

**OPTIMIZACIÓN DE LA ACTUAL ESTRUCTURA DE MONITOREO Y  
SEGUIMIENTO DE LA PRODUCCIÓN MEDIANTE EL CUARTO INTEGRADO  
DE OPERACIONES (CIO) EN LA CIRA INFANTAS**

**WILLINGTON GELVEZ CELIS**  
**Ingeniero de Petróleos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA  
2017**

**OPTIMIZACIÓN DE LA ACTUAL ESTRUCTURA DE MONITOREO Y  
SEGUIMIENTO DE LA PRODUCCIÓN MEDIANTE EL CUARTO INTEGRADO  
DE OPERACIONES (CIO) EN LA CIRA INFANTAS**

**WILLINGTON GELVEZ CELIS**  
**Ingeniero de Petróleos**

**Trabajo de posgrado para optar al título de  
Especialista en Gerencia de Hidrocarburos**

**Director**  
**FERNANDO ENRIQUE CALVETE GONZALEZ**  
**Ingeniero de Petróleos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS**  
**BUCARAMANGA**  
**2017**

## **DEDICATORIA**

A mis padres quienes han forjado mi alma paso a paso y con dificultad, pero sobretodo con amor

A mis hermanos por ser el apoyo constante, compañeros de alegrías y penas

A Dios por hacerme formar parte de mi familia y darme la oportunidad de formar mi propia familia.

A mi hermosa esposa, por el amor y apoyo constante y por la paciencia infinita.

A mis hijas por ser la alegría de mi vida y la fuente de vida que alimenta mi espíritu.

A todas las personas, compañeros y amigos que han aportado su granito de arena en este largo camino

**Willington Gelvez Celis**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecimiento especial a todos los compañeros que en su momento aportaron con sus ideas y compromiso para optimizar el proceso de seguimiento y control.

Al ingeniero Luis Bernardo Carrera que con su liderazgo apoyo la implementación de los cambios sugeridos para el cuarto integrado de operaciones

Al ingeniero Fernando Calvete, director de ésta monografía.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	15
1. OBJETIVOS	17
1.1 OBJETIVO GENERAL	17
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2. LOCALIZACIÓN Y RESEÑA HISTÓRICA DEL CAMPO LA CIRA–INFANTAS	18
3. AUTOMATIZACIÓN LCI.	21
3.1 SISTEMA DE COMUNICACIONES.	22
3.2 CUARTO INTEGRADO DE CONTROL (CIO).	24
3.3 ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO EN LOWIS.	25
3.4 ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO (PCP) EN ICONICS.	37
3.4.1 POZOS PRODUCTORES.	38
3.4.2 POZOS INYECTORES.	41
3.4.3 FACILIDADES.	43
3.5 BENEFICIOS DE LA AUTOMATIZACIÓN.	45
4. ESQUEMA INICIAL DEL CUARTO DE CONTROL (CIO).	48
4.1. FUNCIONES DEL OPERADOR DEL CIO.	48
4.2 ORGANIGRAMA DEL CIO.	49
4.3 MONITOREO DE ESTACIONES DE RECOLECCIÓN.	50
4.4 MONITOREO DE PLANTAS DE INYECCIÓN.	50

4.5 MONITOREO DE POSOS DE INYECCIÓN.	51
4.6 CASOS DE ESTUDIO.	51
4.6.1 CANALIZACIÓN DEL PRODUCTOR 652	51
5 ESQUEMA IMPLEMENTADO EN EL CUARTO DE CONTROL (CIO)	54
5.1 FUNCIONES DEL TECNICO DE PRODUCCIÓN	55
5.2 FUNCIONES DEL TECNICO DE ESTACIONES E INYECCIÓN	56
5.3. FUNCIONES DEL ANALISTA DE PRODUCCIÓN	57
5.4 LOGICA DE DESVIACIÓN ESTANDAR	57
5.5 ANALISIS ECONOMICO	59
6. CONCLUSIONES.	63
7. RECOMENDACIONES.	64
BIBLIOGRAFÍA	65

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Ubicación del Campo La Cira – Infantas.	19
Figura 2, Distribución en el campo de las antenas repetidoras del Sistema de comunicación de automatización en LCI.	23
Figura 3. Centro de monitoreo remoto o cuarto de control.	24
Figura 4, Well Current Status.	26
Figura 5, Beam Analysis WorkBench.	27
Figura 6, varilla partida.	28
Figura 7, Fuga en válvulas.	28
Figura 8. Pozo con golpe de fluido.	29
Figura 9. Pozo bloqueado por gas.	29
Figura 10. Beam Analysis WorkBench.	30
Figura11. Poner y sacar un pozo de servicio.	30
Figura 12. Beam Well Group Status.	31
Figura 13. Alarmas.	32
Figura 14. BM Reportes.	33
Figura 15. ESP Reportes.	34
Figura 16, Analisis de tendencias.	35
Figura 17. Candidatos a Revisión del Sistema de Levantamiento, “Lift Revision Candidates.	36
Figura 18, Pantalla principal ICONICS.	37
Figura 19, Modulo para productores.	38
Figura 20, PCP.	39
Figura 21, Variables PCP.	40
Figura 22, Visualización de variables.	40
Figura 23, Overview- Pozos Inyectores.	41
Figura 24, Colector de Inyección.	42

Figura 25, Visualización de colector.	42
Figura 26, Facilidades.	43
Figura 27, Estaciones de producción.	43
Figura 28, Planta deshidratadora.	44
Figura 29, Plantas de inyección.	44
Figura 30, Organigrama original.	49
Figura 31, Patrón de Inyección 2892.	52
Figura 32, Comportamiento THP productor.	53
Figura 33. Comportamiento inyector.	53
Figura 34, Organigrama implementado.	55
Figura 35, Esquema de Logica de desviación estandar.	58
Figura 36, Logica de desviación estandar.	59

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1: Balance económico	60
Tabla 2: NPV Optimista 1	61
Tabla 3: NPV Optimista 2	61
Tabla 4: NPV Conservador 1	62
Tabla 5: NPV Conservador 2	62

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Cartas dinamometricas tipo	66

## RESUMEN

**Título:** “OPTIMIZACIÓN DE LA ACTUAL ESTRUCTURA DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA PRODUCCIÓN MEDIANTE EL CUARTO INTEGRADO DE OPERACIONES (CIO) EN LA CIRA INFANTAS”. \*

**Autor:** WILLINGTON GELVEZ CELIS\*\*

**Palabras claves:** Optimización, recursos, automatización, sistemas de bombeo, LOWIS, ICONICS, monitoreo remoto, CIO, producción, Inyección y Estaciones

**Descripción:**

Entre el 2007 y el 2012 se logró consolidar el cuarto de control y monitoreo con un alto porcentaje de cubrimiento de los sistemas de levantamiento instalados, a pesar de la gran inversión en la automatización, monitoreo y control de los parámetros de operación de las estaciones, pozos productores e inyectores, plantas de inyección y tratamiento, el esquema actual de monitoreo no logra aprovechar las virtudes o robustez de los sistemas instalados. En la actualidad se cuenta con sistemas como ICONIS y LOWIS que permiten tener información en tiempo real, información que no está siendo aprovechada en su totalidad y con la cual podrían disminuirse pérdidas de inyección y producción detectando variaciones en el menor tiempo posible y lo que es más importante es que estos sistemas permiten lograr mediante el seguimiento adecuado, la optimización de la producción e inyección del campo

En el desarrollo de este trabajo, se plantean tres objetivos principales, los cuales se enfocan en el uso de los recursos existentes en el CIO, de tal manera que se logre una mayor cobertura del campo, incorporando dentro de las funciones del cuarto de control el seguimiento a plantas y estaciones, al igual que a pozos inyectores, para esto se requiere contar con un técnico adicional (24 horas) que realice estas funciones, otra de las iniciativas implementadas se enfoca en lograr optimizar la producción mediante el correcto monitoreo, configuración y control de las variables operativas de los pozos en producción.

---

\*Monografía.

\*\* Escuela de Ingeniería de Petróleos-Especialización en Grencia de Hidrocarburos. Director: Fernando Enrique Calvete.

## SUMMARY

**Title: “AUTOMATION OF ARTIFICIAL LIFT SYSTEMS ON THE CIRA-INFANTAS OIL FIELD, AS MANAGEMENT AND PRODUCTION OPTIMIZATION.” \***

**Author:** WILLINGTON GELVEZ CELIS\*\*

**Special Words:**

Optimization, resource utilization, automation, systems pumping, LOWIS, ICONICS, remote monitoring, integrated control room, production, injection and Stations.

**Description:**

Between 2007 and 2012 was consolidated the control room and monitoring with a high percentage of coverage lifting systems installed, despite heavy inversion in automation, monitoring and control of operating parameters of the stations, producing wells and injectors, injection and treatment plants, the existing monitoring scheme fails to exploit the virtues or strength of the currently installed system.

Today it has systems as ICONICS and LOWIS that allow real-time information, information that is not being fully utilized and which could be reduced injection and production losses by detecting variations in the shortest time possible, and what is more important is that these systems allow proper monitoring achieved by optimization of production and injection field.

In the development of this work, three main objectives are proposed, which focus on the use of existing resources in the CIO, in such a way as to obtain a greater coverage of the field, incorporating within the functions of the control room the Monitoring of plants and stations, and wells of Water injection, For this, an additional technician (24-hour) is required to perform these functions. Another of the initiatives implemented is focused on optimizing production through the correct monitoring, configuration and control of the operating variables of the wells in production.

---

\*Monografía.

\*\* Escuela de Ingeniería de Petróleos-Especialización en Ingeniería del Gas. Director: Faustino Camargo.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo busca implementar una estrategia que permita ampliar el rango de aplicación del cuarto integrado de operaciones (CIO), brindando un mayor soporte en el monitoreo y control de la producción e inyección, teniendo como principal objetivo la optimización de la producción.

Con el fin de capitalizar las oportunidades de incrementos de la producción, se crea el cargo de analista de producción, que tiene entre sus funciones la de identificar oportunidades de optimización mediante el análisis de tendencias como respuesta al recobro secundario mediante inyección de agua y así mismo reducir las fallas mediante este mismo análisis de tendencias.

Actualmente como soporte de los operadores de estaciones se cuenta con personal en sitio, que brinda asistencia en cada una de las tres estaciones principales, este soporte será ssutituido por un técnico de plantas y estaciones que desde el CIO, podrá hacer seguimiento a las estaciones y brindar soporte a los operadores de estaciones.

Se implementará el seguimiento de las variables de operación de los pozos inyectoros, logrando tener en tiempo real medidas de presión y caudal que permitan dar seguimiento a la inyección del campo, logrando así una mejor administración del yacimiento y adicionalmente se disminuirá la inversión en el seguimiento que actualmente se hace mediante un contrato de medición.

Para poder dar continuidad a las iniciativas de monitoreo y automatización, es indispensable garantizar el mantenimiento periódico de la instrumentación instalada al igual que se debe asegurar y fortalecer las competencias del personal que hace parte del CIO.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Implementar una estrategia que permita optimizar el uso de los recursos existentes en el cuarto integrado de operaciones (CIO) para el monitoreo y control de la producción e inyección del campo la Cira Infantas

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar una estrategia que apalanque la optimización de la producción mediante el uso de las herramientas disponibles en el cuarto de control (CIO)
- Realizar el seguimiento a las estaciones de producción del campo desde el cuarto de integrado de operaciones mediante el software ICONICS, prescindiendo del personal de apoyo de las estaciones.
- Implementar el seguimiento a los pozos inyectoros del campo desde el cuarto integrado de control usando el software ICONICS, disminuyendo los recursos presupuestales para la medición de variables de inyección en campo.

## **2. LOCALIZACIÓN Y RESEÑA HISTÓRICA DEL CAMPO LA CIRA – INFANTAS**

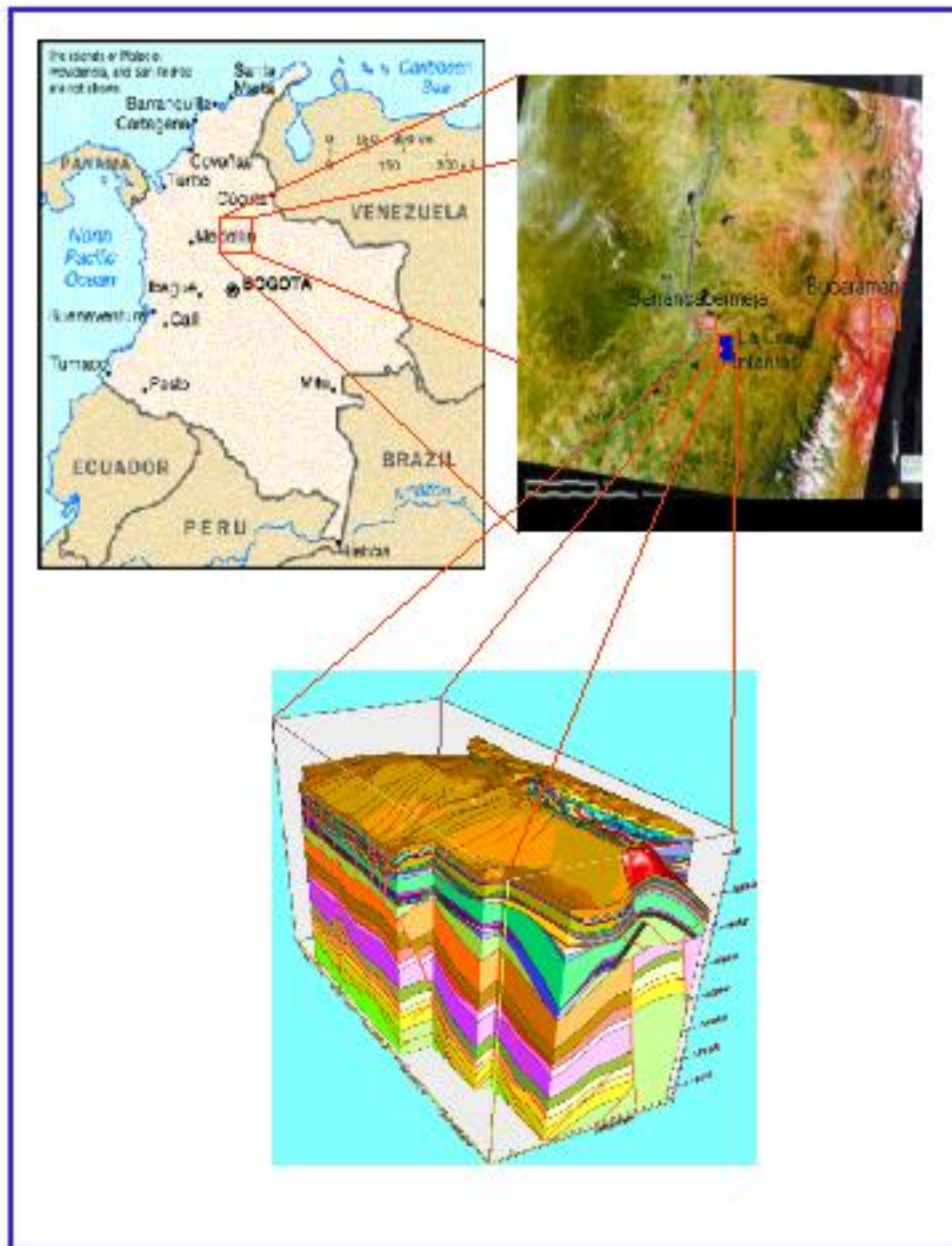
La Cira Infantas, fue protagonista desde el principio. En 1918 se convirtió en el primer campo petrolero del país con el pozo descubridor Infantas II (perforado al tiempo que Infantas I y III, pero con la producción más temprana). En aquel entonces, su operación estaba en manos de la empresa estadounidense Tropical Oil Company, conocida como la Troco. Ver figura 1.

La producción más alta de su historia, que ahora representa más que un reto, la alcanzó 32 años después: llegó a los 64.971 barriles de petróleo por día (bpd) en 1939. Y fue solo desde 1951 cuando Ecopetrol asumió la responsabilidad de operarlo.

A mediados de 2003, ya casi en la producción más baja de su historia, Ecopetrol decidió plantear en este campo un negocio de producción incremental y firmar una alianza para invertir en esa propuesta de recuperación y crecimiento.

Finalmente se aceptó la propuesta de Occidental Andina, empresa de gran experiencia en operaciones de campos maduros. El contrato de colaboración empresarial para la explotación del campo fue firmado con la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) el 6 de septiembre de 2005.

Figura 1. Ubicación del Campo La Cira – Infantas



Fuente: Archivo técnico Ecopetrol

Desde entonces, esta alianza se ha convertido en un éxito en la búsqueda de aportar en los incrementos de producción a los que les ha apuntado en los últimos años el país, este proyecto se desarrolla, en el corregimiento El Centro, a 22 kilómetros de Barrancabermeja, el puerto petrolero sobre el río Magdalena, este es considerado el campo más extenso 100% Ecopetrol. Tiene 160 kilómetros cuadrados y 31 veredas de área de influencia directa.

En septiembre de 2005, el campo producía tan solo 5 mil barriles de petróleo equivalente por día (kBPED). En contraste, cuando culminó la fase III del contrato con Oxy Andina, el 31 de mayo de 2008, la producción superaba los 9 kbped. Esto es, una tasa de incremento de más de mil BPED cada año. Entonces ya se habían perforado 60 pozos y realizado 181 trabajos de reacondicionamiento.

Poco a poco, lo que parecía un largo camino pasó a ser una carrera acelerada de recuperación e incremento de la producción. El 1° de junio de 2008 comenzó la última y actual fase, denominada "de desarrollo".

Al inicio de la alianza, el campo tenía un factor de recobro aproximado del 17%. Desde antes de la alianza, Ecopetrol había desarrollado un proyecto de optimización de la inyección de agua y se decía que el factor de recobro del campo podía llegar a un 35%", ya con la alianza se logró materializar esta meta y de 5 mil barriles en 2005, La Cira-Infantas pasó a producir 41 mil barriles de petróleo diarios, cifra histórica que se dio a principios del 2015.

### 3. AUTOMATIZACIÓN EN LCI

El proceso de Automatización es llevado a cabo mediante cinco pasos:

- Control en sitio por el controlador de bombeo instalado.
- Transmisión de la información de los controladores a los servidores mediante sistema de comunicación.
- Proceso de la información de los controladores en los servidores de automatización,
- Monitoreo y análisis de los sistemas de bombeo en cuarto de control mediante la herramienta LOWIS o ICONICS
- Consulta y análisis de los pozos mediante el acceso remoto a través de internet a la herramienta LOWIS o ICONICS.

Actualmente se están usando dos tipos de controladores en el campo, uno de ellos es el pump off controller, (POC), SAM WELL MANGER, y el otro controlador usado en sistemas de bombeo mecánico es el remote pump off controller (RPC) ePIC, los cuales se describirán a continuación:

**POC SAM Well Manager.** El SAM Well Manager es un dispositivo preprogramado montado en el pozo que recolecta, procesa, almacena y analiza cualquier información analógica obtenida, proveniente de los transductores de posición y carga o información digital obtenida desde las RPM del motor y los sensores del brazo de la manivela. El SAM Well Manager utiliza la información proveniente de estos sensores de entrada al monitor para controlar la operación de la unidad de

bombeo y visualizar la información gráfica sobre una pantalla de LCD o una computadora laptop portátil en un formato fácil de entender.

**Controlador RPC E-PIC2.** El controlador e-PIC al igual que el POC SAM, está diseñado para operar con una unidad de bombeo reciprocante, más conocida como unidad de bombeo mecánico, la función primordial del RPC ePIC es el control de llenado de bomba, el cual se realiza con base en la carta dinagráfica de superficie, ésta es la principal diferencia con el controlador SAM, el cual controla llenado de bomba con base en la carta de fondo la cual es calculada en el mismo controlador usando la ecuación de onda, los beneficios de usar un controlador e-PIC incluyen, ahorros en el consumo de potencia eléctrica, optimización de la producción, reducción de los gastos operacionales, y un apropiado uso del recurso humano.

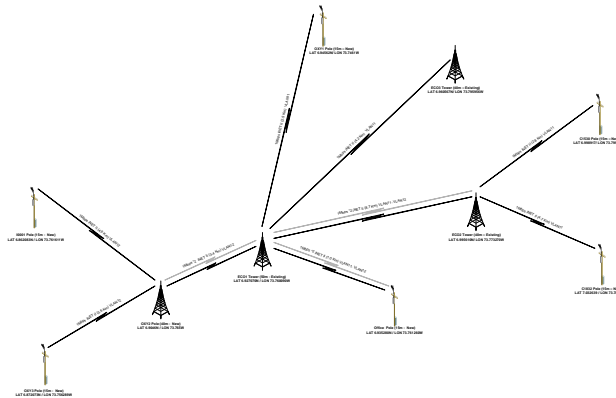
### **3.1 SISTEMA DE COMUNICACIONES**

El sistema de comunicaciones en LCI, es un sistema vía MODBUS, La estructura de comunicaciones diseñada para cubrir las necesidades del campo está compuesta por 10 antenas repetidoras y a las cuales pueden conectarse 250 radios equivalentes a 250 pozos por torre repetidora, en las figuras 2, se muestra una de las antenas instaladas, a través de estas torres es transmitida la información vía inalámbrica de cada uno de los controladores de los diferentes métodos de bombeo artificial (BM, PCP, ESP y ESPCP) y pozos inyectoras, hacia los servidores de Automatización del proyecto LCI, los cuales a su vez cuentan con aplicaciones denominadas servidores OPC que interpretan la información análoga y digital de cada variable de proceso y la suministran a clientes como en nuestro caso a la aplicación LOWIS o ICONICS usadas como estándar de LCI para el análisis de producción, inyección y optimización del campo mediante el cual está disponible el

monitoreo, análisis, control e historización de variables de cada uno de los pozos automatizados.

Hay una antena principal (ECO1) que recibe la información de todas las repetidoras y la envía a un servidor principal de automatización ubicado en un sitio estratégico dentro del campo. Este servidor de automatización cuenta con las aplicaciones de software denominadas servidores OPC (Matrikon for scada Lufkin para pozos con controlador SAM Well manager, Matrikon for scada CAC para pozos con controlador EPIC y Stack Universal Server para pozos PCP, ESP e Inyectores) estas aplicaciones OPC actúan como una interface de interpretación de protocolos, el sistema actualiza automáticamente en los servidores la información de todos los controladores conectados cada 15 min, el cual será el tiempo máximo transcurrido entre la ocurrencia de una falla en campo y su detección en el cuarto de control, sin embargo a través de Lewis, se puede traer la información de uno o de todos los controladores en cualquier momento que sea requerida, ver figura 2.

Figura 2, Distribución en el campo de las antenas repetidoras del Sistema de comunicación de automatización en LCI.



Fuente: Héctor Miguel Quirós Gualteros. Automatización de los Sistemas de levantamiento artificial en el campo la cira-infantas, como administración y optimización de producción.

### **3.2 CUARTO INTEGRADO DE CONTROL (CIO)**

El sistema de automatización cuenta con un cuarto de control o centro de monitoreo remoto, el cual se encuentra ubicado en las oficinas principales de LCI, a través de diferentes software se está monitoreando todos los sistemas automatizados, para el caso de los controladores de bombeo, se utiliza el software LOWIS 5.0 (Life Of Well Information Sistem) y para PCP su usa el software ICONICS, a través de los cuales se realiza análisis en línea, programa revisiones y mantenimiento en sitio, éste cuarto de control tiene un operador las 24 hr del día para monitorear y dar solución a las alarmas que se presenten, éstas alarmas se actualizan automáticamente cada 15 min, sin embargo el usuario puede actualizarlas en tiempo real, Igualmente el sistema de automatización cuenta con una plataforma de red, la cual puede ser consultada por los usuarios desde cualquier sitio que tenga Internet, , ver figura 3

Figura 3, Centro de monitoreo remoto o cuarto de control



Fuente: CIO, Ecopetrol

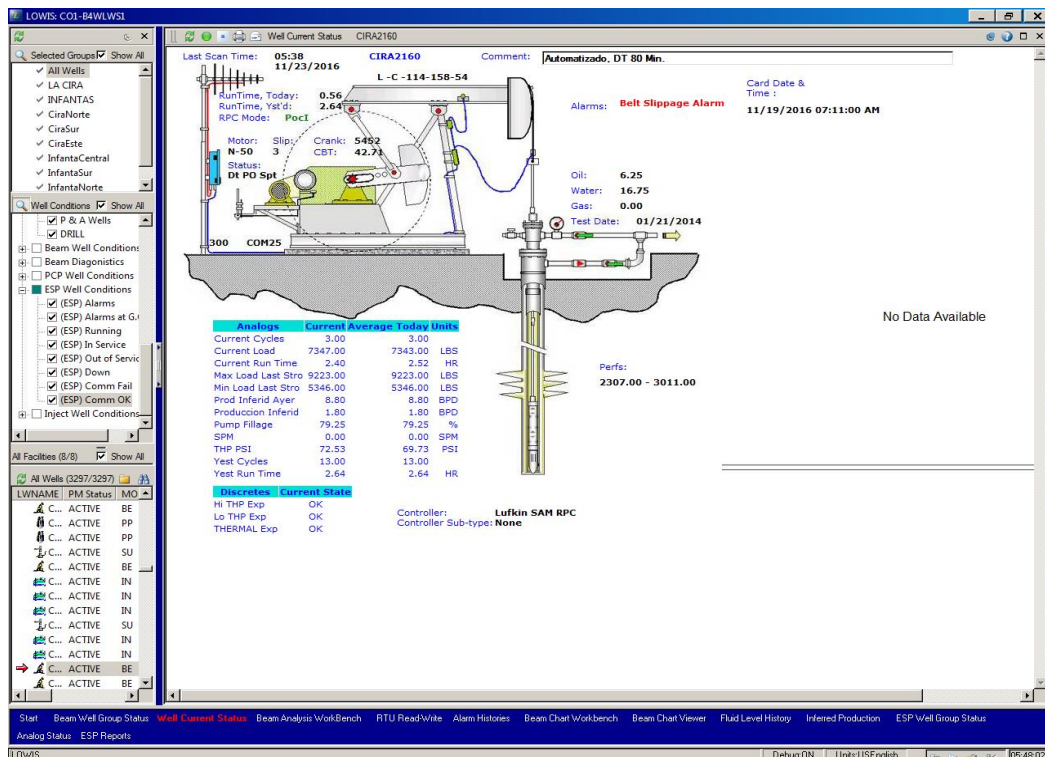
### **3.3 ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO EN LOWIS**

LOWIS 5.0, (Life Of Well Information Software), a través de éste software podrá tener el control de todos los pozos a la vez y en un solo sitio, uno o varios usuarios simultáneamente, ya que existe una plataforma que permite acceder a LOWIS vía internet, por tanto desde cualquier sitio que disponga con conexión a internet, podrá acceder a LOWIS si es un usuario autorizado, LOWIS genera su propia carta de fondo internamente con la ecuación de onda, independiente del controlador en sitio, lo que hace indiferente a un controlador del otro respecto a éste tema y en base a la carta de fondo generada, LOWIS realiza un análisis en la carta que el usuario desee, además LOWIS genera curvas de tendencia e históricos de todas las variables medidas, lo que brinda herramientas muy útiles para el seguimiento y optimización de los sistemas de bombeo en campo, a continuación se nombraran algunas de las funciones de análisis que brinda LOWIS para los sistemas de bombeo:

➤ **Estado actual del pozo**

Se encuentra en la ventana “Well Current Status”, donde se puede ver un solo pozo a la vez, con su última carta Dinamométrica, variables, alarmas, comentarios específicos del pozo, dentro de esta ventana se pueden realizar acciones específicas como: Scan, arranque, parada, entre otras, ver figura 4.

Figura 4, Well Current Status



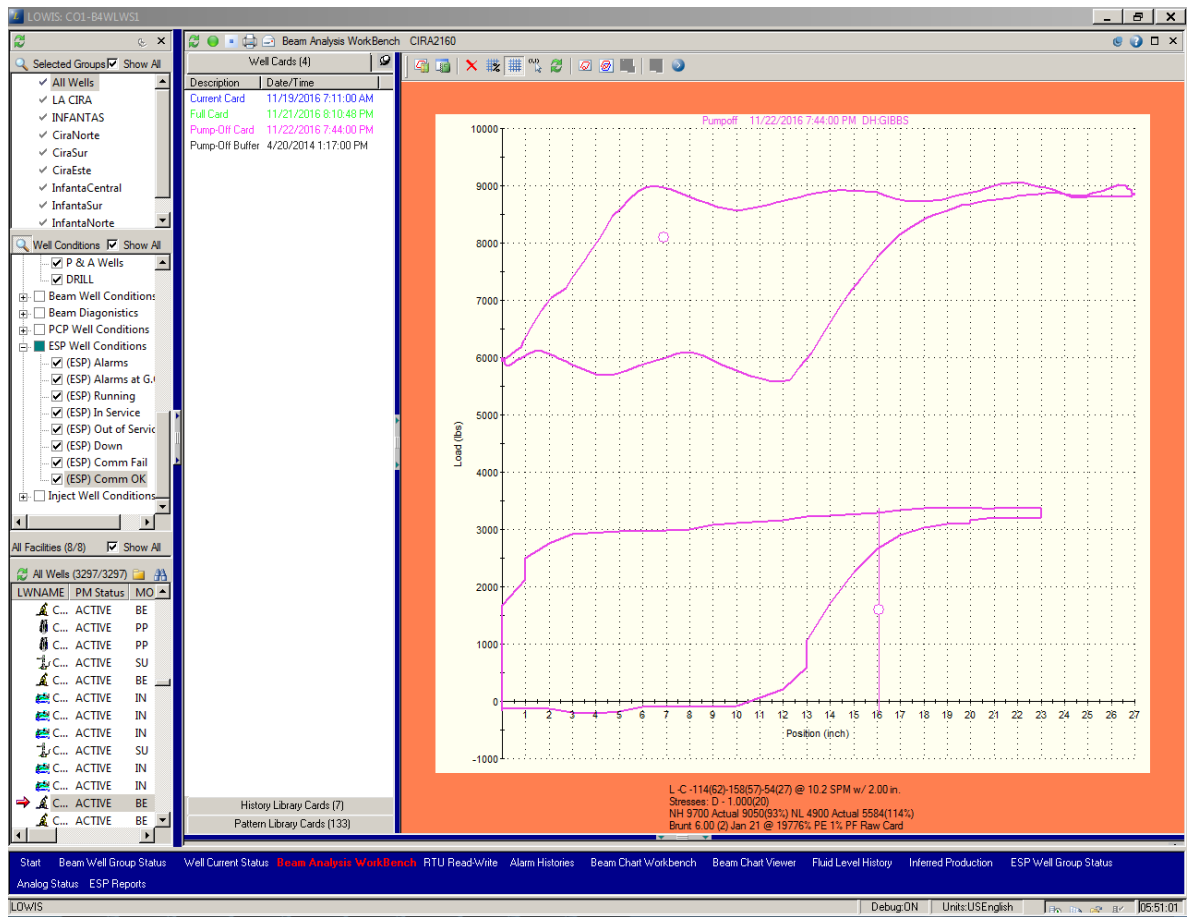
Fuente. Software LOWIS

➤ **Carta dinográfica de superficie y fondo de pozo en línea**

Esta visualización es exclusiva de los sistemas de bombeo mecánico y describe el comportamiento de la bomba, donde podemos identificar en

tiempo real condiciones tales como: Llenado de bomba, golpe de fluido, golpes de pistón, problemas en la válvula fija y viajera, bloqueo por gas, varilla partida, fricción, entre otras, estas cartas pueden verse en la ventana BEAN ANALYSIS WORLBENCH, ver figura 5

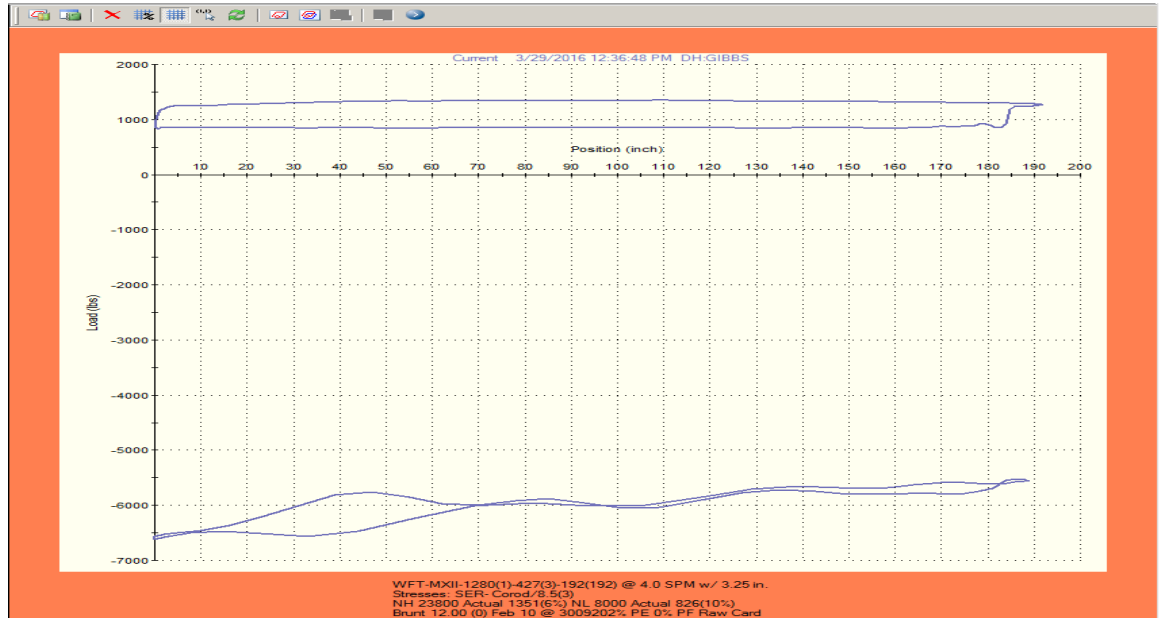
Figura 5, Beam Analysis WorkBench



Fuente. Software LOWIS

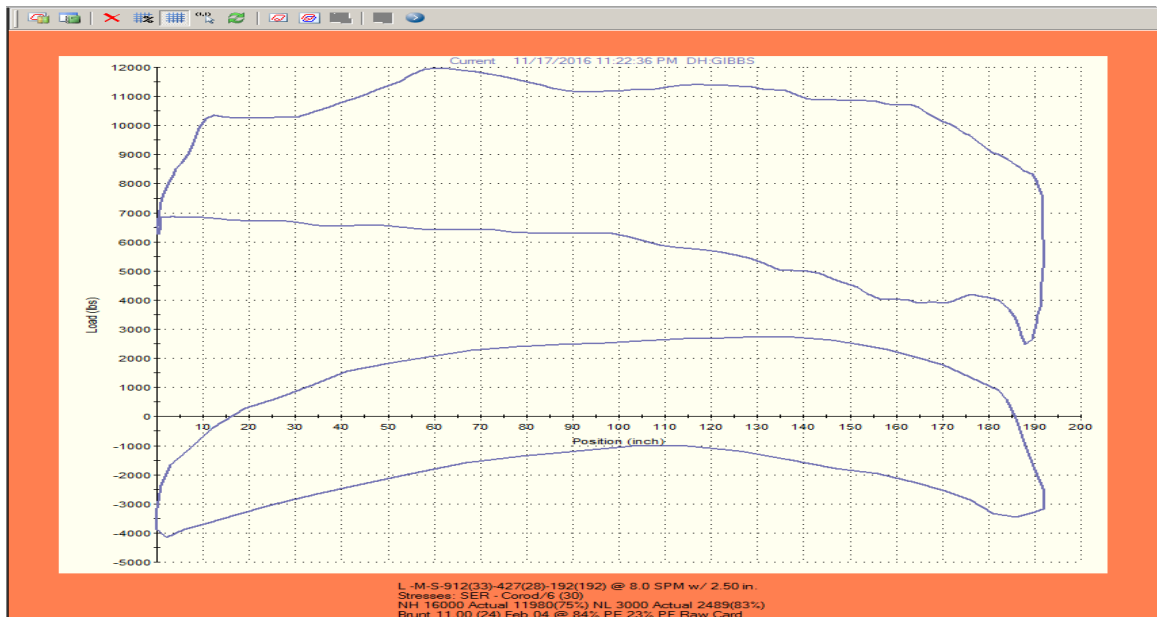
A continuación se adjuntan algunas graficas que reflejan el comportamiento característico de los diferentes problemas que podemos encontrar en pozo y que se visualizan mediante la carta dinamométrica (ver anexo A), ver las figuras 6, 7, 8 y 9

Figura 6, varilla partida.



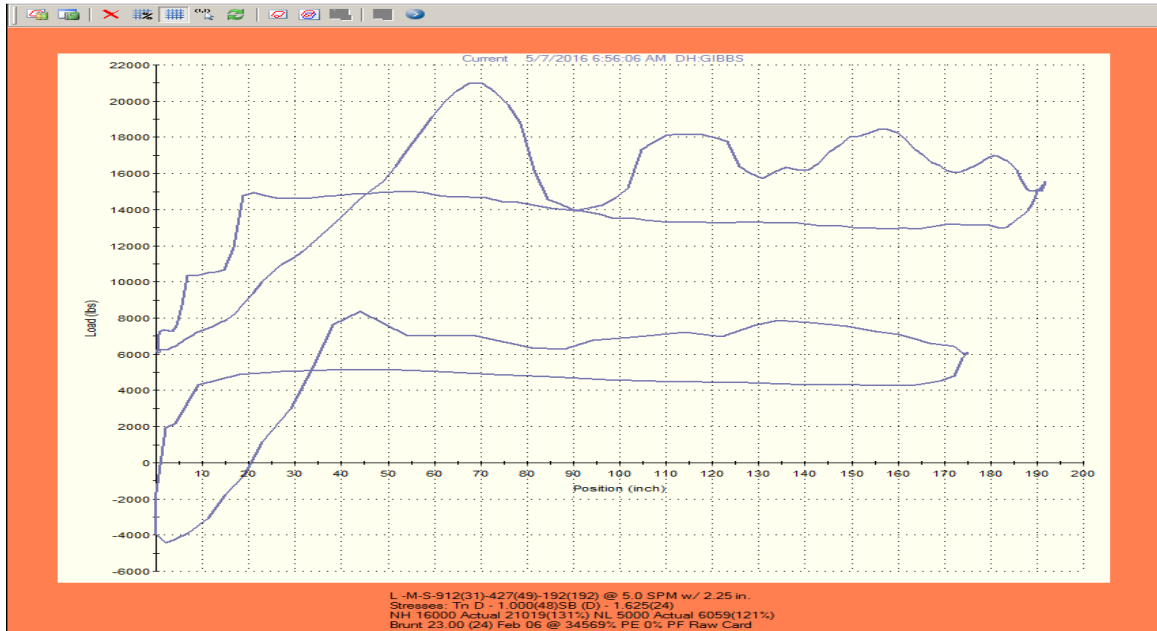
Fuente. Software LOWIS

Figura 7. Fuga en válvulas



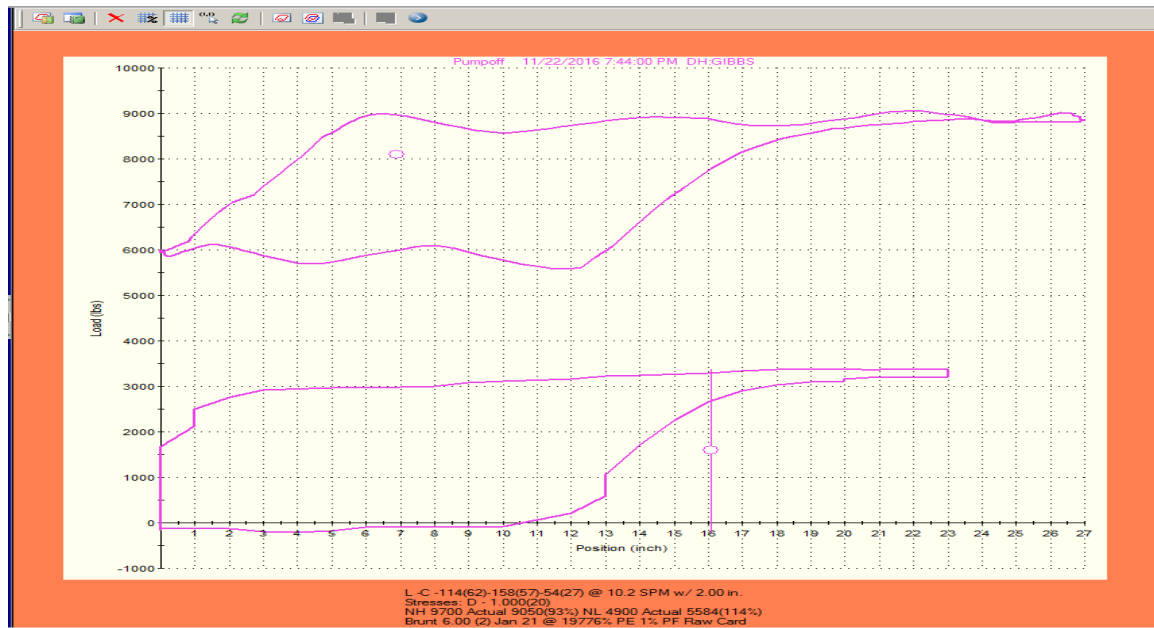
Fuente. Software LOWIS

Figura 8. Pozo con golpe de fluido.



Fuente. Software LOWIS

Figura 9. Pozo bloqueado por gas





Fuente. Weatherford. LOWIS 5.0 (Life of Well Information Software)

➤ **Beam Well Group Status**

Específicamente para pozos de bombeo mecánico, esta ventana muestra el estado actual de los pozos, si está activo o no, tiempo de corrida actual y en el promedio en un periodo específico (1, 7 o 28 días), adicional a esto los colores muestran diferentes tipos de alarmas fácilmente identificables, ver figura 12

Figura 12, Beam Well Group Status

Name	Scan Date	Scan Time	Last Good Scan Date	Alarm Message	Separator Name	Host Mode	POC Mode	Hours In State	Motor Status	Comment	Longterm
ADBL-3	02/17/2008	19:45	02/17/2008	18:45	Scanning RTU	YADD	POC	0:43	Running		
ADPV-2	02/17/2008	19:50	02/17/2008	19:50		YADD	POC	0:70	Stop		
ADPV-3	02/17/2008	20:03	02/17/2008	20:03		YADD	POC	4:03	Stop		
ADPV-8	02/17/2008	20:03	02/17/2008	20:03		YADD	POC	0:30	Stop	Possible SPM decrease	
ADPVB-2	02/17/2008	20:03	02/17/2008	20:03		YADD	POC	0:38	Running		
ADPVC-2	02/17/2008	19:50	02/17/2008	19:50		YADD	POC	37:53	Running		List revision ups
ADPVD-11	02/17/2008	19:45	02/17/2008	19:45		YADD	POC	0:28	Running	SPM Decrease - LIM CHG	
ADPVD-5	02/17/2008	19:50	02/17/2008	19:50		YADD	POC	0:03	Running	Possible W/o. Treatment - Baker	
ADPVD-8	02/17/2008	20:03	02/17/2008	20:03		YADD	POC	1:13	Stop		
ADPVD-7	02/17/2008	19:45	02/17/2008	19:45		YADD	POC	0:85	Stop		
ARCO 22-1	02/17/2008	19:04	02/17/2008	19:04		SWORDS	POC	1:05	Stop	DPS 03 LHOA 85/51 to 85/36 3-20	rest of it come
BECKEN #1-2	02/17/2008	19:04	02/17/2008	19:04		none	POC	0:20	Stop		
BOLYA-1	02/17/2008	19:04	02/17/2008	19:04		none	POC	89:38	Running	24 hr well - FAP OK (Gear box over loaded)	
BOLYA-10	02/17/2008	19:04	02/17/2008	19:04		none	POC	0:02	Stop		Change Pmp. 4
BOLYA-10A	02/17/2008	20:03	02/17/2008	20:03		none	POC	0:03	Running		
BOLYA-12	02/17/2008	19:04	02/17/2008	19:04		none	POC	0:15	Running		
BOLYA-2	02/17/2008	19:04	02/17/2008	19:04		none	POC	0:40	Stop		
BOLYA-4	02/17/2008	19:04	02/17/2008	19:04		none	POC	89:98	Running		Change Pmp. 5
BOLYA-5	02/17/2008	20:03	02/17/2008	20:03		none	POC	0:37	Stop		
BOLYA-6	02/17/2008	20:03	02/17/2008	20:03		none	POC	0:43	Running		
BOLYA-8	02/17/2008	19:04	02/17/2008	19:04		none	POC	19:08	Running		
BOLYA-9	02/17/2008	19:04	02/17/2008	19:04		none	POC	1:30	Stop	Sheave to small to change spm	
BLAIR-2A	02/17/2008	19:04	02/17/2008	19:04		none	POC	0:00	Stop	Wichita Albany - 107 lim chg	
BLAINEY-02A	02/17/2008	20:02	02/17/2008	20:02		SAT01	POC	0:78	Stop	12-18/88/44 to 80/54	
BLAINEY-07A	12/31/1969		12/08/2005	15:49	NONE Not Licensed	none	POC	??????	87.18	??????	
BLAINEY-09	02/17/2008	19:04	02/17/2008	19:04		SAT01	POC	89:98	Running	06/18/2008 - 81/87 to 70/81	
BLAINEY-10	02/17/2008	19:04	02/17/2008	19:04		SAT01	POC	8:23	Running	6-81/67/26 to 78/14	
BINCH UNCH-1B	02/17/2008	19:04	02/17/2008	19:04		none	POC	1:58	Stop		
BOBCAT-1	02/17/2008	20:02	02/17/2008	20:02		none	POC	0:13	Stop	HOA	
C-JARS-1B	02/17/2008	19:04	02/17/2008	19:04		none	POC	37:53	Running		
C-JARS-2	02/17/2008	19:04	02/17/2008	19:04		none	POC	51:03	Running		
CBQU-1001	02/17/2008	19:04	02/17/2008	19:04		none	POC	89:98	Running		
CBQU-1003	02/17/2008	19:04	02/17/2008	19:04	POC control fail	none	POC	XFER	7.28	Stop	
CBQU-1205	02/17/2008	19:04	12/31/1969		Comm Failure	none	POC	??????	0.00	??????	Baker 8500 w/o radio
CBQU-1307	02/17/2008	19:04	02/17/2008	19:04		none	POC	89:38	Running	02/02 lim chg watch runtime/hrs	
CBQU-1502	02/17/2008	19:04	02/17/2008	19:04		none	POC	0:10	Running	4/5 lim chg	

Fuente. Weatherford. LOWIS 5.0 (Life of Well Information Software) BEAM GUIA DE USUARIO

Esta ventana permite acceder a cuatro más:

1. Note log, registro de cambios
2. Histórico de alarmas (ver figura 13)

Figura 13, Alarmas

Well	Type	Alarm Date	Alarm Time	Need Ack	Ack	Message	Alarm Group	Alarm
ADFB-2	CLR	02/10/2008	13:12	0	0	Communication Ok	0	0
ADFB-2	ALM	02/10/2008	13:12	0	0	Comm Failure	0	0
ADFC-2	CLR	02/02/2008	22:50	0	0	Communication Ok	0	0
ADFC-2	ALM	02/02/2008	22:20	0	0	Comm Failure	0	0
ADFE-2	CLR	01/03/2008	20:20	0	0	Communication Ok	0	0
ADFE-2	ALM	01/03/2008	19:50	0	0	Comm Failure	0	0
ADFE-2	CLR	01/28/2008	14:50	0	0	Communication Ok	0	0
ADFE-2	ALM	01/28/2008	14:20	0	0	Comm Failure	0	0
ADFE-2	CLR	01/21/2008	19:20	0	0	Communication Ok	0	0
ADFE-2	ALM	01/21/2008	18:50	0	0	Comm Failure	0	0
ADFE-2	CLR	01/18/2008	15:53	0	0	Inlined Pump Off	0	0
ADFE-2	ALM	01/18/2008	15:50	0	0	Inlined Pump Off	0	0
ADFE-2	CLR	01/05/2008	15:50	0	0	Communication Ok	0	0
ADFE-2	ALM	01/05/2008	16:20	0	0	Comm Failure	0	0
ADFE-2	CLR	12/09/2007	21:20	0	0	Communication Ok	0	0
ADFE-2	ALM	12/09/2007	20:50	0	0	Comm Failure	0	0
ADFE-2	CLR	12/25/2007	19:50	0	0	Communication Ok	0	0
ADFE-2	ALM	12/25/2007	19:20	0	0	Comm Failure	0	0
ADFE-2	CLR	12/22/2007	18:50	0	0	Communication Ok	0	0
ADFE-2	CLR	12/22/2007	02:20	0	0	Communication Ok	0	0
ADFE-2	ALM	12/22/2007	02:00	0	0	Comm Failure	0	0
ADFE-2	CLR	12/21/2007	04:20	0	0	Communication Ok	0	0
ADFE-2	ALM	12/21/2007	03:50	0	0	Comm Failure	0	0
ADFE-2	CLR	12/18/2007	20:20	0	0	Communication Ok	0	0
ADFE-2	ALM	12/18/2007	19:50	0	0	Comm Failure	0	0
ADFE-2	CLR	12/14/2007	02:20	0	0	Communication Ok	0	0
ADFE-2	ALM	12/14/2007	02:00	0	0	Comm Failure	0	0
ADFE-2	CLR	12/05/2007	20:50	0	0	Communication Ok	0	0
ADFE-2	ALM	12/05/2007	20:20	0	0	Comm Failure	0	0
ADFE-2	CLR	12/05/2007	12:50	0	0	Communication Ok	0	0
ADFE-2	ALM	12/05/2007	12:20	0	0	Comm Failure	0	0
ADFE-2	CLR	12/01/2007	18:20	0	0	Communication Ok	0	0
ADFE-2	ALM	12/01/2007	18:50	0	0	Comm Failure	0	0
ADFE-2	CLR	12/01/2007	13:20	0	0	Inlined Pump Off	0	0
ADFE-2	ALM	11/29/2007	21:50	0	0	Inlined Pump Off	0	0
ADFE-2	CLR	11/28/2007	20:20	0	0	Communication Ok	0	0

Fuente. Weatherford. LOWIS 5.0 (Life of Well Information Software)

## BEAM GUIA DE USUARIO

3. Carta de tiempos de operación.
4. Tiempo perdido (mantenimientos, operaciones en fondo y superficie)

## ➤ Reportes

Se tiene dos vistas de reportes, uno para pozos en Bombeo mecánico (ver figura 14) y el otro para pozos es Bombeo electrosumergible (ver figura 15), en estos reportes es posible tener la información histórica de cada una de las variables monitoreadas, ingresadas o calculadas de cada uno de los sistemas de levantamiento monitoreados, ver figuras 14 y 15

Figura 14, BM Reportes

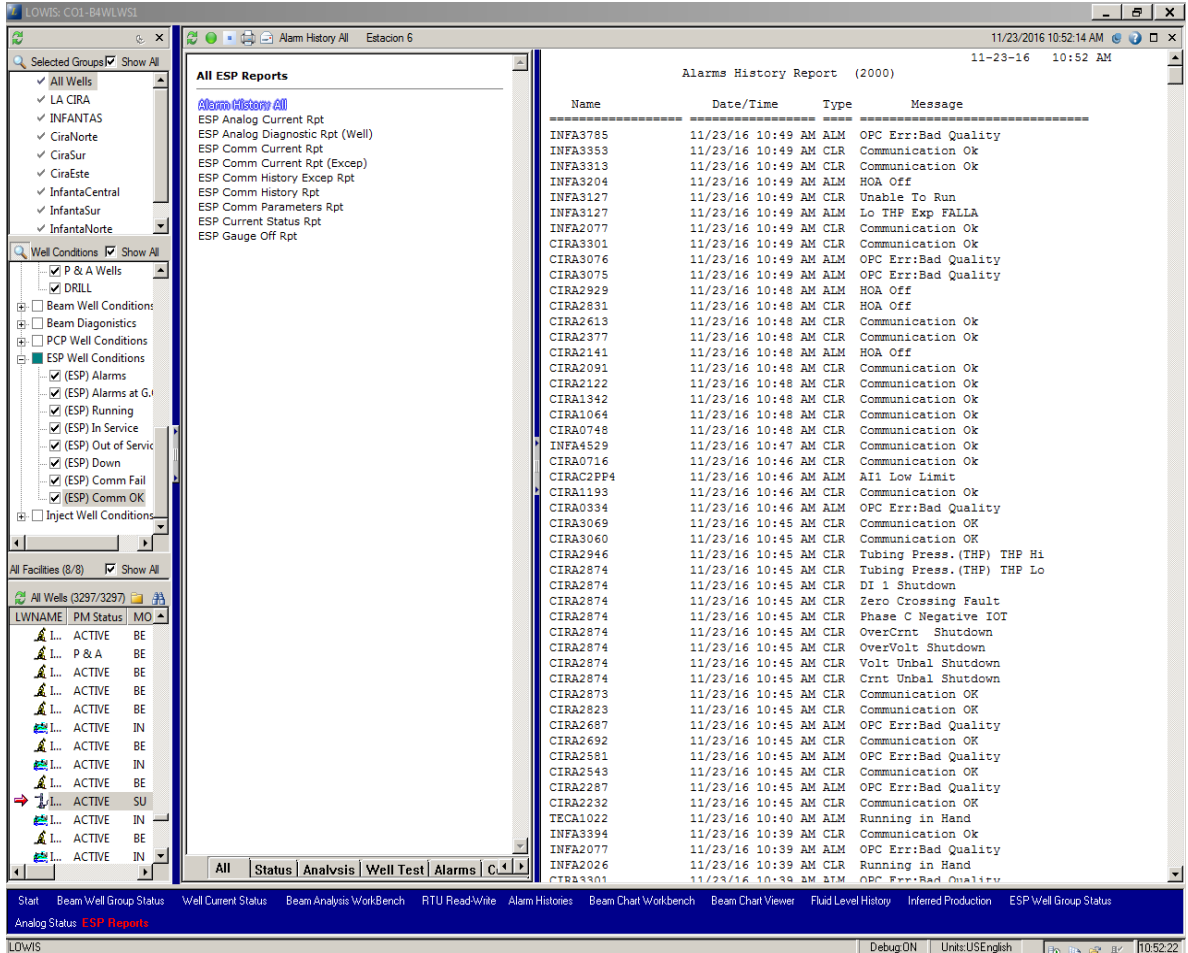
The screenshot displays the LOWIS: deploytest1 application interface. The top navigation bar includes tabs for Configuration, Surveillance, Analysis, Work Plan, Services, and Score Card. The main window is divided into several sections:

- Selected Groups:** A tree view showing 'All Wells' selected.
- Selected Conditions:** A list of diagnostic warnings, including 'Diag Prime Mover Size Warning', 'Diag Card Area Warning', 'Diag Surface Load Warning', 'Diag Run Time Warning', 'Diag Test Fluid Warning', 'Diag FAP/PIP Warning', and 'Diag Flowline Pres. Warning'.
- All Facilities (25/25):** A table listing facilities with columns for 'DESC', 'Facility', and 'Property Coc'. The table includes entries like '6Z STRIP', '8Z FEE', '8Z L / W', '8Z MKT 8', 'LOT', and 'Long Ter...'. The '8Z FEE' entry is highlighted with a red arrow.
- Wells (1688/1688):** A table listing wells with columns for 'WellName', 'RTU', and 'WellTyp'. The table includes entries like '8Z 4370', '8Z 4370ST', '8Z 4550', '8Z 4680', and '8Z H- 5A'. The '8Z 4370ST' entry is highlighted with a red arrow.
- All Beam Reports:** A list of report types, including 'Beam Alarm Hist Rpt (Grp)', 'Beam Alarm Hist Rpt (Well)', 'Beam Analog Configuration Rpt (Well)', 'Beam Analog Current Rpt (Well)', 'Beam Card Dump (Buffer)', 'Beam Card Dump (Combo CU)', 'Beam Card Dump (Combo FU)', 'Beam Card Dump (Combo PO)', 'Beam Card Dump (Current)', 'Beam Card Dump (Failure)', 'Beam Card Dump (Full)', 'Beam Card Dump (P Off)', 'Beam Card Summary Rpt', 'Beam Comm Current Rpt', 'Beam Comm Current Rpt (Excep)', 'Beam Comm History Rpt', 'Beam Comm History Rpt (Excep)', 'Beam Current Alarms Rpt', 'Beam Current Status Rpt', 'Beam Discrete Status Rpt (Well)', 'Beam Downhole Param Rpt', 'Beam Fluid Param rpt', 'Beam GaugeOff Status Rpt', 'Beam Inferred Prod Rpt', 'Beam Meter Rates Rpt (Well)', 'Beam Meter Volumes Rpt (Well)', 'Beam Pumping Unit/BTF', 'Beam Reference Card Rpt (Grp)', 'Beam Rod Tapers Rpt', 'Beam Run Time Deviation Rpt', 'Beam Scan List Rpt (Well)', 'Beam Surface Param Rpt', 'Beam Test Hist Rpt (BeamWell)', 'Beam Tubular Fluid Rpt', 'Beam Verify Parameters Rpt (Grp)', 'Beam Verify Parameters Rpt (Well)', 'Beam Well Act Rpt', 'Beam Well Count Rpt (Grp)', and 'Beam WellTest Alarms Rpt'.

The bottom status bar shows 'Group Well Status Updated' and the time '15:48:10'.

Fuente. Weatherford. LOWIS 5.0 (Life of Well Information Software) BEAM GUIA DE USUARIO

Figura 15, ESP Reportes



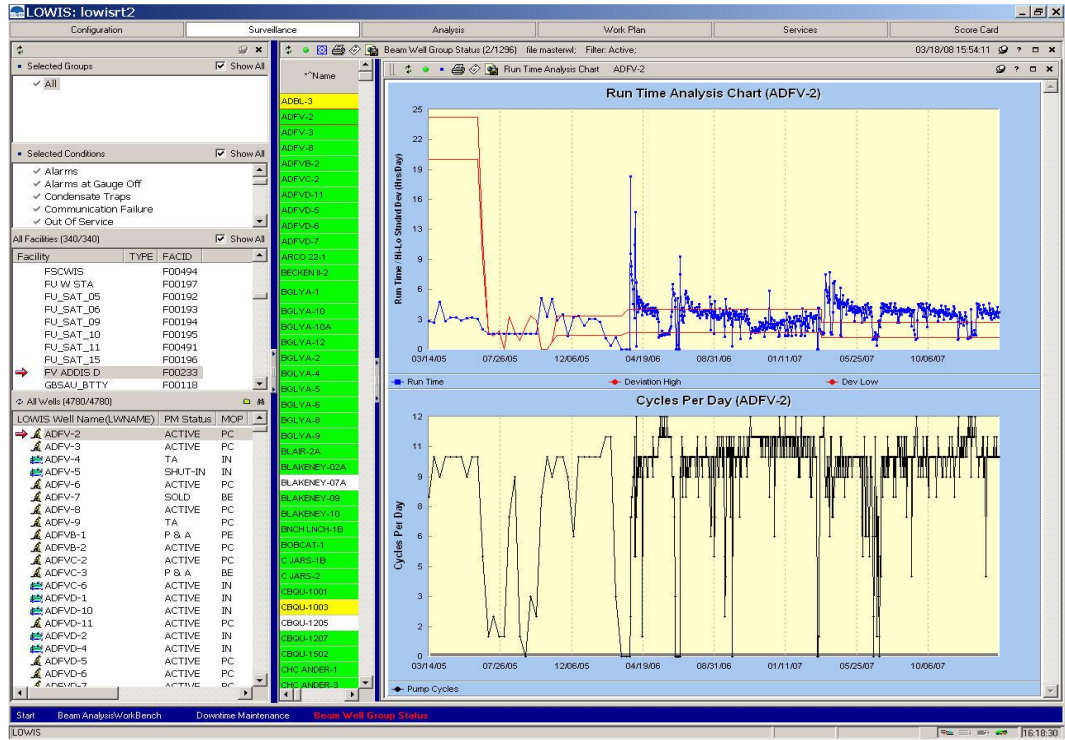
Fuente. Software LOWIS

➤ **Análisis de tendencias**

Lowis nos permite hacer análisis de tendencia de todas las variables existentes en el sistema ya sean medidas, cargadas o calculadas, estos análisis permitan tomar decisiones, generar rutinas de mantenimiento, programas de optimización, en si nos permite ver comportamientos históricos

y tomar acciones en busca de optimizar comportamientos o mejorar tendencias.

Figura 16, Análisis de tendencias



Fuente. Weatherford. LOWIS 5.0 (Life of Well Information Software) BEAM GUIA DE USUARIO

### ➤ Candidatos a revisión

A través de filtros personalizados, permiten seleccionar y evaluar pozos candidatos a intervención del sistema de bombeo tanto en superficie como en fondo, por ejemplo un filtro con las siguientes condiciones podría resultar en una lista de pozos candidatos a optimización, ver figura 17:

Run time cercano a las 24 horas

Altas eficiencias de bomba (>70%)

Niveles de fluido superiores a 400 ft

Otro tipo de filtro, por ejemplo para identificar pozos con deficiencia de bomba podría ser:

Pozos con aumento de Run time

Bajas eficiencias de bomba

Y con aumento de nivel

Figura 17. Candidatos a Revisión del Sistema de Levantamiento, “Lift Revision Candidates”.

The screenshot displays the 'Lift Revision Candidates' window in the ICONICS software. The main area contains a table with the following columns: Well Name, Well Test Facility, Control Mode, Hours Run, Hour Run 7 Day Avg, Hour Run 28 Day Avg, Run Time % Deviation, THEORETICAL PRODUCTION, VOLUMETRIC EFFICIENCY, Control Type, Pump ID, Fluid Above Pump (Mad Pans), Fluid Above Pump (Current), Pumping Unit, Well Pin, Actual Stroke, and Unit SPM. The table lists 172 wells, with the first few rows showing data for wells CRA2001 through CRA2112. A context menu is open over the 'Lift Revision Candidates' header, listing various status and management options. The bottom right panel shows 'Well Comments' for well CRA2218, listing several scan commands and their execution times.

Fuente: El Autor

### 3.4 ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO (PCP) EN ICONICS

El software ICONICS implementado en LCI, tiene cuatro módulos principales: facilidades, pozos inyectoros, pozos productores y otro para varios (Red de anulares, serpentinas, entre otros), ver figura 18.

Figura 18, Pantalla principal ICONICS



Fuente. Software ICONICS

**Facilidades**, contiene las principales plantas de inyección y estaciones de producción, donde se puede con los permisos adecuados desde visualizar la operación hasta operar directamente los plantas y estaciones, desde el CIO se monitorean están facilidades, pero la operación se hace directamente en sitio.

**Pozos inyectores**, seguimiento de cada uno de los manifold's monitoreados y los pozos asociados, no es posible abrir o cerrar pozos, ya que no se cuentan con válvulas automatizadas se monitorean las variables de presión y caudal.

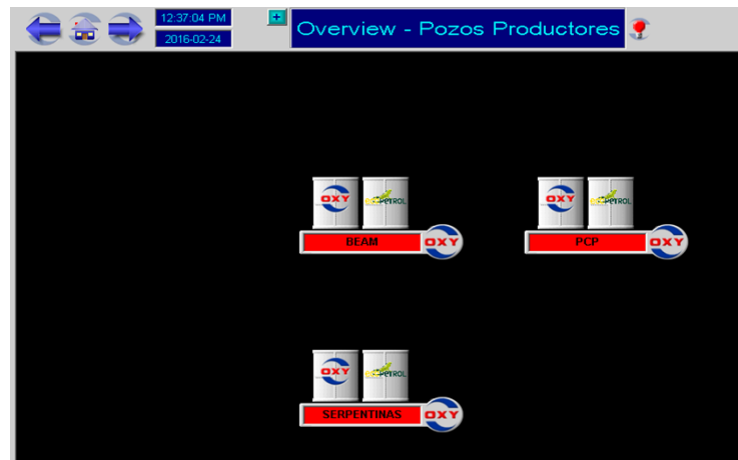
**Pozos productores**, principalmente seguimiento a PCP, monitoreo de variables e incremento de RPM's, encendido y apagado

**Varios**, seguimiento a la red de anulares (monitoreo),

### 3.4.1 POZOS PRODUCTORES

El módulo de pozos productores no tiene habilitado el seguimiento a pozos en Bombeo mecánico y recientemente se le habilito el monitoreo a serpentinatas, dentro del cuarto de control este software era utilizado solo para visualizar los pozos productores en sistema PCP, dejando de lado el seguimiento a estaciones y pozos inyectoros, ver figura 19.

Figura 19, Modulo pozos productores



Fuente. Software ICONICS

Ya dentro del módulo de PCP, se encuentran cada uno de los pozos en este sistema y el estado actual, ver figura 20.

Figura 20, PCP

Info0196	Auto	Cira2172	D1 Downhole	Cira2584	Auto	Cira2903	Auto	Cira3912	Auto
Cira0218	Auto	Cira2178		Cira2585	D1 Downhole	Cira2904	Auto	Cira3913	D1 Downhole
Info0262	Auto	Cira2186	Auto	Cira2588	Auto	Cira2905	Auto	Cira3915	D1 Downhole
Cira0357	D1 Downhole	Cira2193	Auto	Cira2589	Auto	Cira2914	Auto	Cira3916	Auto
Cira0399	Auto	Cira2195	Auto	Cira2596		Cira2917	Auto	Cira3917	Control Torque
Info0484	Auto	Cira2196	Auto	Cira2601	Auto	Cira2919	Auto	Cira3920	Auto
Info0595	Auto	Cira2202		Cira2603	Auto	Cira2930	D1 Downhole	CiraC2PP2	
Cira0769	Auto	Cira2204	D1 Downhole	Cira2606	D1 Downhole	Cira2974	Auto	CiraC2PP3	Auto
Cira0890	Auto	Cira2206	D1 Downhole	Cira2611	Auto	Cira2977	D1 Downhole	CiraC7SP3	
Cira0942	Auto	Cira2207	D1 Downhole	Cira2617	D1 Downhole	Cira2984	Auto		
Cira1011	D1 Downhole	Cira2208	D1 Downhole	Cira2624	Auto	Cira3038	Auto		
Cira1049	D1 Downhole	Cira2211		Cira2625	Auto	Cira3044	Auto		
Cira1053	Auto	Cira2241	Auto	Cira2626	Auto	Cira3056	Auto		
Cira1210	D1 Downhole	Cira2265	Auto	Cira2627	D1 Downhole	Cira3062	D1 Downhole		
Cira1471	D1 Downhole	Cira2267	Auto	Cira2635	Auto	Cira3064	Auto		
Info1487	Preston CHP Alto Alto	Cira2278	Auto	Cira2636	Auto	Cira3070	Auto		
Info1589	Auto	Cira2290	Auto	Cira2643	Auto	Info3100	Auto		
Cira1881	Auto	Cira2299	Auto	Cira2644	Auto	Info3216	D1 Downhole		
Cira2030	Auto	Info2337	Auto	Cira2647	Auto	Info3224	Auto		
Cira2048	Auto	Cira2351	Auto	Cira2652	Auto	Info3226	Auto		
Cira2054	Auto	Cira2458	Auto	Cira2663	Auto	Info3371	Auto		
Cira2082		Info2479	Auto	Cira2665	Auto	Cira3406	Auto		
Cira2085		Cira2502	Auto	Cira2670	Auto	Cira3407	Auto		
Cira2086		Cira2507		Cira2683	D1 Downhole	Cira3409	Auto		
Cira2100	Auto	Cira2513	Auto	Cira2754	Auto	Cira3412	Deshabilitado		
Cira2105	D1 Downhole	Cira2529	Auto	Cira2778	Auto	Cira3415	Auto		
Cira2133	Auto	Cira2535	Auto	Cira2791	Auto	Cira3417	Auto		
Cira2145	Auto	Cira2540	Auto	Cira2792	Auto	Cira3420	Auto		
Cira2146		Cira2541	Auto	Cira2797	Auto	Cira3426	Auto		
Cira2147	D1 Downhole	Cira2542	Auto	Cira2830	Auto	Cira3427	Auto		
Cira2150	D1 Downhole	Cira2547	Auto	Cira2859	Auto	Cira3430	Auto		
Cira2151	Auto	Cira2568	Preston CHP Alto Alto	Cira2887	Auto	Cira3902	Auto		
Cira2165		Cira2570	Auto	Cira2888	Auto	Cira3903	Auto		
Cira2167	Auto	Cira2572	D1 Downhole	Cira2893	Auto	Cira3904	Auto		
Cira2168	Auto	Cira2578	D1 Downhole	Cira2900	D1 Downhole	Cira3906	Auto		
Cira2170		Cira2583	Auto	Cira2901	Auto	Cira3910	Auto		

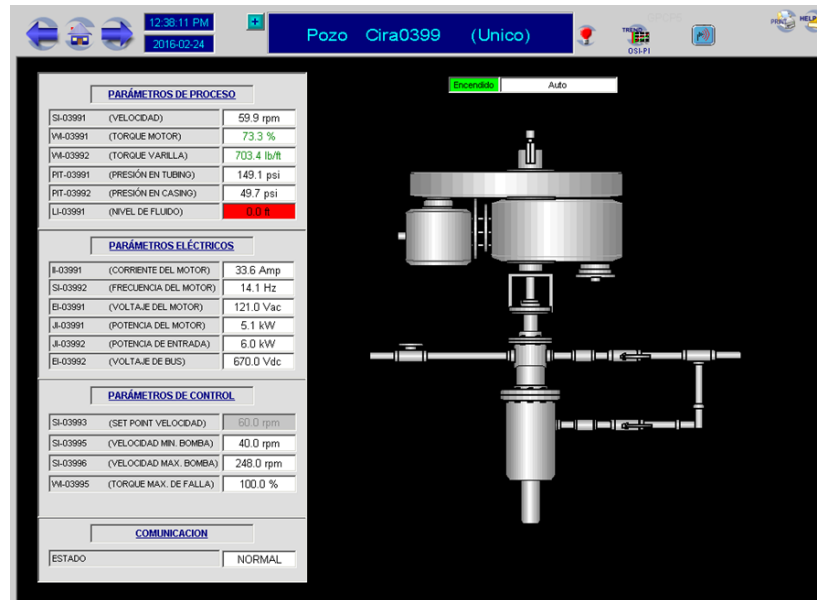
  

Bombas Multifásicas LC01	
MPP-1731	MODO REMOTO
MPP-1732	MODO REMOTO
MPP-2991	MODO REMOTO
MPP-2992	MODO REMOTO

Fuente. Software ICONICS

Al aplicar para cada pozo, podemos ver una pantalla como la que sigue, con las diferentes variables monitoreadas, ver figura 21

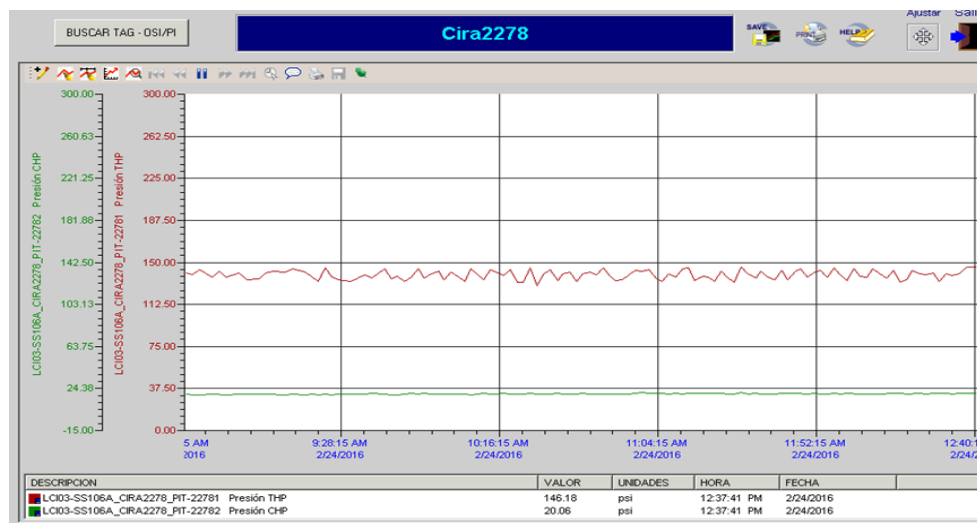
Figura 21, Variables PCP



Fuente. Software ICONICS

Las diferentes variables registradas pueden ser graficadas al igual que su comportamiento en el tiempo, ver figura 22.

Figura 22, visualización de variables



Fuente. Software ICONICS

### 3.4.2 POZOS INYECTORES

En el módulo de pozos inyectoros se presentan los manifold's actualmente monitoreados, los cuales se presentan organizados por áreas y en el cual se puede visualizar la presión de entrada al manifold y la suma de los caudales pozo a pozo, ver figura 23.

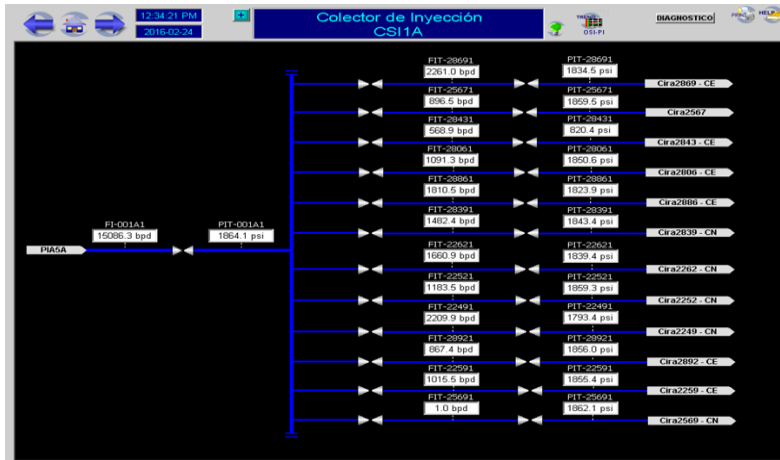
Figura 23, Overview- Pozos Inyectores

PIA5A / PIA6			PIT-32563			PIT-53514			PIT-62552					
PIA3			1904.2 psi	PIA5A			1933.7 psi	PIA6			1919.1 psi			
<b>CIRA ESTE</b>			<b>PRESIÓN</b>		<b>FLUJO</b>		<b>CIRA SUR</b>			<b>PRESIÓN</b>	<b>FLUJO</b>			
CASETA 1A	1863.5 psi		15077.1 bpd		CASETA 8A	-100.0 psi		10559.4 bpd		INF. SUR	<b>PRESIÓN</b>	<b>FLUJO</b>		
CASETA 03	1827.3 psi		4907.0 bpd		CASETA 10	1839.0 psi		11328.8 bpd		CASETA 25				
MAN. 4AN	1852.4 psi		4300.5 bpd		MAN. 13					CASETA 32	1894.1 psi		5627.5 bpd	
CASETA 6A	1802.6 psi		11471.8 bpd		CASETA 20	-100.0 psi		21961.4 bpd		CASETA 33	1889.9 psi		6926.3 bpd	
CASETA 26	1870.8 psi		17472.5 bpd		CASETA 21	1874.8 psi		12660.4 bpd		CASETA 38	1901.1 psi		1572.0 bpd	
CASETA 40	1872.0 psi		659.5 bpd		CASETA 22					CASETA 55	1889.4 psi		8678.0 bpd	
CASETA 42	1848.5 psi		4387.3 bpd		CASETA 29	1840.6 psi		14957.6 bpd		MAN. 60				
CASETA 57	1858.5 psi		2098.0 bpd		CASETA 30	1892.0 psi		16294.0 bpd		MAN. 63				
CASETA 59	1841.1 psi		7483.5 bpd		CASETA 37	1851.8 psi		5485.4 bpd		MAN. 74	1868.3 psi		3002.5 bpd	
MAN. 61	1862.8 psi		4175.5 bpd		CASETA 50	1864.0 psi		5460.0 bpd		<b>INF. NORTE</b>			<b>PRESIÓN</b>	<b>FLUJO</b>
MAN. 68					CASETA 53	1869.0 psi		4987.0 bpd		CASETA 7S				
<b>CIRA NORTE</b>			<b>PRESIÓN</b>		<b>FLUJO</b>		<b>CIRA NORTE</b>			<b>PRESIÓN</b>	<b>FLUJO</b>			
CASETA 05	38.4 psi		13525.3 bpd		CASETA 58	1914.0 psi		6384.6 bpd		CASETA 16	-100.0 psi		5771.3 bpd	
CASETA 41					MAN. 66	1928.4 psi		8196.5 bpd		CASETA 23	1939.5 psi		1377.5 bpd	
CASETA 45					MAN. 69	1913.4 psi		12378.5 bpd		CASETA 24	1692.3 psi		3991.0 bpd	
CASETA 54										CASETA 31	2.6 psi		1556.1 bpd	
MAN. 72	2647.8 psi		7832.0 bpd							CASETA 39				
										CASETA 51	1678.9 psi		4362.5 bpd	
										CASETA 52	1729.0 psi		2700.5 bpd	
										MAN. 62	1732.1 psi		5863.5 bpd	
										MAN. 70				
										<b>INF. CENTRAL</b>			<b>PRESIÓN</b>	<b>FLUJO</b>
										CASETA 15				
										MAN. 17	1825.1 psi		7564.0 bpd	
										CASETA 46	1904.4 psi		3215.8 bpd	
										MAN. 67				

Fuente. Software ICONICS

Una vez se selecciona la caseta (manifold) requerida aparece una ventana donde se despliegan los pozos que hacen parte de esta caseta donde se puede visualizar en tiempo real el comportamiento de presión y caudal como se puede ver en la siguiente figura 24.

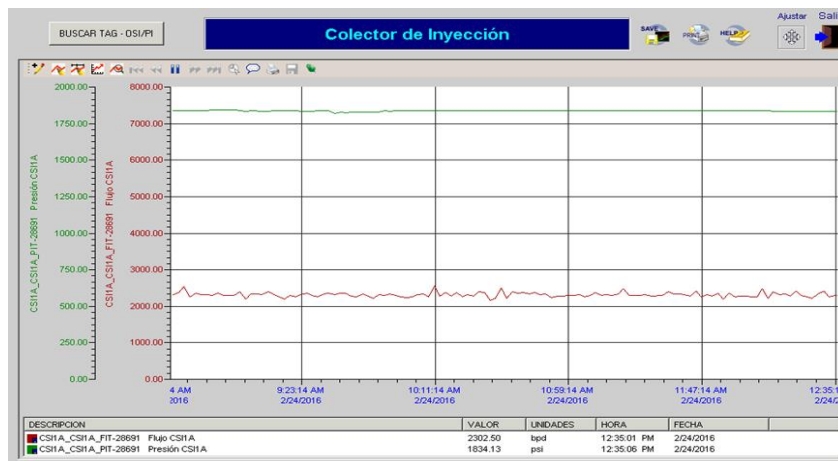
Figura 24, Colector de Inyección



Fuente. Software ICONICS

La tendencia histórica de estos pozos puede ser graficada y cada una de estas gráficas puede visualizar hasta 10 variables, ver figura 25.

Figura 25, visualización de Colector

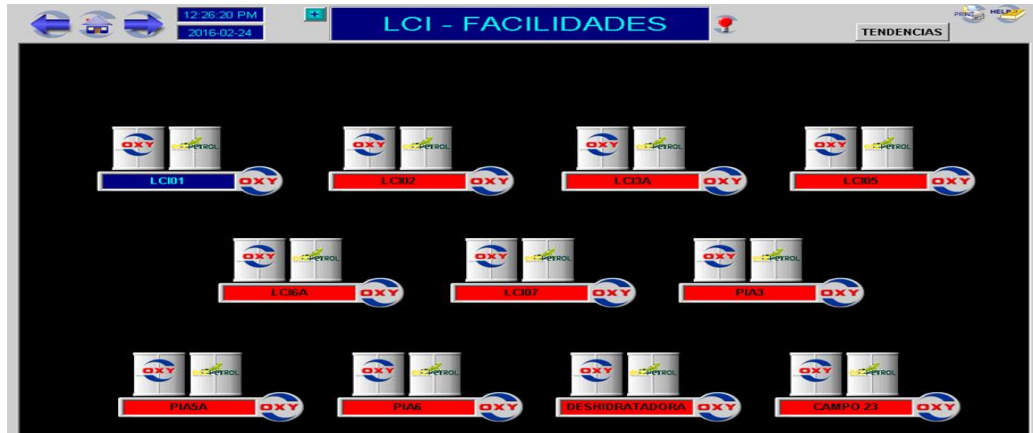


Fuente. Software ICONICS

### 3.4.3 FACILIDADES

El módulo de facilidades involucra las estaciones de producción, plantas de inyección y planta deshidratadora, que dentro del esquema inicial de operación del CIO, no hace parte de las funciones de monitoreo y seguimiento, ver figura 26.

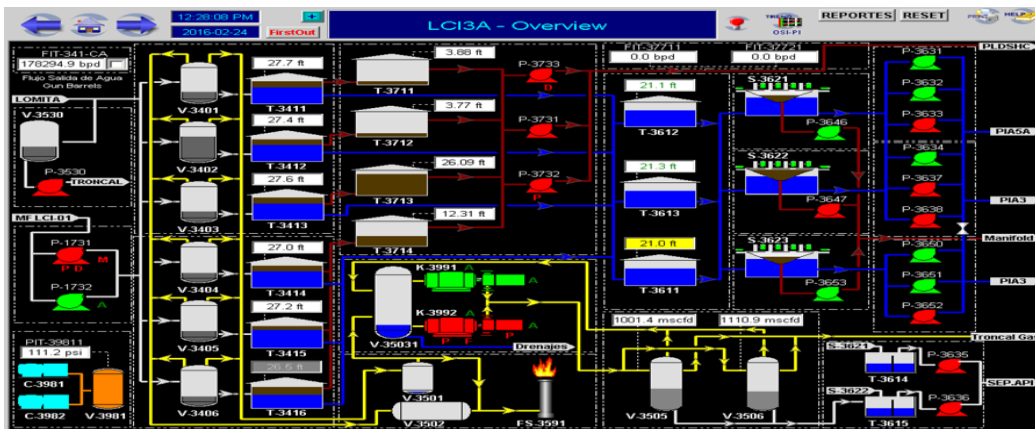
Figura 26, Facilidades



Fuente. Software ICONICS

Las siguientes figuras muestran algunas de las facilidades monitoreadas sin hacer énfasis en ellas, ver las figuras 27, 28 y 29

Figura 27, Estaciones de producción



Fuente. Software ICONICS



### 3.5 BENEFICIOS DE LA AUTOMATIZACIÓN

- Reducción de Energía consumida hasta del 20%, ésta disminución, se da principalmente debido a que el bombeo se realizará manteniendo un llenado de bomba completo, con períodos de restauración de nivel en el pozo, por tanto un pozo que convencionalmente trabaje con 50% de llenado durante las 24 hr del día, el controlador permitirá reducir el tiempo de operación aproximadamente a 12 hr/día, con llenado de bomba completo, lo que representaría un ahorro del 50% de consumo de energía para éste caso en particular, así para los demás casos que presenten llenado de bomba incompleto.
- Reducción Reparaciones y Costos de Mantenimiento maximizando la vida útil de los equipos hasta en un 25%, al eliminar el golpe de fluido, se reduce el efecto buckling o pandeo en la sarta de varillas, haciendo que el sistema trabaje mejor, incrementando la vida útil de las varillas, de la tubería y de la caja reductora de la unidad de bombeo.
- Incrementos de Producción por reducción de producción diferida 1- 4%; sin la automatización, un recorridor de campo visita los pozos cada 24 o 48 horas, por tanto el tiempo de detección de una falla en un campo sin automatización sería ese, para un pozo automatizado, el tiempo de detección de una falla, máximo será de 15 minutos, el cual es la frecuencia de lectura automática de los controladores por LOWIS, para las fallas menores, como bloqueo por gas o sólidos la pérdida de producción por malfuncionamiento del sistema puede reducirse a tan solo algunas horas, además, la detección en el sistema de fallas mayores, como tubería rota, varilla partida, daños en bomba de fondo, arenamiento, etc, permiten direccionar o priorizar los equipos de “Well services” o servicio a pozo, para los pozos de mayor

producción, dando como resultado una reducción en las pérdidas de producción o diferida, aclarando que éste aspecto siempre dependerá de la disponibilidad de equipos de mantenimiento con que cuente el campo.

- Mejoras en el conocimiento de los pozos debido a los históricos de las variables del sistema, Lowis acumula históricos de las diferentes variables del sistema de bombeo y de superficie, lo que permite que aún con cambios de personal, los nuevos analistas tengan toda la información del comportamiento del pozo y puedan identificar valores anormales de las variables de operación del sistema.
- Cambios en el aporte de fluidos del yacimiento al pozo, pueden ser reconocidos rápidamente, en especial para campos con inyección de agua, a medida que el frente desplazamiento avanza, y que los pozos inyectoros de los patrones empujan el crudo hacia los pozos productores, incrementan la producción en los pozos, el controlador incrementa el tiempo de operación por día para bombear éstos fluidos a superficie, hasta que el tiempo de operación diario llega a 24 hr, al ver ésta tendencia de incremento, el analista eleva la situación al ingeniero de producción quien evaluará y programará cambios de recorrido, o velocidad de bombeo, para disminuir la sumergencia de la bomba o puede acudir a otros procesos para evaluar una posible optimización o incremento en la capacidad de extracción como toma de niveles de sumergencia de la bomba para comparar con los calculados por el sistema y elevar la situación a yacimientos quien definirá el nuevo potencial del pozo, ingeniería realizará el nuevo diseño de levantamiento artificial y operaciones programará el equipo y materiales para intervenir el pozo e incrementar la extracción aprovechando al máximo el potencial productivo del pozo, éste proceso puede tomar alrededor de una semana si se cuenta con los materiales

necesarios para el mismo, sin automatización, éste mismo proceso podría demorar un par de meses o más, debido a que el monitoreo consiste en toma de niveles y dinagramas mensualmente.

- El analista fácilmente puede revisar y ajustar los parámetros de alarma, parámetros de pump-off, límites de alta y baja carga, alta y baja presión, etc, para reducir fallas. Las fallas son detectadas y corregidas más rápido, debido a la disponibilidad de la información en red, la cual se actualiza automáticamente cada 15 minutos y en tiempo real se actualiza mediante solicitud del usuario al sistema en el momento que sea requerido.
- El analista puede revisar y optimizar tiempos de espera y parámetros de pump-off para maximizar costos de energía y a la vez asegurar que no haya pérdida de producción.
- Cartas de fondo son utilizadas para optimizar el punto de pump-off para minimizar el golpe de fluido.
- Los pozos pueden ser apagados o puestos en línea remotamente como acción ante un caso de alarmas críticas.

## **4. ESQUEMA INICIAL DEL CUARTO DE CONTROL (CIO)**

El cuarto integrado de operaciones cuenta con un operador durante las 24 horas, función que cumplen cuatro técnicos, entre estos técnicos el cuarto es un relevo de los tres primeros, el cual tiene funciones definidas la mitad de tiempo, la otra mitad del tiempo hace las veces de un segundo operador.

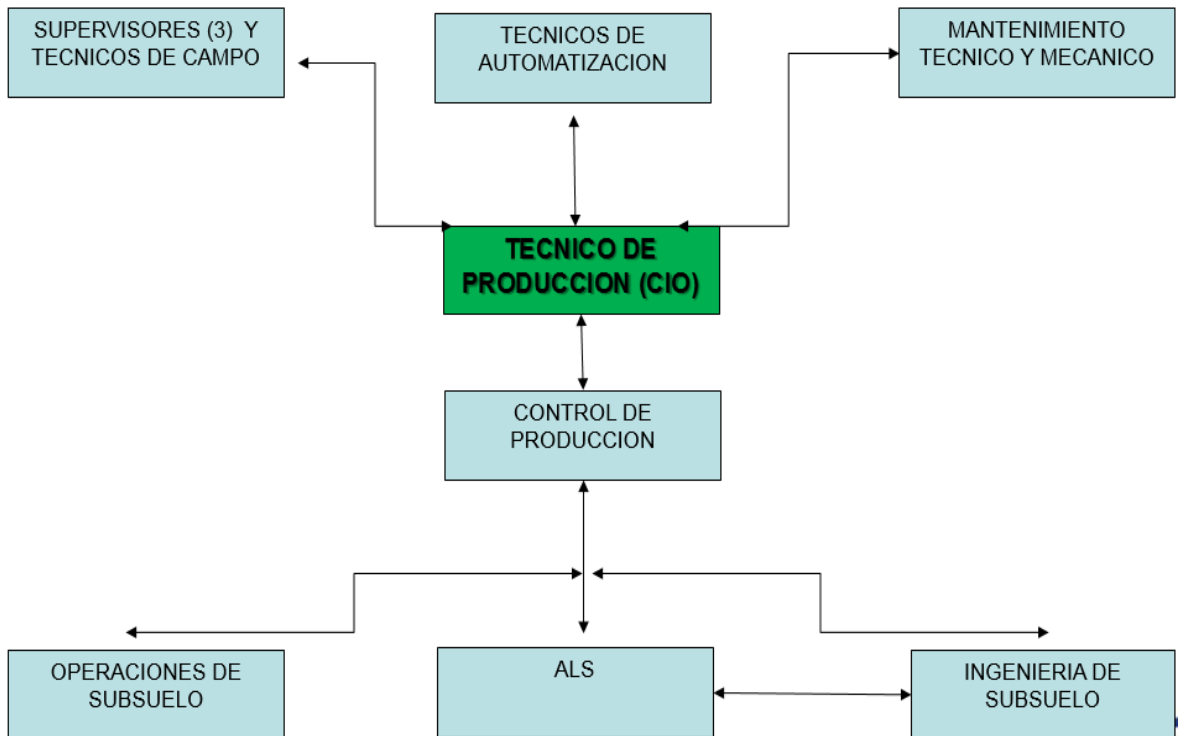
### **4.1. FUNCIONES DEL OPERADOR DEL CIO**

El operador del cuarto integrado de operaciones cumple con las siguientes funciones:

- ❖ Apagado y Encendido de Pozos
- ❖ Registrar y reportar el tiempo de diferida de los pozos
- ❖ Registrar cambios en los pozos y actualizar la base de datos (LOWIS) luego de wellservice o intervención con modificaciones (ej. cambios de recorrido)
- ❖ Direccionar técnicos a pozos con problemas.
- ❖ Identificar, validar y reaccionar a pozos fallados
- ❖ Coordina con mantenimiento los trabajos requeridos para el correcto funcionamiento del sistema de monitoreo.
- ❖ Coordinar la desconexión y puesta en funcionamiento del equipo del equipo de automatización antes y después de un WS
- ❖ Identificar y gestionar la solución a problemas de alarmas de hardware en pozos
- ❖ Interactuar con el ingeniero de Control

## 4.2. ORGANIGRAMA DEL CIO

Figura 30, Organigrama original



Fuente. El autor

El cuarto integrado de operaciones es el principal puente entre los distritos de producción y el grupo de control de producción, a pesar de que en el CIO, cuenta con los equipos y software suficiente para monitorear las operaciones de estaciones de producción, planta deshidratadora, plantas de inyección y pozos inyectoros, en el esquema original no se planteó este monitoreo como parte de sus funciones, ver figura 30.

### **4.3. MONITOREO DE ESTACIONES DE RECOLECCIÓN**

El campo cuenta con nueve estaciones de recolección de las cuales tres tienen operador constante durante las 24 horas, las otras estaciones son visitadas durante el día por un recorridor de estaciones, estas tres estaciones además de tener operador contaban con operadores de patio, los cuales asistían al operador de la estación las 24 horas, estos asistentes eran suministrados mediante un contrato de mantenimiento.

Las principales funciones en estas estaciones son las siguientes:

- Recibo de fluidos de campo
- Separación del agua de producción
- Seguimientos de niveles de tanques
- Tratamiento y desnatado del agua de producción para disponerla al sistema de inyección de agua
- Liquidación de producción

### **4.4. MONITOREO DE PLANTAS DE INYECCIÓN**

Se cuenta con tres plantas de inyección, las cuales son asistidas las 24 horas del día, de estas plantas se distribuye el agua requerida en calidad, caudal y presión, para los 430 pozos inyectoros del campo, siendo las principales funciones del operador las siguientes:

- Recibo de agua proveniente de las plantas de tratamiento de agua
- Recibo de agua producida y tratada de las estaciones de recolección
- Operación de las torres desoxigenadoras
- Operación del tren de filtración

- Manejo de aguas de retrolavado de filtros (Decantadores)
- Operación de las bombas de alta presión para descarga a campo (1900 PSI)

#### **4.5. MONITOREO DE POZOS DE INYECCIÓN**

Los pozos inyectoros del campo son monitoreados de dos formas, la primera es mediante el uso de un medidor portátil (PANAMETRICS) y la segunda con los dispositivos de medición tipo Vortex, que se encuentran instalados en el 70% de los pozos inyectoros del campo y que pueden ser visualizados mediante la aplicación ICONICS, esta última inicialmente subutilizada, ya que la data estaba en modo consulta, pero no era descargada y plasmada en AVM, para la liquidación y prorrateo de la inyección.

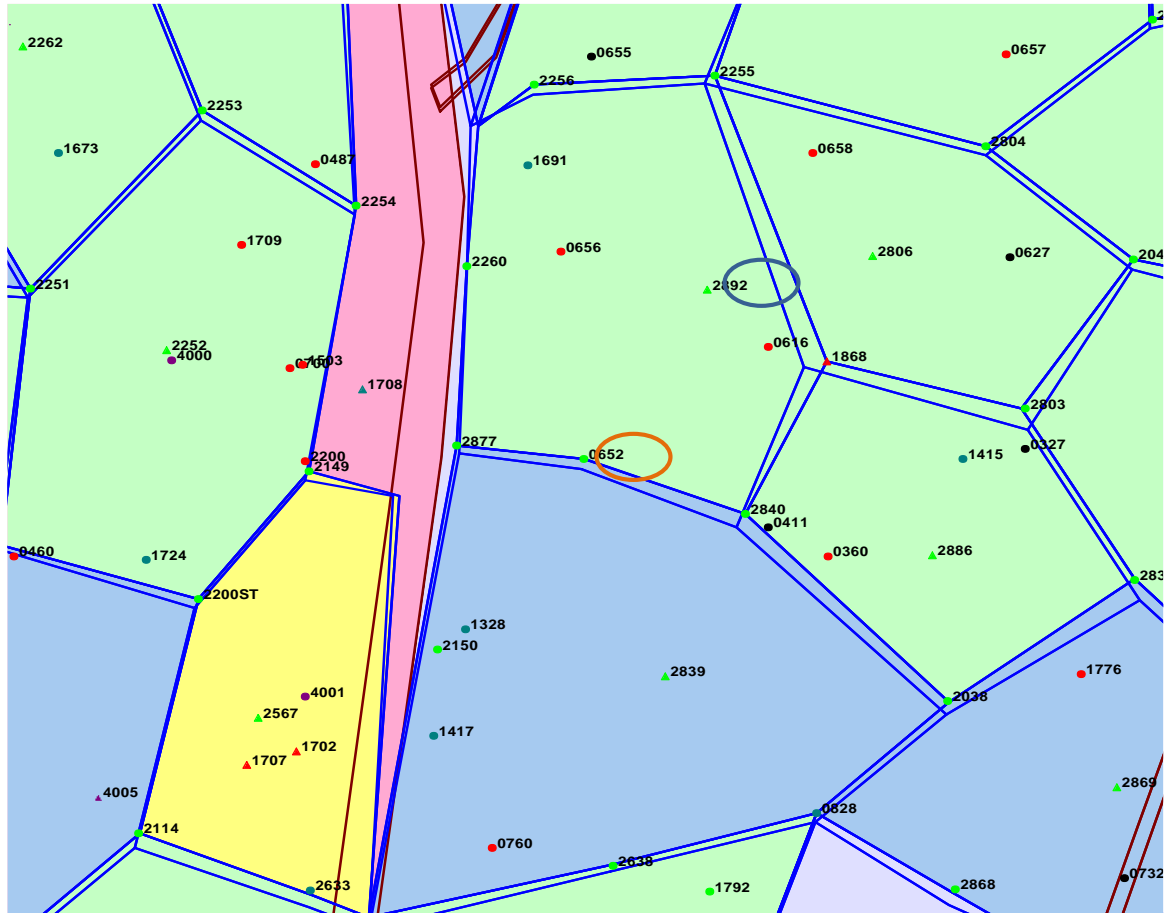
Para la medición con el equipo portátil, se contaba con un contrato donde se toman en promedio 80 medidas diarias, lo cual permite que cada pozo tenga por lo menos una medida semanal

#### **4.6. CASOS DE ESTUDIO**

##### **4.6.1 CANLIZACIÓN EN EL PRODUCTOR 652**

El 24 de abril se cierra el inyector 2892, debido a la canalización presentada en el productor 0652, este pozo producía 137 BFPD con un BSW de 86%, ver figura 31.

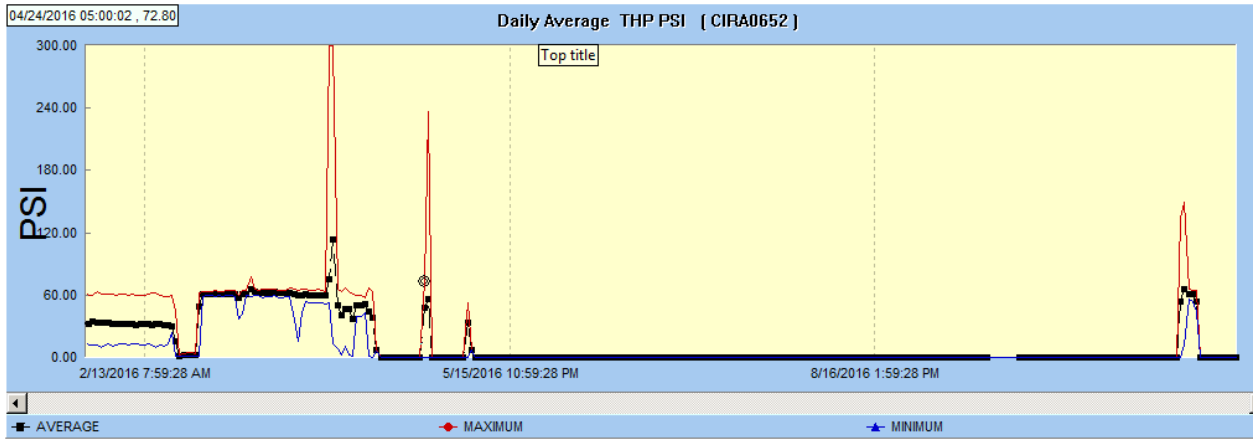
Figura 31, Patrón de inyección 2892



Fuente. Software DSS

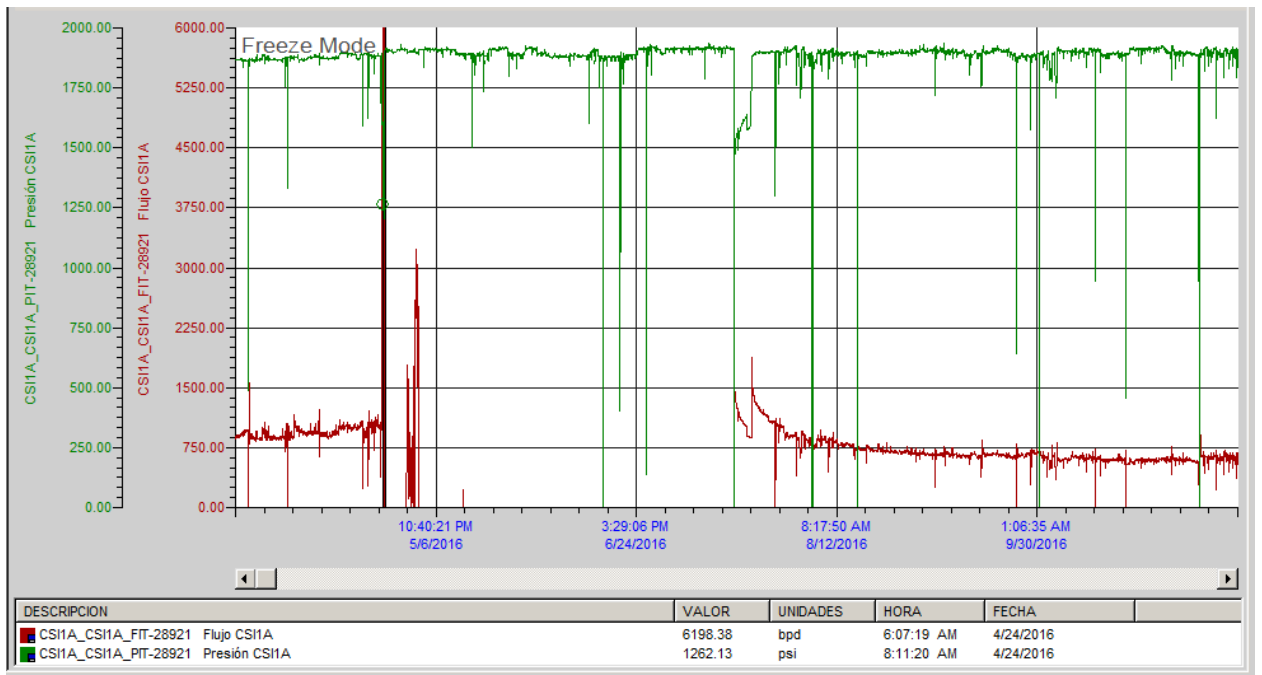
Una vez se detecta la canalización en el productor, la cual se manifiesta mediante un aumento de presión en tubería, al igual que el afloramiento de fluidos aceitosos con presencia de arena en un área cercana, se revisan los inyectores pertenecientes al patrón de producción, encontrando que el inyector 2892 había pasado de inyectar 1100 BAIPD a 6000 BAIPD, ver figura 32

Figura 32, Comportamiento THP productor



Fuente. Software LOWIS

Figura 33, Comportamiento inyector



Fuente. Software ICONICS

El aumento de inyección se presenta de forma repentina y a pesar que el inyector se encuentra monitoreado, no se detecta la falla sino hasta presentarse la contaminación en el productor, esto es casi 15 horas después, ver figura 33

❖ Consecuencias:

- Perdida de producción de 19 barriles de aceite diarios
- Intervención en el plano por bioremediación de la zona afectada
- Se han realizado dos intervenciones de well services, cada uno con una inversión cercana a los 85.000 dólares
- El pozo continúa parado, posiblemente se deba abandonar.

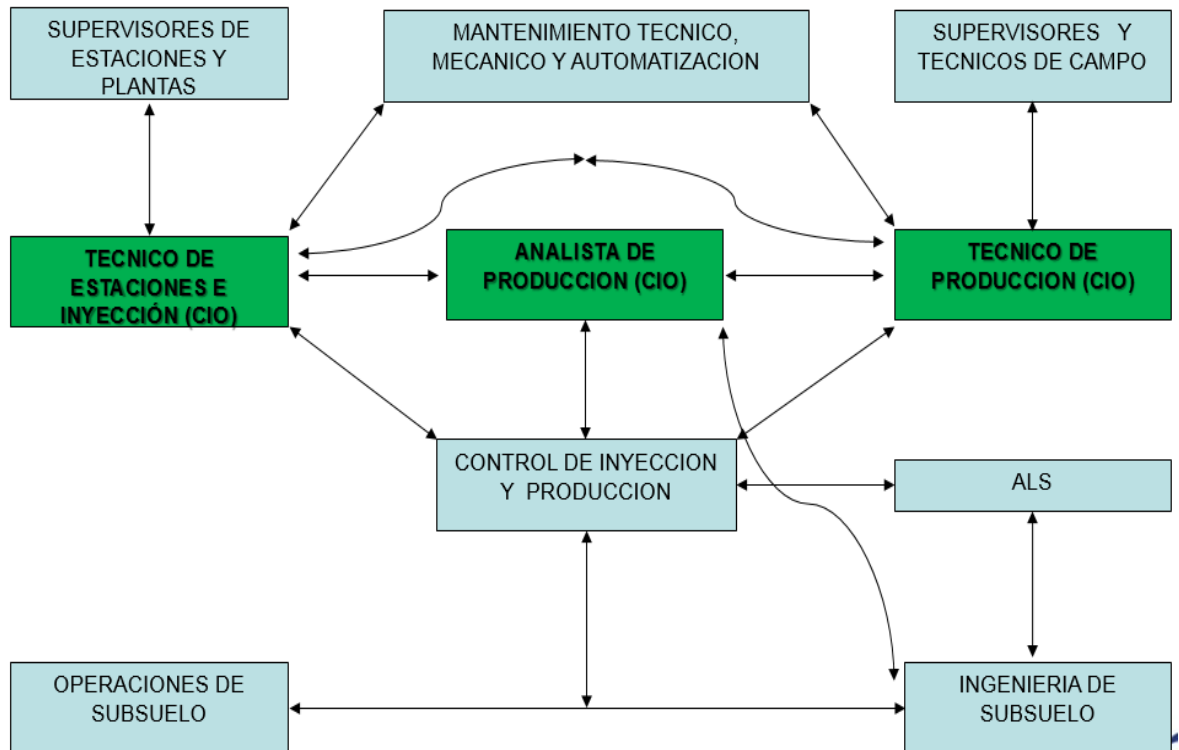
❖ Como se pudo evitar

- No se contaba con las alarmas necesarias que permitieran informar al técnico sobre la variación de caudal presentada en el inyector, al tenerse dichas alarmas se hubiese podido tomar acción sobre el inyector, las cuales normalmente serian bloquear temporalmente la inyección en el pozo, tomar un perfil que permita identificar las zonas problema e instalar las Válvulas o dummy's, que permitan controlar los problemas de sobrecaudal en el inyector y con esto haber evitado la perdida de producción y contaminación en el productor.

## **5. ESQUEMA IMPLEMENTADO EN EL CUARTO DE CONTROL (CIO)**

La estructura inicial del cuarto integrado de operaciones fue modificada incluyendo dos cargos de los cuales carecía el CIO, incorporando a sus funciones la del monitoreo de plantas de inyección, estaciones de recolección, y seguimiento a casetas de inyección y pozos inyectoros, ver figuras 34.

Figura 34, Organigrama implementado



Fuente. El autor

## 5.1 FUNCIONES DEL TECNICO DE PRODUCCIÓN

El Técnico de producción cumple con las siguientes funciones:

- ❖ Apagado y Encendido de Pozos
- ❖ Registrar y reportar el tiempo de diferida de los pozos
- ❖ Registrar cambios en los pozos y actualizar la base de datos (LOWIS) luego de wellservice o intervención con modificaciones (ej. cambios de recorrido)
- ❖ Direcccionar técnicos a pozos con problemas.
- ❖ Identificar, validar y reaccionar a pozos fallados

- ❖ Coordina con mantenimiento los trabajos requeridos para el correcto funcionamiento del sistema de monitoreo.
- ❖ Coordinar la desconexión y puesta en funcionamiento del equipo del equipo de automatización antes y después de un WS
- ❖ Identificar y gestionar la solución a problemas de alarmas de hardware en pozos
- ❖ Interactuar con el ingeniero de Control

## **5.2. FUNCIONES DEL TECNICO DE ESTACIONES E INYECCIÓN**

El Técnico de estaciones e inyección cumple con las siguientes funciones:

- ❖ Monitoreo de las presiones de entrada y salida de las estaciones de recolección
- ❖ Monitoreo de niveles de tanques
- ❖ Seguimiento a los parámetros de los separadores
- ❖ Seguimiento a las condiciones de operación de los sistemas de tratamiento de agua
- ❖ Monitoreo de las presiones de los separadores de la red de gas de anulares
- ❖ Monitoreo de presiones de las plantas de inyección PIA5A, PIA3 y PIA6
- ❖ Seguimiento a presiones y caudales de operación de las casetas de inyección.
- ❖ Reportar a los operadores de plantas de inyección y estaciones de recolección de las variaciones presentadas detectadas en el CIO
- ❖ Reportar a los profesionales de mantenimiento y automatización de los daños o fallas detectadas.
- ❖ Descargar la data de presión y caudal de los pozos inyectoros, para ser cargada en AVM

### **5.3. FUNCIONES DEL ANALISTA DE PRODUCCIÓN**

El analista de producción nace como una necesidad de aprovechar la información suministrada por los sistemas de monitoreo y automatización enfocándose en la optimización de la producción, para esto se dispondrá de un ingeniero trabajando en horario al pito con las siguientes funciones;

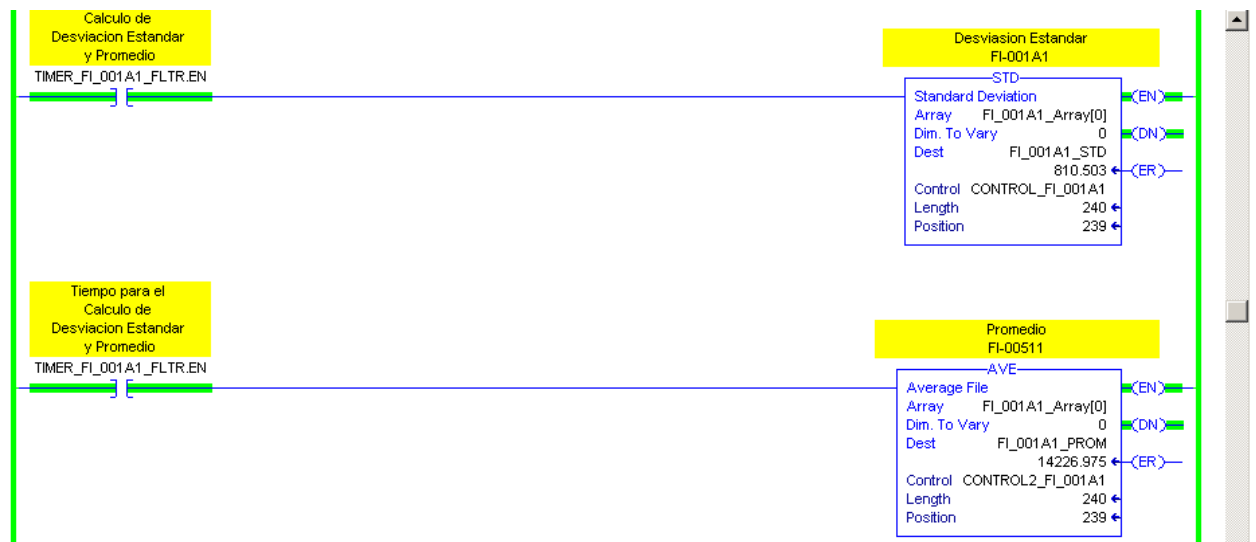
- ❖ Direccionar supervisores de campo a pozos con problemas de manera apropiada, informando previamente al ingeniero de control de producción del área
- ❖ Identifica, socializa y ejecuta oportunidades de ajuste en la capacidad de extracción (Superficie y Fondo) de acuerdo con el ingeniero de Control de Producción.
- ❖ Mantener todos los parámetros de configuración del sistema de automatización optimizados
- ❖ Interactuar con los técnicos del CIO y los profesionales de control de producción e ingeniería
- ❖ Identificar variaciones en las condiciones de operación de los pozos, pudiéndose anticipar a posibles problemas de arenamiento, o efectos del avance del frente de agua debido a la respuesta de la inyección de agua.

### **5.4. LOGICA DE DESVIACIÓN ESTANDAR**

Teniendo en cuenta situaciones como la presentada en el caso de estudio, se destinó un grupo de trabajo conformado por personal de mantenimiento (instrumentación), Control de Producción e Ingeniería de producción, para buscar una estrategia con la cual se lograra mitigar los impactos que producen los cambios repentinos de caudal en pozos inyectoros, conocidos como canalizaciones.

Como resultado de este trabajo conjunto se implementó un piloto de alarmas enfocado a detectar las variaciones importantes de caudal en las diferentes casetas de inyección, para lo cual se desarrolló una lógica de desviación estándar para indicadores de flujo (FI), ver figura 35.

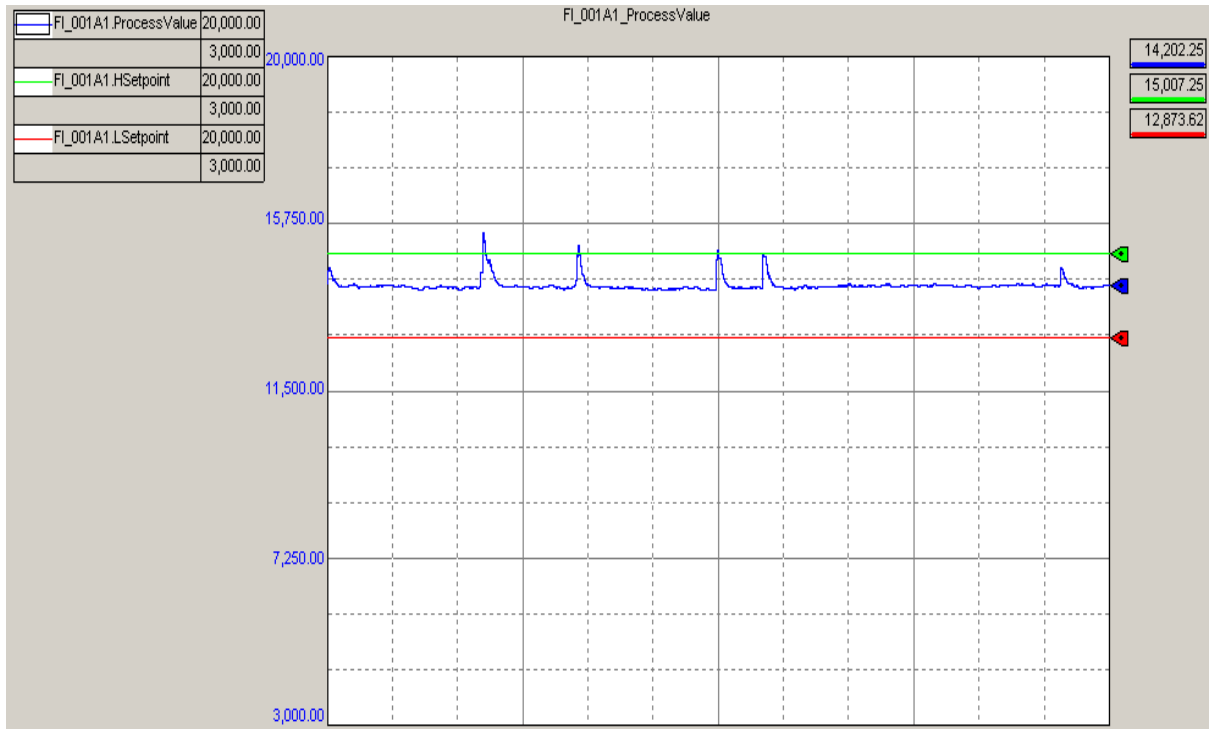
Figura 35, Lógica de desviación estándar



Fuente. Mantenimiento, Ecopetrol

La lógica de desviación estándar, autogenera bandas operativas más conocidas como valores de “BAJO BAJO” y “ALTO ALTO”, generando alarmas cuando estos límites son superados durante un periodo de tiempo previamente determinado, con esto se espera poder controlar de forma oportuna los problemas en pozos inyectoros, evitando que estos se reflejen en fallas en pozo productores, ver figura 36.

Figura 36, Lógica de desviación estándar



Fuente. Mantenimiento, Ecopetrol

## 5.5. ANALISIS ECONOMICO

Para implementar la nueva estrategia del cuarto integrado de control se realizaron las siguientes acciones:

- Eliminar el apoyo operacional en plantas y estaciones
- Crear el cargo de analista de producción
- Crear el cargo de Técnico de plantas e inyección
- Prescindir del contrato de medición de variables de inyección
- Reanudar el cargo de recorridor de medición para el área de inyección

La siguiente tabla muestra el balance económico, de las acciones implementadas, donde se logra un ahorro anual de \$1.082.538.093 millones de pesos, ver tabla 1

Tabla 1, Balance económico

ACTIVIDADES	VALOR UNITARIO	ESQUEMA ORIGINAL	ESQUEMA IMPLEMENTADO
		VALOR TOTAL	VALOR TOTAL
SERVICIO APOYO OPERACIONAL EN PLANTAS Y ESTACIONES	\$ 287.552	\$ 629.738.093	\$ -
OPERADOR CUARTO DE CONTROL	\$ 9.000.000	\$ 432.000.000	\$ 756.000.000
ANALISTA DE PRODUCCIÓN	\$ 9.000.000	\$ -	\$ 108.000.000
CONTRATO DE MEDICIÓN DE POZOS INYECTORES	\$ 34.000	\$ 992.800.000	\$ 108.000.000
<b>INVERSIÓN ANUAL</b>		<b>\$ 2.054.538.093</b>	<b>\$ 972.000.000</b>
<b>AHORRO ANUAL</b>		<b>\$</b>	<b>1.082.538.093</b>

Fuente. El autor

Estos ahorros representados en términos de valor presente neto nos da un NPV de M\$ 663 dólares, esto sin tener en cuenta ningún valor agregado, especialmente por la inclusión en el cuarto de control del cargo de analista de producción

Adicionalmente se realizó la evaluación teniendo en cuenta las siguientes premisas:

### CASO BASE

- Producción de fluidos de 410.000 barriles de fluido diarios
- Con un BSW de 90.5%
- Declinación de 12%
- Se realizaran 82 well services en pozos inyectoros con un costo de 250.000 dólares
- Para el caso base se consideran 410 intervenciones de well services en un año
- Costo por intervención de 95.000 dólares por pozo productor

## CASO OPTIMISTA 1

- Para este caso se consideran las mismas premisas del caso base, con un disminución de 5 fallas mensuales, es decir en un año se lograría reducir 60 fallas, ver tabla 2.

Tabla 2, NPV Optimista 1

RESUMEN INDICADORES ECONÓMICOS			
	CASO BASE	OPTIMISTA 1	PROJECT
ATCF - ROR	0,00%	0,00%	No/Multiple ROR
NPV@15%	M\$ 237.609	M\$ 248.081	M\$ 10.471
DPI@ 15%	No Capital	No Capital	No Capital
Payback	0,0 Months	0,0 Months	40,9 Months
Limite Económico	Dec-63	Dec-63	Jan-34
Gross MBO a Limite Económico	117.591	117.591	117.591

Fuente. El autor

## CASO OPTIMISTA 2

- Adicional a las consideraciones del caso optimista 1, se estima una disminución en la declinación del campo de un 1%, por optimización de la producción, ver tabla 3

Tabla 3, NPV Optimista 2

RESUMEN INDICADORES ECONÓMICOS			
	BASE CASE	OPTIMISTA 2	PROJECT
ATCF - ROR	0,00%	0,00%	No/Multiple ROR
NPV@15%	M\$ 237.609	M\$ 266.527	M\$ 28.915
DPI@ 15%	No Capital	No Capital	No Capital
Payback	0,0 Months	0,0 Months	16,6 Months
Limite Económico	Dec-63	Dec-63	Jan-63
Gross MBO a Limite Económico	117.591	128.084	128.084

Fuente. El autor

## CASO CONSERVADOR 1

- Para este caso se consideran las mismas premisas del caso base, con un disminución de 1 falla mensual, es decir en un año se lograría reducir 12 fallas, ver tabla 4.

Tabla 4, NPV Conservador 1

RESUMEN INDICADORES ECONÓMICOS			
	BASE CASE	CONSERVADOR 1	PROJECT
ATCF - ROR	0,00%	0,00%	No/Multiple ROR
NPV@15%	M\$ 237.609	M\$ 239.704	M\$ 2.094
DPI@ 15%	No Capital	No Capital	No Capital
Payback	0,0 Months	0,0 Months	40,9 Months
Limite Económico	Dec-63	Dec-63	Jan-34
Gross MBO a Limite Económico	117.591	117.591	117.591

Fuente. El autor

## CASO CONSERVADOR 2

- Adicional a las consideraciones del caso conservador 1, se estima una disminución en la declinación del campo de un 0.5%, por optimización de la producción, ver tabla 5.

Tabla 5, NPV Conservador 2

RESUMEN INDICADORES ECONÓMICOS			
	BASE CASE	CASO PESIMISTA 2	PROJECT
ATCF - ROR	0,00%	0,00%	No/Multiple ROR
NPV@15%	M\$ 237.609	M\$ 248.745	M\$ 11.134
DPI@ 15%	No Capital	No Capital	No Capital
Payback	0,0 Months	0,0 Months	10,8 Months
Limite Económico	Dec-63	Dec-63	Jan-63
Gross MBO a Limite Económico	117.591	122.624	122.624

Fuente. El autor

## 6. CONCLUSIONES

- La automatización permite reducir los tiempos de detección de fallas a solo unos minutos, algo que es de gran utilidad para direccionamiento de recursos y disminución de producción diferida por fallas.
- La automatización sin el adecuado monitoreo, puede convertirse en un lujo sin beneficios
- Se requiere implementar el cargo de analista de producción, para plasmar los beneficios de la automatización en oportunidades de optimización de la producción
- El aprovechamiento oportuno de las variables de comportamiento de pozos inyectoros a representado un significativo ahorro, al poder prescindir de un contrato anual cercano a los 1000 millones de pesos
- Con la creación del cargo de Técnico de estaciones y plantas, se logra una disminución importante en la inversión para apoyo a la operación, optimizando los recursos existentes, con personal calificado y reduciendo el riesgo de accidentalidad al no tener personal adicional directamente en las estaciones y plantas.
- La creación del cargo de analista, le da un apoyo importante al personal de control de producción, con lo cual se logra un mejor rendimiento del tiempo y recursos

## 7. RECOMENDACIONES

- Ampliar el piloto de desviación estándar al resto de las casetas de inyección
- Mantener en constante entrenamiento al personal de analistas de LOWIS e ingenieros de producción, para mejorar las habilidades de análisis e interpretación en el software LOWIS e ICONICS.
- Asegurar los recursos necesarios para el sostenimiento y mantenimiento de los sistemas de control y monitoreo
- Mantener trabajo en equipo entre analistas, técnicos, ingenieros de producción, personal de comunicaciones, software y automatización, para garantizar el sostenimiento del sistema.
- Implementar una estrategia de mantenimiento que permita recuperar el monitoreo en la totalidad de las casetas de inyección y asegurar los recursos para el mantenimiento preventivo de estos sistemas de monitoreo.

## BIBLIOGRAFÍA

FERRIGNO, Eugenio. Inferred production calculated in SAM, Lufkin Automation. Octubre de 2006.

MOYNE BOYER, Le; GIBBS, Sam; NOLEN, Ken; CORDOVA, Andy; ROBERSON, Alan. Well production testing using a rod pump controller. Lufkin Automation. 2005.

ORMEROD, L. (SPE, WEATHERFORD); SARDOFF, H (SPE); WILKINSON, J. (SPE); ERLERSON, B. (CHEVRON); COX, B. (SPE); STEPHENSON, G. (SPE, WEATHERFORD). Real time field surveillance and well services management in large mature onshore field: Case study. SPE 99949. Abril de 2006.

SÁNCHEZ, Juan Pablo; FESTÍNI, Diego; BEL, Oscar. Weatherford Argentina. Beam pumping system optimization through automation. Paper SPE # 108112. Abril de 2007.

Weatherford. LOWIS (Life of Well Information Software) BEAM USER GUIDE

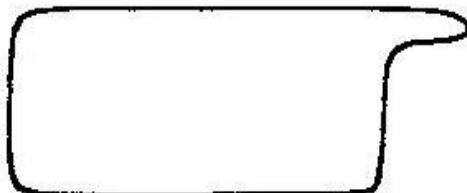
**Anexo A. Cartas dinamométricas tipo**



**Llenado completo -  
Tubería anclada**



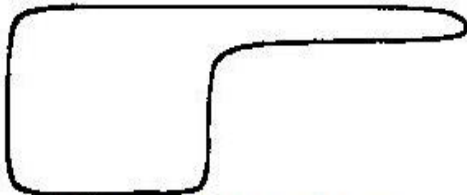
**Bomba llena - Tubería  
desanclada ó ancla suelta**



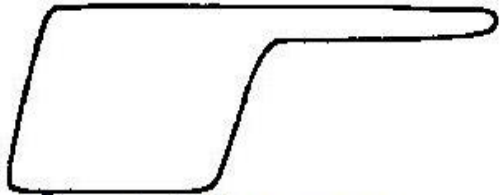
**Golpe de fluido moderado-  
Tubería anclada**



**Golpe de fluido moderado -  
Tubería sin anclar.**



**Golpe de fluido severo -  
tubería anclada.**



**Golpe de fluido severo -  
Tubería sin anclar.**

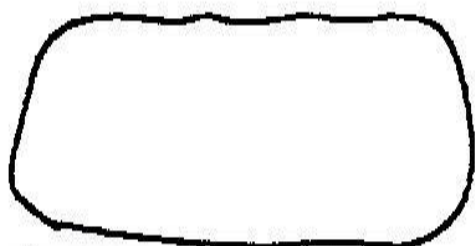


**Condición pumping off -  
Tubería anclada.**

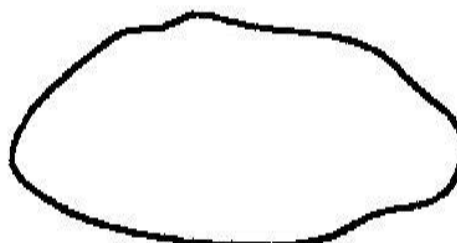


**Manfuncionamiento del ancla  
de tubería.**

**Formas Típicas de Cartas  
Dinagráficas de Fondo de pozo.**



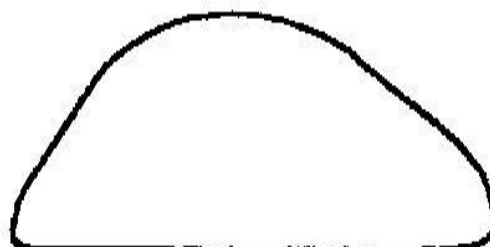
Bomba con leve desgaste.



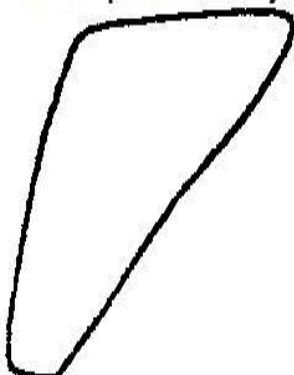
Bomba totalmente desgastada.



Bomba severamente desgastada,  
varillas partidas ó flujo natural.



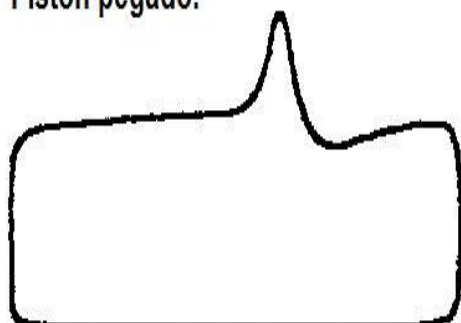
Fuga severa en válvula viajera.



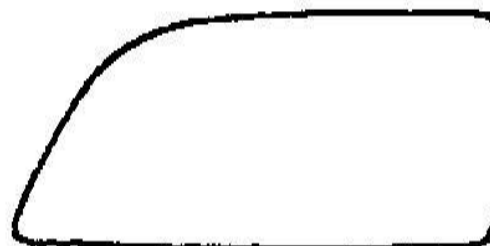
Pistón pegado.



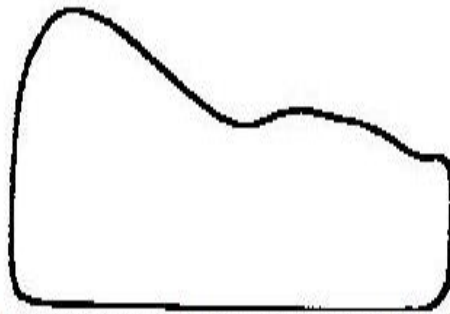
Cierre retardado de la válvula viajera.



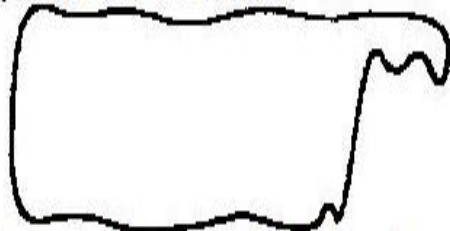
Atascamiento de pistón durante  
carrera ascendente.



Efecto combinado de tubería desanclada  
y fuga en la válvula viajera.



Llenado completo-alta aceleración de fluido, pozo somero alto caudal.



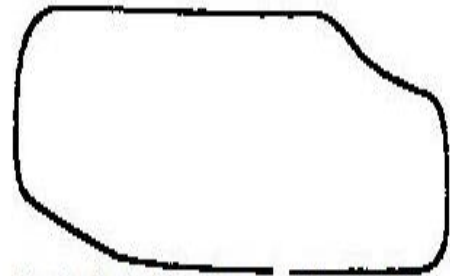
Leve golpe de fluido, varillas de fibra de vidrio.



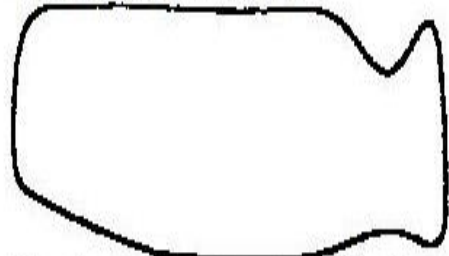
Bomba llena - Varillas de fibra de vidrio.



Llenado completo con alta fricción entre tubería y varillas.



Bomba llena, fricción superficial, (stuffing box apretado, parafina, etc).



Llenado completo con excesiva fricción en stuffing box.



Golpe de fluido y reflexión de onda de las barras de peso.



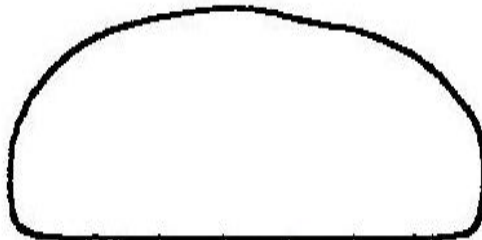
Bomba llena con alta fricción de fluido.



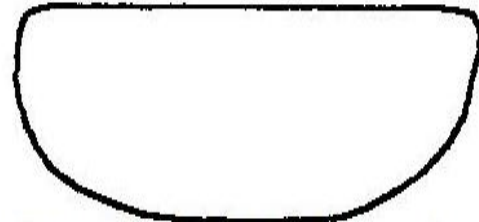
Llenado completo, golpe del piston en fondo, espaceamiento pobre.



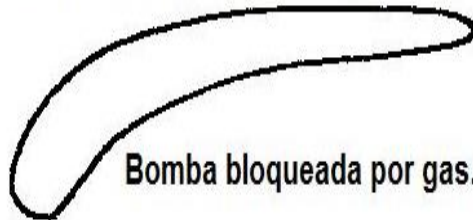
Bomba llena, golpe del piston subiendo, sobre espaceamiento.



Fuga en válvula viajera ó en piston.



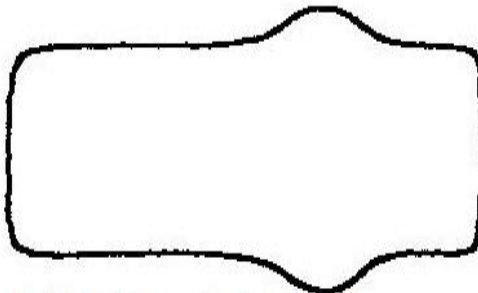
Fuga en la válvula fija de la bomba.



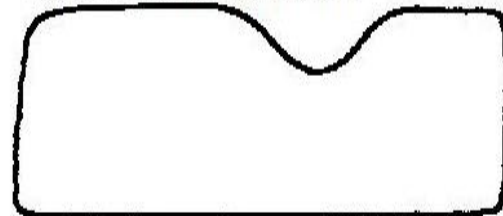
Bomba bloqueada por gas.



Interferencia por gas - sobre espaceamiento del piston.



Barril colapsado ó pegado.



Barril desgastado ó deformado.

Fuente: LUFKIN, Dynagraph interpretation course, octubre de 2008.