPTA de la herramienta ImPulse, CRSPA 6.75 y CRSPA 9.00 ambos de la herramienta Xceed.

B. Procesos Actuales

Los módulos antes nombrados deben ser vaciados antes de empezar el proceso de llenado para asegurar que no existan burbujas de aire en el interior de los mismos, ya que la presencia de burbujas de aire permitirá que el lodo ingrese, causando así fallos en las herramientas.

Figura 2. Invasión de lodo en los módulos (Cortesía de Schlumberger)



La función fundamental de la Estación de Vaciado y Llenado es el intercambio de aceite entre sus recipientes conectados el uno al otro por medio del módulo al cual se lo está sometiendo al proceso de vaciado y llenado; este proceso se da gracias al diferencial de presión generado por la bomba de vacío y la presión del ambiente.

La estación actual mostrada en la figura 3 es la utilizada para el vaciado y llenado de los módulos MMA, MTA e IPTA.

Figura 3. Estación de vaciado y llenado para herramientas TeleScope e ImPulse (Elaboración propia, en base a la foto tomada en la base de Schlumberger-El Coca).



La estación Xceed, a pesar de que el principio de funcionamiento es el mismo que la estación para TeleScope e ImPulse, esta se diferencia debido a que uno de los recipientes está dentro del otro.

Todos los módulos nombrados a los cuales se les realizará el procedimiento utilizan el mismo aceite (Shell OIL 560 Aero Shell)

Se muestra un resumen de todos los parámetros para la realización del procedimiento de vaciado y llenado, en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos para el proceso de vaciado y llenado de los módulos

HERRAMIENTA	MÓDULO	TIEMPO DE CIRCULACIÓN	PRESIÓN FINAL	VOLUMEN MUERTO	VOLUMEN DE	REQUERIMIENTOS DE GIRO
		t[min]	P [psi] ± 5	V _m [cc]	V _p [cc]	a [$^{\circ}$]
TeleScope	MMA	20	30 ± 5	1080	360	N/E (Los operadores lo realizan a 45 $^{\circ}$)
TeleScope	MTA-BC	20	40 ± 5	1400	860	N/E (Los operadores lo realizan a 45 $^{\circ}$)
ImPulse	IPTA	30	22 ± 2	1000	360	27 $^{\circ}$ (Acoples a 3ft de distancia vertical)
Xceed	CRSPA 6.75	40	16 ± 2	2000	700	35 $^{\circ}$ (Acoples a 3ft de distancia vertical)
Xceed	CRSPA 9.00	40	16 ± 2	2000	700	35 $^{\circ}$ (Acoples a 3ft de distancia vertical)

II. DISEÑO

El desarrollo de la EVL propone juntar todos los procesos de vaciado y llenado, de manera que el operador pueda seleccionar mediante un interfaz el proceso que debe seguir la EVL, además la estación guiará al operador a través del proceso mediante avisos.

A. Diseño eléctrico

1) Instrumentación

Medición de presión:

Se requiere medir presión absoluta en 3 puntos distintos del sistema de la EVL, de los cuales 1 punto es en la línea de presurización de la herramienta y los 2 restantes en la parte superior de los recipientes, a continuación se definen las necesidades de medición para cada punto.

- Para el trabajo en vacío se escogió el transductor MMA050V10P4C0T3A5CE, del fabricante OMEGA.
- Para el punto 1 PTD25-20-VH del fabricante ProSense.

Medición de nivel de líquido:

Se requirió medir nivel de líquido en 4 puntos distintos del sistema de la EVL, de los cuales 3 puntos están ubicados en la parte superior de los recipientes, 1 punto está en el barril de aceite, a continuación se define las necesidades de medición para cada punto.

- La instrumentación de los puntos 1, 2 y 3 será la misma, en esta se implementarán transmisores ultrasónicos de nivel, del Fabricante Omega, modelo LVU32.
- Para el punto 4, se seleccionó el sensor Omega LV-120. El cual posee un nivel medio y mínimo.

Medición de posición:

No será necesario instrumentación extra para cubrir esta necesidad puesto que por compatibilidad y funcionalidad se trabajará con un actuador lineal que incorpore un potenciómetro, a continuación se especifican las características técnicas de dicho potenciómetro.

Tabla 2. Dispositivos de mando y señalización para la EVL.

Característica	Especificación
Tipo	Potenciómetro
Resistividad	10k OHM
Número de vueltas	10

2) Salidas

Actuador lineal:

- Se escogió el actuador lineal Thomson, Electrak PPA-DC Actuador, PPA24-58B65-24NPOX con potenciómetro. (Carrera de

Dispositivos de mando y señalización:

- Para la máquina se requirió una torre luminaria, una perilla de encendido y apagado, un botón de reset y

emergencia y fueron posicionados de manera que estén a la vista y de fácil acceso.

3) Control

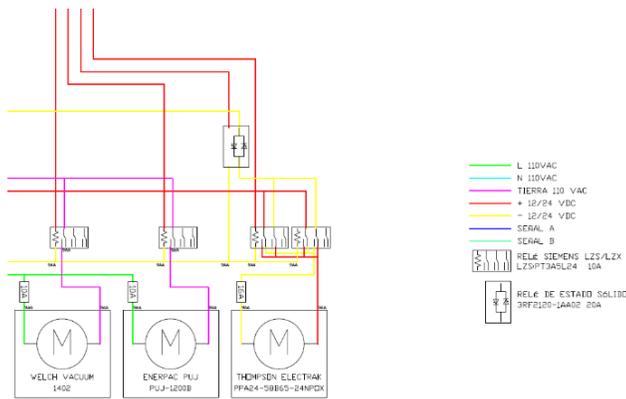
Para la automatización del proceso, se propone el uso de un controlador lógico programable (PLC). Mediante una selección elaborada se propone el uso de un PLC S7-1215 con un módulo de entradas analógicas (SM-1231) y dos de salidas digitales(SM-1222) y HMI K7P600.

4) Conexiones

Relés:

Para lograr el giro del motor horario y anti horaria se propone el siguiente esquema de conexión.

Figura 4. Uso de relés individuales y en paralelo en la EVL, sección del diagrama de eléctrico de conexiones (Elaboración propia).



5) Programa y Software

El programa e interfaz de usuario fueron desarrollados en conjunto mediante el software especializado de SIEMENS, TIA PORTAL V12.

B. Diseño Mecánico

1) Mecanismo de giro.

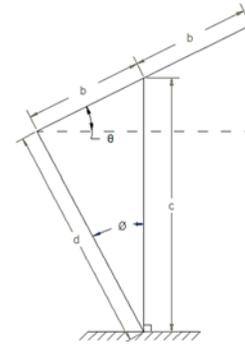
El mecanismo que se seleccionó proporciona un ángulo de barrido amplio, 45° en ambos sentidos. Movimiento suave, sin golpeteo o vibraciones.

Se implementa un actuador lineal con tres puntos de pivotes.

Figura 5. Propuesta del mecanismo de giro del módulo (Elaboración propia).



Figura 6. Propuesta del mecanismo de giro del módulo (Elaboración propia).



Al realizar las restricciones geométricas e implementarlas en las ecuaciones de equilibrio estático se encuentra la fuerza máxima que el actuador lineal ejercerá. Se considera el mecanismo como estático debido a que el actuador lineal tiene velocidades pequeñas constantes¹.

$$b \cdot \cos(\theta) = d \cdot \sin(\phi) \tag{1}$$

$$b \cdot \sin(\theta) + d \cdot \cos(\phi) = c \tag{2}$$

$$\sum M_0 = I_G \cdot \alpha \tag{3}$$

Y al sustituir, se obtiene la función

$$F(\theta) = \left[\frac{a \cdot m \cdot g \cdot \cos(\theta)}{b \cdot \cos \left[\theta - \arccos \left[\frac{c - b \cdot \sin(\theta)}{\sqrt{2 \cdot c \cdot (c - b \cdot \sin(\theta) + b^2 - c^2)}} \right] \right]} \right] \tag{4}$$

Al graficar la ecuación obtenida para el intervalo [-45°,45°], se observa que el actuador logrará una fuerza máxima de 1400N.

C. Diseño hidráulico

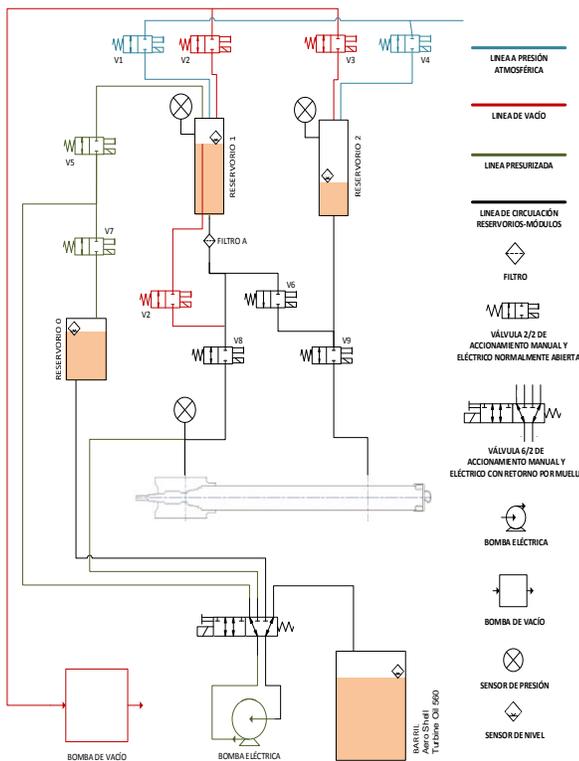
El diseño de la máquina se basó en el esquema de la figura 7, a partir del cual se seleccionaron todos los accesorios y partes.

Por lo que se requerirá una bomba de llenado de caudal

¹ 9.4 mm/s

de 3 l/min y un manejo de presiones de hasta 45 psi. Una bomba de vacío de mayor caudal que las usadas actualmente (25 l/min y 117 l/min), con el objetivo de asegurarse que los sellos no fallen se debe llegar a una presión última igual o menor que las usadas en las estaciones actuales (1×10^{-4} Torr y 1.5×10^{-3} Torr). Además el caudal de aspiración no deberá producir vórtices que faciliten el ingreso de burbujas de aire al módulo. La bomba a utilizarse será la Welch 1402, 1402B-01.

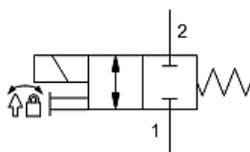
Figura 7. Propuesta del mecanismo de giro del módulo (Elaboración propia).



1) Válvulas.

Las válvulas a usarse deberán ser del tipo normalmente cerradas con retorno mediante resorte, ya que es en esta posición es que pasarán la mayor parte del tiempo y así se alargará la vida útil de mecanismo.

Figura 8. Válvula 2/2 normalmente cerrada con mando manual o eléctrico por un lado y retorno por resorte (Sun Hydraulics, 2013)

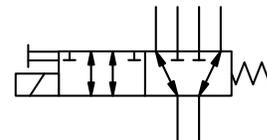


Para las válvulas se seleccionó el fabricante Sunhydraulics, con control tipo D, el cual permite al

operador bloquear por completo el funcionamiento de la válvula, así como mantenerla en su posición des energizada o energizada, esto quiere decir que para la válvula requerida podría dejarla abierta o cerrada.

Al observar las curvas de desempeño y al analizar el esquema hidráulico, se escogió la válvulas 2/2 serie DLDADCN-724 y la válvula 6/2 DNDYS-XN-724 + 991-227

Figura 9. Válvula 6/2 con mando manual o eléctrico por un lado y retorno por resorte por el otro. (Sun Hydraulics, 2013).



D. Diseño Estructural

El bastidor de la EVL consta de 3 partes, el bastidor principal, el bastidor de herramientas y bastidor base; el bastidor de herramientas irá unido mediante soldadura al bastidor principal formando así una sola estructura, y el bastidor base irá unido a la estructura obtenida de la unión anterior mediante una junta empernada a cada lado.

Para el modelado estructural se analizaron todas las fuerzas actuantes en la estación y en todas las piezas a fabricarse, con la ayuda del software ANSYS Workbench.

III. SIMULACIÓN Y MODELADO

A. Determinación de la herramienta para la simulación:

El módulo a usarse en la simulación será el módulo MTA, de la herramienta TeleScope por las siguientes razones:

- Requiere más intervención humana que los demás módulos.
- Es junto al módulo MMA el que mayor ángulo de giro requiere.
- Tiene el mayor volumen y presión de presurización entre todos los módulos

B. Modelado de la estación

Todos los elementos de la EVL estarán ubicados en el interior de la misma, en espacios específicos. Estos estarán separados según el tipo de elemento, así el PLC, módulos de expansión, relés y demás elementos eléctricos estarán ubicados en rieles normalizadas DIN fijadas al bastidor principal de la EVL; las bombas tanto de vacío como de llenado estarán en una sub estructura ubicada en la base del bastidor principal de la EVL; los componentes mecánicos

de la EVL, tales como rodamientos, pines, pasadores, anillos de fijación, sistemas de sujeción, y demás componentes deberán ensamblarse como se especifica en los planos que se les dio a la empresa.

Figura 10. Modelado de la estación, isometría vista frontal (Elaboración propia).

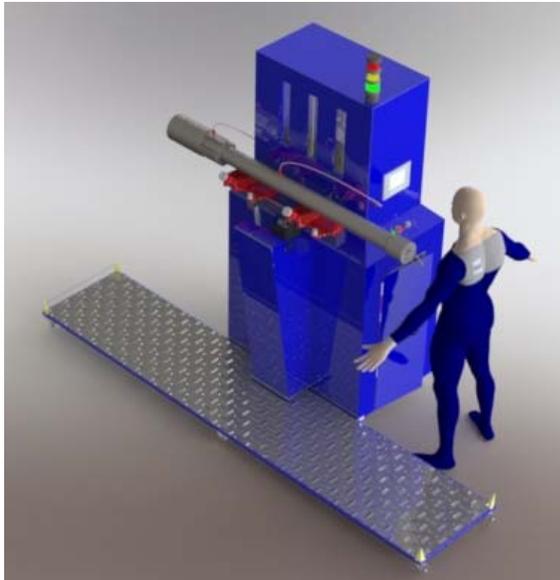
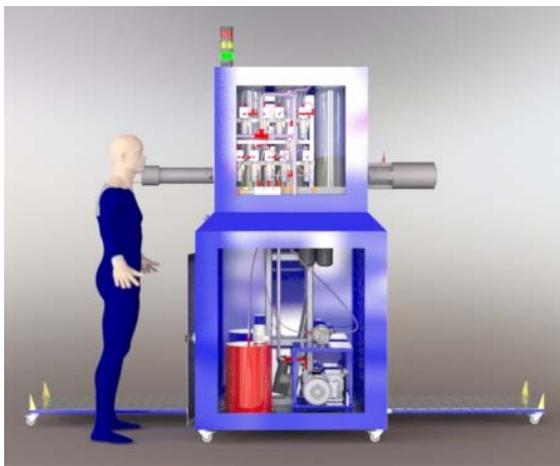


Figura 11. Modelado de la estación, vista trasera (Elaboración propia).



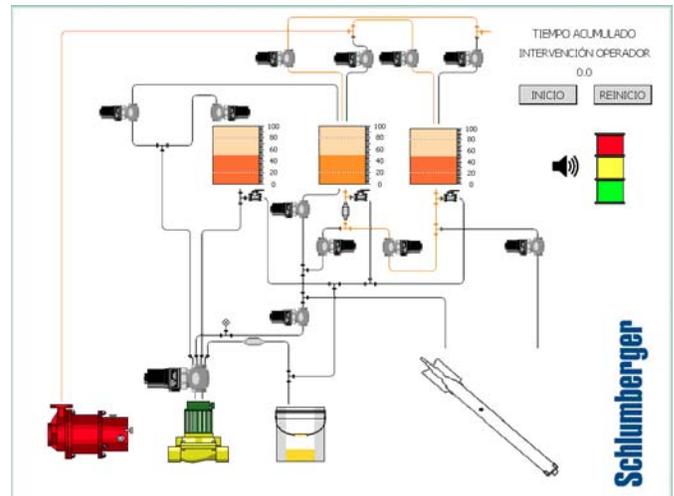
C. Simulación

La simulación se realizó mediante el uso de dos softwares especializados funcionando en conjunto, TIA Portal STEP 7 V12 y SPS SIMU Micro 4.0. Para visualizar la simulación ambos programas deben estar activos en el computador, conectados vía Ethernet al PLC.

En TIA Portal STEP 7 V12 se simularon todos los procesos (vacío, circulación de aceite, presurización y llenado de los recipientes) conjuntamente con todos los actuadores (válvulas, actuador lineal, bombas, sirena y luces indicadoras) así como el estado de los recipientes y del

reservorio principal. En la figura 12 siguiente se muestra la pantalla de la simulación, en la que el módulo y niveles de aceite se moverán para cada proceso; las válvulas, bombas, luces indicadoras y sirena parpadearán cuando se enciendan, bajo el módulo se indicará cuando por acción del actuador y relé esté girando en sentido horario o anti horario y las líneas (hidráulicas, de vacío o de ambiente) se pintarán de distinto color cuando tengan algún fluido en circulación.

Figura 12. Pantalla de la simulación realizada en TIA PORTAL V12 (Elaboración propia).



En SPS SIMU Micro 4.0 se simularon todas las entradas digitales y analógicas, en reemplazo de la presencia física de botones, perillas, sensores, transmisores y transductores; además se ubicó una tabla de estado de las entradas y salidas en la que se denota con el número “0” una entrada o salida apagada y con el número “1” una entrada o salida prendida. En la imagen siguiente se indica la simulación realizada, las entradas digitales se simularon con una perilla y botones y las entradas analógicas con un control tipo barra.

Figura 13. Pantalla de la simulación realizada en SPS VISU Micro 4.0 (Elaboración propia).



Para que puedan funcionar en conjunto los dos programas, se modificó ligeramente el programa principal tanto del PLC como del HMI. Se añadió un nuevo interfaz HMI (TP 1500 Color PN) para visualizar la simulación. Comprobación de resultados

La simulación muestra claramente los procesos llevándose a cabo correctamente así como la limitación de la intervención del técnico, factor incluyente para comprar los resultados del presente proyecto. Además se indica la secuencia de operación a realizarse por parte del operador al someter uno de los módulos al proceso de vaciado y llenado mediante las imágenes del panel de operador (HMI) “Montaje del módulo”, Presurización del módulo” y “Desmontaje del módulo”².

Figura 14. Sección de la pantalla de la simulación para contabilizar el tiempo de intervención del operador en la estación. (Elaboración propia).



En la pantalla de simulación de TIA PORTAL, en la esquina superior derecha se encuentra un cronómetro para contabilizar el tiempo total de la intervención del técnico (tiempo total promedio de 18 minutos). Abajo del tiempo acumulado se encuentran dos botones, el botón izquierdo sirve para iniciar y parar el cronómetro y el botón derecho para reiniciar el cronómetro.

IV. EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA

A. Evaluación económica

Al realizar el análisis de costos de materiales directos, mano de obra directa. Costos indirectos de producción, se evaluaron los ahorros proyectados.

El ahorro más evidente al automatizar el proceso de vaciado y llenado es el relacionado con la limitación de la intervención humana, y puesto que el uso de la EVL no representa mayor gasto que el uso de las estaciones actuales (consumo energético no significativo) el ahorro es neto.

Al disminuir la intervención del técnico al 12% y tomando en cuenta que el costo semanal de la intervención del técnico en el proceso de vaciado y llenado es de 1125\$³, por mes este valor asciende a aproximadamente 4500\$; por lo que al disminuir al 12% la intervención del técnico el costo mensual disminuye 3960\$, este sería el ahorro mensual al usarse la EVL en el proceso de vaciado y llenado

de los módulos de las distintas herramientas. En el gráfico siguiente se diagrama esta diferencia de costos para cada semana, mes y año.

B. Evaluación Financiera

Tomando en cuenta que el costo total de la EVL se desembolsará totalmente al implementarse, y que mensualmente se prevé un ahorro de 3960\$⁴, se calculó la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR=14.02% anual, TMAR=1.17% mensual).

Mediante el software especializado⁵ se obtuvieron los siguientes índices de desempeño:

- TIR: 9%
- VAN: 28946.23\$
- R B/C: 1.83\$
- PERIDO DE REPAGO: 10 meses

Estos índices sugieren que la implementación de la EVL es viable, puesto que por cada dólar invertido se ahorrarán 0.83\$⁶, y la inversión inicial se recupera 10 meses después de implementarse la estación.

V. CONCLUSIONES

Mediante la simulación con software especializado funcionando en conjunto (TIA Portal STEP 7 V12 y SPS-SIMU 4.0 Micro) se visualiza un procedimiento automático de vaciado y llenado en la estación diseñada limitando la intervención del operador al montaje del módulo, iniciación del proceso, y posterior desmontaje del módulo, dicha limitación reduce al 12% (18 minutos) la intervención del operador.

La estación diseñada presurizará el módulo MMA de la herramienta TeleScope a 30±5 psi llenando su reservorio con 360 cc, el módulo MTA de la misma herramienta alcanzará 40±5 psi con 860 cc; el módulo IPTA de la herramienta ImPulse se presurizará a 22±2 psi con 360 cc; y los dos módulos CRSPA 6.75 y CRSPA 9.00 de la herramienta Xceed alcanzarán 16±2 psi con 700 cc.

Con una inversión total de 35002.56\$ se puede implementar la estación que automatice el proceso de vaciado y llenado, que una vez puesta en funcionamiento tiene un periodo de repago de 10 meses.

³ Calculado con el valor medio que brinda un operador a la empresa.

⁵ Microsoft Excel, funciones financieras.

⁶ R C/B=1.83\$

La estación fue diseñada tomando en cuenta todos los requerimientos tanto funcionales así como de ensamblaje y construcción, de tal manera que se garantice su correcto funcionamiento una vez que sea implementada.

La aplicación de software especializado como AutoCad, SolidWorks, ANSYS, MathCad, TIA Portal, SPS-VISU y Microsoft Excel; contribuyeron y facilitaron el diseño y simulación de la estación de vaciado y llenado.

VI. REFERENCIAS

- AD, G. 1. (2010). *Vacuum Fill Procedure PowerDrive Xceed, 6.75 & 9.00 CRS*. Schlumberger Confidential.
- Alonso, J. (8 de Diciembre de 2013). Análisis Financiero EVL. (C. Estévez, Entrevistador)
- Antonio, F. (3 de Marzo de 2014). *Ing. Fernandez Antonio*. Obtenido de <http://www.fernandezantonio.com.ar/documentos%5C017.pdf>
- AUTOMATIONDIRECT. (31 de Agosto de 2013). *AutomationDirect Inc*. Obtenido de http://www.automationdirect.com/ad/Shopping/Catalog/Sensors_z-_Encoders/Pressure_Sensors/Pressure_Transmitters/Ceramic_Sensing_Element_-_M12_Cable_Connection/PTD25-20-VH
- Company, S. S. (2014). *Smalley Steel Ring Company*. Obtenido de Smalley Steel Ring Company: http://www.smalley.com/retaining_rings/about_retaining_rings.asp
- Corporation, A. R. (2013). *Arcon Catalog*. Arcon Ring and Speciality Corporation.
- Corporation, N. B. (2013). *NTN americas*. Obtenido de <http://www.ntnamericas.com/en/products/bearing-search/bearing-search-results/datasheet?pid=70718&cid=BBRNS&ctc=B>
- DC Actuators. (29 de Agosto de 2013). *DC Actuators*. Obtenido de <http://www.dcaactuators.com/?gclid=CKztv5Pmo7kCFcdr7AodJGQAfA>
- Diaz, J. (17 de Febrero de 2014). Costos industriales para la toma de decisiones. Quito, Pichincha, Ecuador.
- DIPAC. (2 de Febrero de 2014). *Dipac Manta*. Obtenido de http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=3701
- Edwards. (5 de Agosto de 2013). *Edwards Vacuum*. Obtenido de http://www.edwardsvacuum.com/Products/76950/overview/Product_Details.aspx
- Ekos. (4 de Agosto de 2013). *Ekos Negocios*. Obtenido de <http://ekosnegocios.com/empleadores/empresas.aspx?idE=29>
- Enerpac. (6 de Agosto de 2013). *Enerpac Data Sheet Center*. Obtenido de <http://www.enerpac.com/en/industrial-tools/hydraulic-pumps-and-valves/electric-hydraulic-pumps/pu-series-hydraulic-economy-electric-pumps>
- Giles, R. V. (2008). *Mecánica de los Fluidos e Hidráulica*. México: McGRAW-HILL.
- GRAINGER. (31 de Agosto de 2013). *Grainger Automation*. Obtenido de <http://www.grainger.com/Grainger/IFM-Pressure-Transmitter-35T575?Pid=search>
- GROUP, W. (2011). *WJB BEARINGS*. Obtenido de <http://www.wjbbearing.com/>
- IMSA-COLSON. (2013). Obtenido de <http://www.imsa-colson.com/es/ruedas.html>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (8 de Abril de 2014). *Ecuador en cifras*. Obtenido de www.ecuadorencifras.gob.ec
- IOCP. (4 de Agosto de 2013). *Integrated Ocean Drilling Program*. Obtenido de http://iodp.ldeo.columbia.edu/TOOLS_LABS/LWD/lwd_elescope.html
- José, A. (1998). *Funciones*. Madrid: CIE Inversiones Dossat.
- M.Stucker. (s.f.). *T&A IPTA-AE, IMPulse Power & Telemetry*. Anadrill / Schlumberger.
- M.Toro. (10 de Noviembre de 2007). *T & A. MTA-XX, PowerPulse Turbine Assembly*. Schlumberger- Sugar Land Product Center (SPC).
- MKS. (31 de Agosto de 2013). *MKS Instrumentation*. Obtenido de <http://www.mksinst.com/product/product.aspx?ProductID=445>
- NTNcorporation. (2007). *Bearing Units. CAT.NO.2400-IX/E*. NTN.
- OMEGA. (13 de Septiembre de 2013). *Omega Measurement & Control*. Obtenido de <http://www.omega.com/subsection/ultrasonic-level-transmitters.html>
- PANDUCTION. (31 de Agosto de 2013). *Panduction Measurement & Control*. Obtenido de <http://www.panduction.com/guides/pressXducers.html>
- Patrick, A. (2 de Febrero de 2013). *TeleScope/PowerPulse course*. Middle East and Asia.
- Piera, L. (2010). *Catálogo Gayner S.A*. Obtenido de http://www.rodaunion.com/descargas/catalogos/pdf/ruedas_y_manutencion/Catalogo_ruedas_GAYNER_2010.pdf
- Power Stream. (6 de Febrero de 2014). *PowerStream*. Obtenido de http://www.powerstream.com/Wire_Size.htm
- ProSense. (1 de Septiembre de 2013). *Automation Direct*. Obtenido de http://www.automationdirect.com/ad/Shopping/Catalog/Sensors_z-_Encoders/Pressure_Sensors/Pressure_Transmitters/Ceramic_Sensing_Element_-_M12_Cable_Connection/PTD25-10-VH
- REMSACR. (16 de Octubre de 2013). *REMSACR ONLINE SHOPPING*. Obtenido de <http://www.remsacr.com/pdf/herramientamano/irimo/Herramienta%20para%20tubo%20cap6.pdf>
- RIDGID. (16 de Octubre de 2013). *RIDGID*. Obtenido de <https://www.rigid.com/us/en/bench-chain-vises>
- S.Hearn. (1994). *T & A MMA-BB Modulator Assembly. S-288216*. Schlumberger-Sugar Land Product Center (SPC).
- Schlumberger. (4 de Agosto de 2013). *SLB*. Obtenido de www.slb.com
- Shell. (19 de Julio de 2013). *Shell*. Obtenido de <http://www.shell.com/am/en/shell/products/aviation/engine-oils/acrosshell-turbine-oil>
- SIEMENS. (27 de Noviembre de 2013). *SIEMENS AUTOMATION*. Obtenido de <http://www.automation.siemens.com>
- Streeter, V. L. (1988). *Mecánica de los Fluidos* (Octava ed.). México: McGRAW-HILL.
- SUMELEC. (20 de Enero de 2014). *SUMELEC CATÁLOGO CAMSCO*. Obtenido de <http://www.sumelec.net/descargas/indice%20por%20productos/32.pdf>
- Sun Hydraulics. (29 de Agosto de 2013). *SUN HYDRAULICS 770-712*. Obtenido de http://www.sunhydraulics.com/cmsnet/Parts.aspx?ModelCode=770-712&CatModelID=&lang_id=1
- Thomson. (14 de Septiembre de 2013). *Thomson Linear*. Obtenido de http://www.thomsonlinear.com/website/com/eng/products/actuators/linear_actuators.php
- Torres, W. (3 de Junio de 2013). *Diseño y Evaluación de Proyectos*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- TRANSDUCERS. (31 de Agosto de 2013). *Transducers Direct*. Obtenido de [http://www.transducersdirect.com/HeleoCart/ProductCategory/Vacuum+Pressure+Transducers\(107\).aspx](http://www.transducersdirect.com/HeleoCart/ProductCategory/Vacuum+Pressure+Transducers(107).aspx)
- WelchVacuum. (19 de Julio de 2013). *Welch*. Obtenido de http://www.welchvacuum.com/products/welch/welch_vacuum_products/laboratory/belt-drive_high/small.jsp