

TELECOMANDO DE POZOS – EXPERIENCIAS DE CAMPO

Juan Carlos Rodriguez, Tecpetrol,

Alfonso Reyes, Halliburton

Abstracto

El presente trabajo mostrará las experiencias de campo recogidas durante la implementación de un sistema de telecomando de pozos productores de gas y condensado en el que se utilizan innovadoras técnicas.

El sistema de telecomando se instala en 7 pozos de los yacimientos de Chango y La Porcelana, ambos colindantes. Estos yacimientos están ubicados en la cuenca del noroeste argentino en la Provincia de Salta, con accidentada topografía y abundantes lluvias.

Con este sistema de telecomando de pozos se obtienen respuestas rápidas de producción a requerimientos de la demanda de gas desde las transportadoras.

Para que los pozos puedan regular su producción de gas en forma remota se utilizan válvulas de orificio ajustable, actuadores eléctricos, controladores electrónicos inteligentes en el pozo, sensores electrónicos, paneles solares y un sistema radial para transmisión de datos.

El sistema de telecomando mejora los regímenes de producción al mantener un control balanceado e inmediato desde los pozos.

La seguridad del personal se mejora debido a que se evita que recorran grandes distancias para efectuar maniobras de regulación de producción en épocas de intensas lluvias, y los caminos se tornan intransitables.

Localización del Yacimiento

Los yacimientos Chango Norte y La Porcelana están localizado sobre las Sierras de San Antonio, integrando el sector austral de la misma al Sur del yacimiento Ramos, al Norte de la provincia de Salta, a 100 Km al sur de la ciudad de Tartagal. Forma parte de la cuenca del noroeste argentino. Ambos yacimientos distan aproximadamente 40 kilómetros siguiendo el curso del camino.

Los pozos se perforaron con el objetivo de explorar y desarrollar las reservas de gas y condensado alojadas en las cuarcitas fracturadas de la Formación Huamampampa, están ubicados sobre las serranías y los caminos de acceso serpentean hacia ellos. En época estival los caminos se tornan de difícil acceso.

Descripción de los pozos

Los pozos de Chango Norte y La Porcelana son de completación simple con tubería de producción de 3.5" y 4". Las armaduras de los pozos son de 4-1/16" serie 5000 API.

Los pozos de Chango Norte son CN.x-1, CN.a-2, CN.a-3 y CN.a-5. Los pozos de La Porcelana ubicados en la parte norte de la estructura son LP.x-1001, LP.a-1002 y LP.a-1003.

La perforación de los primeros pozos se realizó en 1994.



DETALLE DE ESTADO DE POZOS

Pozo	Profundidad (m)	Tubing		Completacion	Producción			Equipamiento de superficie					
		Diámetro (Pulg.)	Material		Orificio (mm)	Gas (Mm3/d)	Petróleo (m3/d)	VSS	Gas scrubber	Bomba p/químico	Panel de control	ESD	Choke ajustable
CN x-1	3304	4	Cr-13	Vertical	44,00	905	106	si	si	si	si	si	si
CN a-2	3410	4½	Cr-13	Alto ángulo	38,00	1050	116	si	si	si	si	si	si
CN a-3	3140	4½	Cr-13	Alto ángulo	38,00	1300	129	si	si	si	si	si	si
CN a-5	3245	4½	Cr-13	Horizontal	32,00	1345	160	si	si	si	si	si	si
LP x-1001	3085	4	Cr-13	Vertical	50.8	574	57	si	si	si	si	si	si
LP a-1002	3306	3½	Std	Alto ángulo	25,00	570	45	si	si	si	si	si	si
LP a-1003	3225	4½	Cr-13	Horizontal	32,00	410	48	si	si	si	si	si	si

Sistema de Seguridad

En cada pozo se instaló una válvula de seguridad de subsuperficie (VSSS) y una válvula de seguridad de superficie.

La válvula de seguridad de subsuperficie está instalada a una profundidad somera (alrededor de 100 metros) y tiene como función cerrar el pozo cuando surge algún evento indeseable como una rotura en la línea de producción o un incendio. La VSSS protege a toda la instalación desde su punto de instalación hacia adelante. La VSSS es del tipo normalmente cerrada y es mantenida abierta por fluido de control hidráulico. Esta presión es generada desde un panel de control en superficie.



Figura 1: Válvula de seguridad de subsuperficie (VSS) con actuador neumático

Otro elemento de seguridad es la válvula de seguridad de superficie (VSS). La válvula de seguridad de superficie consiste en una válvula esclusa de acción inversa, es decir, se cierra cuando se gira la manivela en sentido antihorario. Este tipo de válvula de acción inversa permite que al montarse un actuador sobre la válvula esta se convierta en una válvula

normalmente cerrada. Al imponérsele una potencia al actuador este accionara sobre el vástago de la válvula hacia abajo y ésta se abrirá. Cuando al actuador se le libere de la energía contenida en su cilindro que actúa sobre el pistón, el vástago sube y la esclusa se cierra impidiendo el tránsito de flujo aguas abajo.

En ambos yacimientos se emplearon dos tipos de válvulas de seguridad de superficie: de tipo neumático y de tipo hidráulico.



Figura 2: Actuador hidráulico montado sobre la válvula maestra de armadura de urgencia

En el caso del neumático se usa el mismo gas del pozo acondicionado para proveer de una presión neumática entre 150 a 250 psi al cilindro del actuador. En el actuador hidráulico se usa aceite hidráulico a una presión entre 4500 y 6000 psi. Esta presión es generada por una bomba hidráulica convencional.

El control de los dos sistemas de seguridad, tanto de la VSSS como de la VSS se centralizó en un panel de control neumático hidráulico que tiene como función cerrar ambas válvulas en caso de que se presente algún evento anómalo que ponga en riesgo la seguridad. Para eso el panel tiene dos pilotos: uno que detecta altas presiones y otro baja las bajas presiones. La VSS cerrará cuando el piloto detecte una alta presión encima del valor configurado, mientras que la VSSS cerrará cuando la presión caiga por debajo del valor de baja del piloto; a continuación del cierre de la VSSS se deberá cerrar al cabo de unos segundos, la VSS.

La VSS, en todos los pozos, se escogió que fuera instalada sobre la válvula sobremaestra.

Controlador Electrónico de Pozo

En cada uno de los pozos se encuentran instalados los controladores electrónicos inteligentes de pozo o Well Control Unit (WCU). Estos controladores se encargan de monitorear las señales de los sensores ubicados en distintos puntos sobre las instalaciones de producción del pozo y enviarlos vía radio hacia la sala de control en la planta donde se encuentra una computadora SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) en la cual se visualizan las variables sensadas.



Figura 3: Well Control Unit (WCU) o Controlador Electrónico de pozo

El controlador también realiza decisiones de tipo local, como el cierre de las VSSS y VSS cuando se presenta alguna presión anormal que indique riesgos sobre las personas e instalaciones.

Algunas de las características más sobresalientes del Well Control Unit

- Control de chokes de tipo aguja y de tipo jaula.
- Algoritmo de control para actuador eléctrico montado sobre el choke.
- Salida de control de tipo digital permitiendo ahorro de energía en sistemas alimentados con paneles solares, como en este caso.
- Parámetros de movimiento del choke del día actual, día anterior, tiempo consumido en el movimiento.
- Detección de sobretorque para proteger al motor eléctrico contra altos torques.

Además al controlador puede habilitarse para que cierre el choke inmediatamente después que ocurrió un cierre de emergencia del pozo o ESD, o mantener el choke en su misma posición en ese mismo evento.

Otra característica de este controlador de pozo es que toma decisiones locales para el cierre del pozo en el caso en el que alguna variable sobrepase algún límite, sea este Hi-Hi o Lo-Lo. Por ejemplo, si la presión de línea cae por debajo de 500 psi, que sería el límite lo-lo prefijado, entonces el Well Control Unit mandaría a cerrar el pozo si este fue previamente configurado para tal acción. Este tipo de acción adiciona redundancia en el caso que el panel de control neumático-hidráulico no funcionara apropiadamente o llegara a retardar su acción.

El WCU tiene en su parte frontal un teclado y una pantalla de cristal líquido de cuarzo (LCD) desde el cual se puede monitorear, modificar setpoints, enviar comandos de apertura y cierre de choke, enviar un ESD, cerrar o abrir la VSS,

configurar alarmas, y calibrar los instrumentos analógicos.

Sensores e Instrumentación

Los sensores analógicos instalados en cada uno de los pozos son:

- Presión de cabeza de pozo
- Presión de línea
- Presión de casing
- Presión de línea de control hidráulico de la VSSS
- Presión de inyección de químico
- Nivel de tanque de químico
- Sensor de posición de orificio del choke
- Voltaje de batería
- Temperatura dentro del Well Control Unit



Figura 4: El Instrument Junction Box es una caja de acero inoxidable que contiene a los sensores de presión: casing, línea, tubing, e inyección de químico

Los sensores de tipo discreto son:

- Presóstato de gas de instrumentación
- Sensor de sobretorque del actuador eléctrico del choke
- Sensor de apertura de puerta

- Sensor de apertura y cierre de la VSS

Para efectuar el control del sistema de seguridad, y en particular de la VSSS y de la VSS se proveyó de:

- Solenoide de cierre y apertura de la VSS
- Solenoide de ESD

El solenoide de ESD actúa sobre ambas válvulas ya que se trata de un cierre por emergencia.

Chokes y Actuadores eléctricos

En este proyecto se utilizaron chokes de tipo jaula. Se prefirió este tipo de chokes por la mejor distribución de las presiones internas dentro del cuerpo de la válvula al comparársele con las de tipo aguja. Esta mejor distribución de presión alarga la vida del cuerpo de la válvula y la del trim al concentrar la vena de flujo no sobre el asiento y obturador sino sobre una zona arriba donde se contrarrestan las presiones.

Se utilizó dos modelos de chokes. Uno de alto Cv y otro de mediano Cv. El de alto Cv con un valor de 100 tiene una máxima apertura de orificio de 160/64", mientras que el de mediano Cv de 50 tiene una máxima apertura de orificio de 116/64".



Figura 5: El choke que se muestra aquí tiene un orificio máximo de 160/64"

Los chokes de alto Cv se instalaron tres en los pozos de más alta producción y los de mediano Cv se instalaron en resto de los pozos.

Los chokes son todos de acero inoxidable con internos de carburos de tungsteno. Son de 4-1/16" y serie 5000 API.

Los chokes de tipo jaula al contrario de los de aguja, no tienen un asiento y obturador, sino tienen un elemento inferior (flow nozzle) con cuatro agujeros: dos pequeños en su parte inferior y dos grandes en su parte superior. Este conjunto de agujeros actúa como un orificio de regulación pero de tipo distribuido en forma lateral. Un collar (flow collar) sube o baja en forma concéntrica liberando o cubriendo a los agujeros creando la secuencia de regulación mediante el ascenso o descenso vertical del flow collar. Hay una camisa externa que envuelve a ambos elementos que hace la función de proteger al cuerpo contra la vena de flujo que proviene de la entrada lateral.

Estos chokes de tipo jaula, gracias a su buena distribución de presiones, tiene un bajo torque y son ideales para aplicaciones de control con actuador.



Figura 6: Entre el actuador eléctrico y el Choke va montado un kit de enlace mecánico

Para que los chokes puedan ser actuados en forma remota se seleccionaron actuadores eléctricos. Este criterio se tomó debido a la exitosa experiencia en otros yacimientos similares con este tipo de actuadores, por la reducida cantidad de elementos que requiere y por el bajo mantenimiento.

Los actuadores eléctricos, de tipo antiexplosivo, se montaron hacia el vástago del choke por medio de un enlace mecánico. Este enlace mecánico no obstruye el indicador de posición propio del choke.

Los actuadores eléctricos utilizan la misma fuente de alimentación del resto de dispositivos electrónicos, el subsistema de alimentación solar, dado que los pozos no tienen otra fuente de energía disponible por ubicarse en zonas remotas.

Los requerimientos de energía eléctrica de los chokes se basaron en que los mismos realizarían tres aperturas y cierres completos. Cada choke necesita 17 vueltas para un cierre completo y otras 17 vueltas para una apertura completa.

Cierre del pozo con solenoide de ESD

Para el cierre del pozo en forma automática por medio del ESD (Emergency Shut Down) existen los siguiente mecanismos:

- Estándar: El ESD cuando ocurre cierra a la VSSS y la VSS por medio del panel de control neumático-hidráulico. Ambas válvulas se mantienen abiertas mientras el circuito de ESD se encuentre presurizado. Al presentarse un ESD este circuito se despresuriza y se cierran ambas válvulas. En este caso no interviene ningún dispositivo electrónico. Este circuito de ESD se puede despresurizar por acción de los pilotos de alta y baja, un botón de ESD ubicado al borde de la locación o por el derretimiento de un tapón de temperatura.
- ESD por comando remoto: Al circuito de ESD presurizado también se encuentra conectado una válvula solenoide que puede ser activada eléctricamente. Este solenoide está conectado al controlador electrónico del pozo y este a su vez a la computadora

SCADA de la planta por medio de un enlace de radio. El operador de la planta al efectuar

un click con el mouse sobre el botón de ESD envía este comando al WCU y este a su vez envía la señal al solenoide de ESD para que ventee el circuito de ESD.

- ESD automático: El elemento clave para este cierre de tipo electrónico es que el WCU cuenta con un registro de alarmas de tipo Lo-Lo y Hi-Hi y que estas son monitoreadas en tiempo real en el pozo. En el momento en que algunos de estos límites son rebasados por algunas de las variables indicadas, como presión de línea o presión de tubing, el WCU, en forma local, en el pozo, toma acción y envía una señal al solenoide de ESD para que este ventee el circuito de ESD y se cierre el pozo.

Entonces, cuando se presenta un ESD se cierran ambas válvulas de seguridad, la VSSS y la VSS.

Cierre y apertura del pozo con solenoide de VSS

El cierre y apertura de la Válvula de Seguridad de Superficie se realiza también por medio de un solenoide. El cierre y la apertura pueden realizarse del controlador en el pozo o desde la aplicación SCADA en la planta.

La razón por la cual se decide cerrar o abrir la VSS solamente es aliviar acciones innecesarias sobre la válvula de seguridad de subsuperficie.



Figura 7: Sensores de fin de carrera de un actuador hidráulico

Para sensar que la VSS está abierta o cerrada se usan unos sensores de carrera en ambos extremos de la posición del vástago del actuador.

Cableado Antiexplosivo Flexible

Con el fin de facilitar un método de montaje y desmontaje de la instrumentación electrónico del sistema de telecomando de pozos, se requería de conductos eléctricos que cumplieran las siguientes condiciones: seguros contra explosión, fácil instalación, resistente a los golpes y maniobras en los pozos, resistente a la luz solar, resistente a la corrosión, permitir el cableado de triadas de instrumentación y cables de potencia.

Después de una investigación en el mercado se encontró un cable antiexplosivo de tipo flexible llamado "MC-cable" o Metal Clad. Este cable tiene una estructura metálica externa de aluminio de tipo corrugado que le da características de flexibilidad y rigidez al mismo tiempo. Tiene dureza para resistir impactos o el paso de las personas sin abollarse.

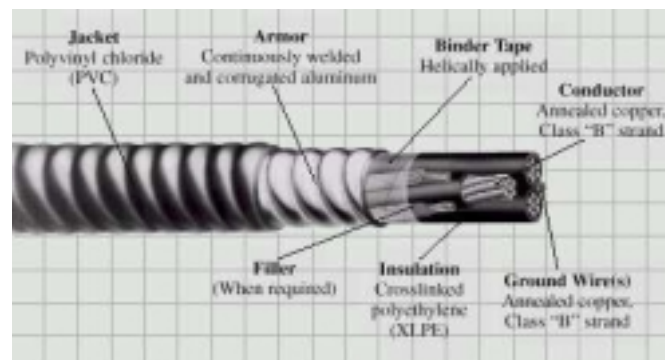


Figura 8: El cable antiexplosivo flexible tiene una cobertura externa de PVC y luego una capa de aluminio corrugado continuamente soldado para proteger al cable contra impactos

El cable antiexplosivo flexible disminuye al mínimo la cantidad de accesorios muy comunes en las instalaciones con conducto rígido antiexplosivo, como curvas, uniones dobles, cajas de inspección, selladores, etc. El sello contra el paso del gas dentro del conducto

flexible se realiza sobre la misma unión a las cajas de instrumentación y su diseño es tal que permite que se desenrosque para los casos en que se tenga que desmontar el sistema.

Las características más importantes de los cables antiexplosivos flexibles son:

- Armazón flexible resistente al impacto.
- Resistente al hidrocarburos, luz del sol y humedad.
- Conducto eléctrico y cableado autocontenido.
- Armazón de aluminio corrugado continuamente soldado.
- Aislado térmicamente.
- Buenas propiedades mecánicas.



Figura 9: en esta vista se aprecia la parte inferior del cableado antiexplosivo flexible en su acometida al WCU

Los cables antiexplosivos flexibles que se usaron tienen varios diámetros, dependiendo de la cantidad de cables internos que transporten. Se usaron cables de 1-1/4", 1" y 1/2". El cable de 1-1/4", por ejemplo, transportaba 8 triadas de alambre AWG-16 para la instrumentación y el cable de 1/2" transporta una triada de alambre AWG-12 para conducir la corriente eléctrica de 12 Vdc por 6 amperios para mover el actuador eléctrico.

Puesta a Tierra

La puesta a tierra fue uno de los subsistemas más discutidos durante la fase de ingeniería. La zona es abundante en tormentas eléctricas y por

estas los pozos en partes altas y descubiertas se convertían en lugares sensibles al ataque de los rayos o descargas eléctricas secundarias.

Dadas algunas malas experiencias con instrumentación electrónica en zonas vecinas y similares se dió mucha énfases en que el diseño de puesta a tierra fuera el mejor posible.

La tarea empezó efectuando mediciones de resistividad en todos los pozos que en promedio dió entre 60 y 80 ohmios-metro. El objetivo del diseño era entregar 1 a 2 ohmios en todo el circuito de puesta a tierra. El estándar pedido en la zona es de 5 ohmios.

El diseño del circuito contempló el uso de electrodos verticales con jabalinas de 1/2" de diámetro y 3 metros de largo, y electrodos horizontales constituidos por cable de cobre de 1/2" de diámetro en distintas longitudes dependiendo de la geometría de la locación y la distribución de caños de producción.

Se debe resaltar aquí que las mediciones de la puesta a tierra efectuadas con telurímetro fueron muy cercanos a los obtenidos en los cálculos teóricos.

Radiocomunicaciones

Para la comunicación entre el controlador de pozo, WCU, y la estación maestra en la planta Chango Norte se usó un sistema de radiocomunicaciones Spread Spectrum. Estas radios de tipo digital tienen las siguientes características:

- Potencia de transmisión máximo de 1 vatio.
- Banda de frecuencia de 902 a 920 MHz.
- No necesitan licencia para su uso.
- Forman una red de radios donde a cada red se le puede asignar una dirección de las 65000 disponibles.
- Salta de frecuencia en frecuencia de las 1019 disponibles.
- Hasta 19200 bits por segundo de velocidad.
- Transmisión de datos transparente a los protocolos.
- Baja potencia de consumo.
- Configuración sencilla.

Este tipo de radios se seleccionó principalmente porque no se requiere de una licencia convencional de uso para la frecuencia, su alta velocidad de transmisión de datos, su fácil configuración y por su impermeabilidad a las interferencias tan comunes a frecuencias bajas.

Conclusiones

1. El sistema de telecomando de pozos mejora el control de producción de los pozos de gas al permitir un control balanceado y una respuesta inmediata a las demandas de gas del mercado.
2. Mejora la seguridad del personal al evitar la presencia humana en el pozo para cambios de orificio y otras maniobras de producción que las puede efectuar el controlador electrónico.
3. Se mejoran los costos al disminuir el tránsito en el yacimiento.
4. Se mantiene un control continuo de los pozos sin importar el estado de los caminos cuando son afectados por las intensas lluvias.
5. El cableado antiexplosivo flexible permite un fácil montaje y desmontaje, sobre todo en los casos de intervención al pozo por un equipo de workover. El cable antiexplosivo flexible disminuye la cantidad de piezas a usar típicas de montajes antiexplosivos con conducto rígido.El cableado antiexplosivo flexible permite un fácil montaje y desmontaje, sobre todo en los casos

de intervención al pozo por un equipo de workover. El cable antiexplosivo flexible disminuye la cantidad de piezas a usar típicas de montajes antiexplosivos con conducto rígido.

6. El sistema de radiocomunicaciones Spread Spectrum acelera el funcionamiento y puesta en servicio de un sistema de telemetría al no requerir de una licencia estándar ya que estas radios trabajan en una banda muy alta de 902 a 928 MHz y no en una frecuencia fija.

Bibliografía

1. Olszewski K. , Perkins D. , plunkett J. y Godfrey C. "Alternatives to proprietary systems for safety and production automation", SPE Paper N° 28805, November 1994.
2. Rodriguez J.C., Fernadez D.O. , Dubie R.E. y Chiaraviglio P. ," Operación de pozos por telecomando", IAP-3° Jornadas de informática aplicada a la producción de hidrocarburos-Noviembre 1994.

Cableado antiexplosivo flexible, MC-cable

			Triadas	AWG	Diam.
Cable No	End #1	End #2			
W1	IJB	WCU	8	16	1-1/4"
W2	WHJB	WCU	8	16	1-1/4"
W3	WHJB	WCU	1	12	1/2"
W4	CPJB	WCU	8	16	1-1/4"
W5	SSV	WHJB	1	16	1/2"
W6	ACT ELEC	WHJB	1	12	1/2"
W7	ACT ELEC	WHJB	4	16	1"

Tabla 1: Cables antiexplosivos usados.

Sus calibres en AWG, sus diámetros y cantidad de triadas por cable

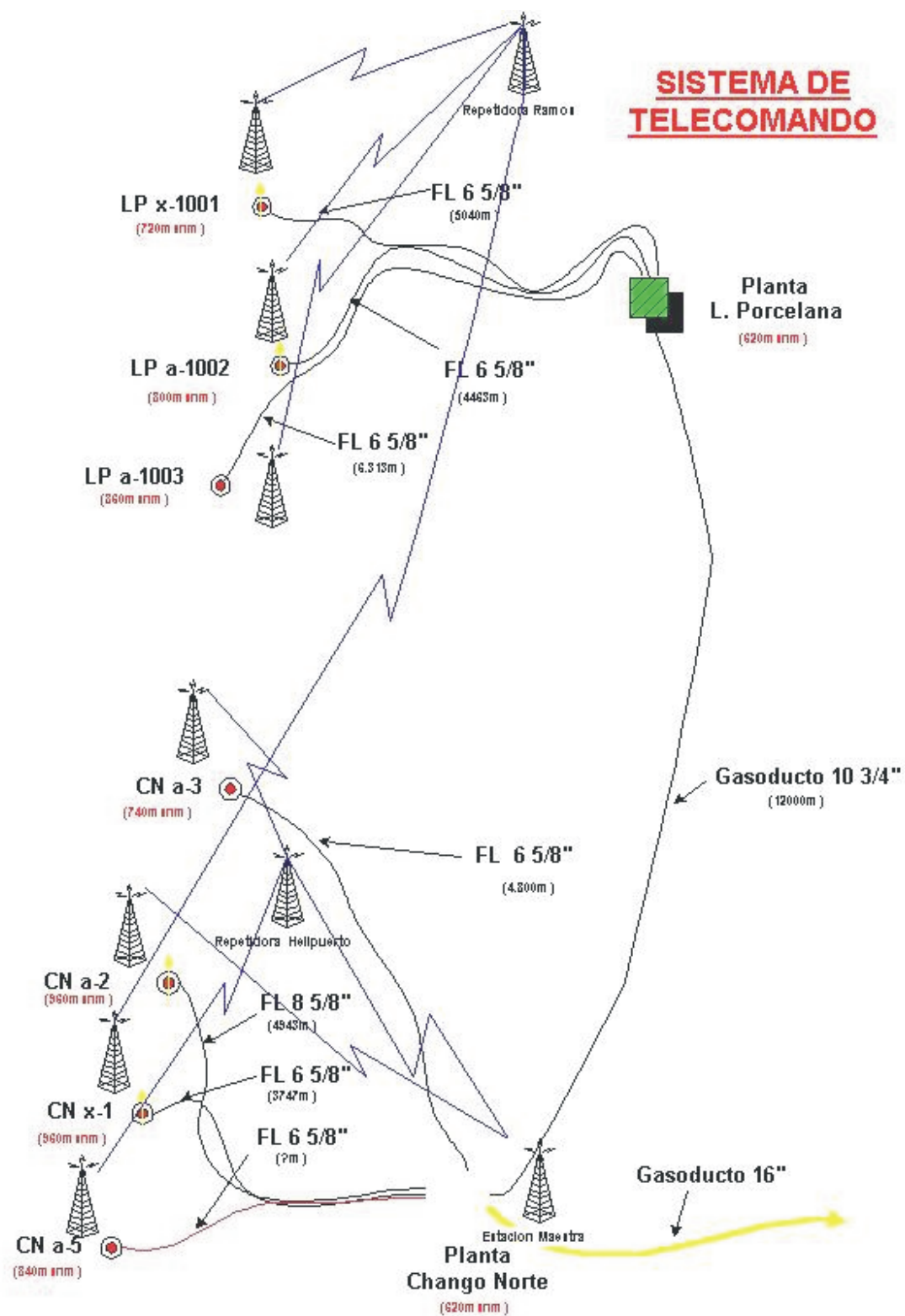


Figura 10: Esquema de distribución de pozos y radiocomunicaciones en los yacimientos Chango Norte y La Porcelana

Figura 11: Ubicación de yacimientos y datos relevantes de pozos

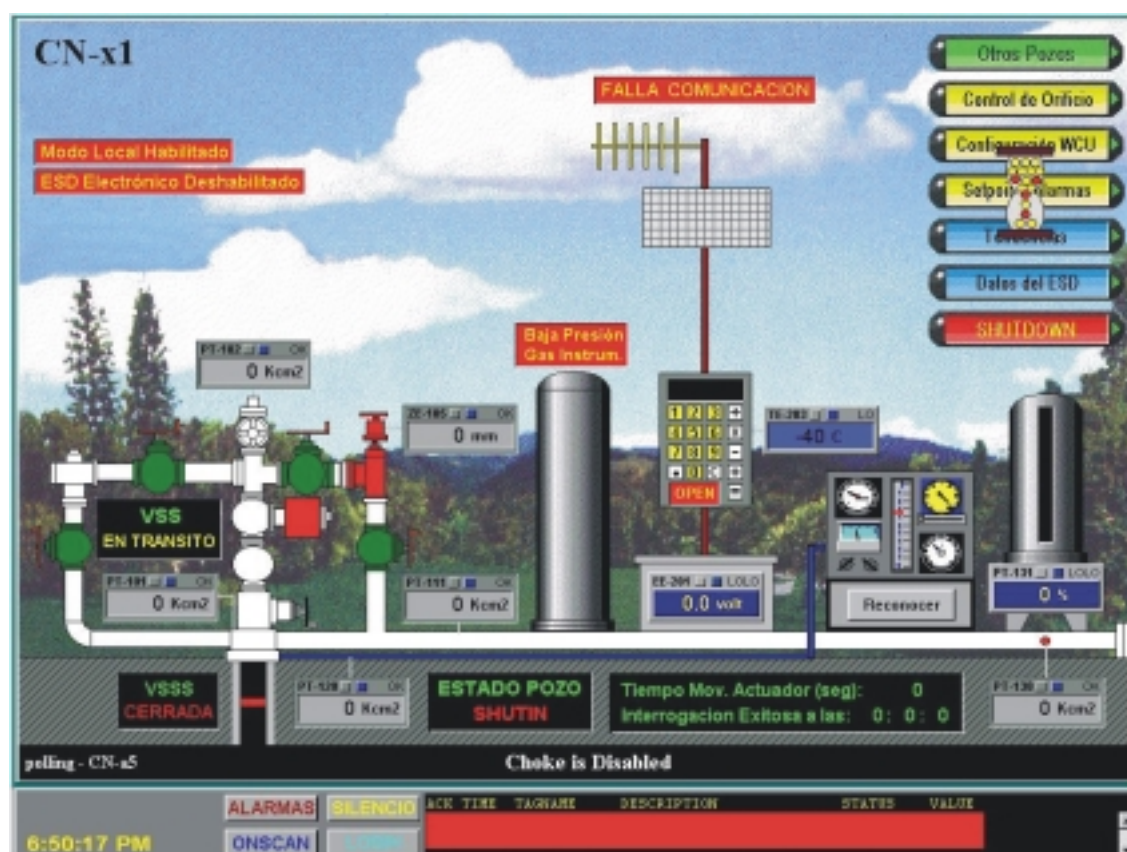
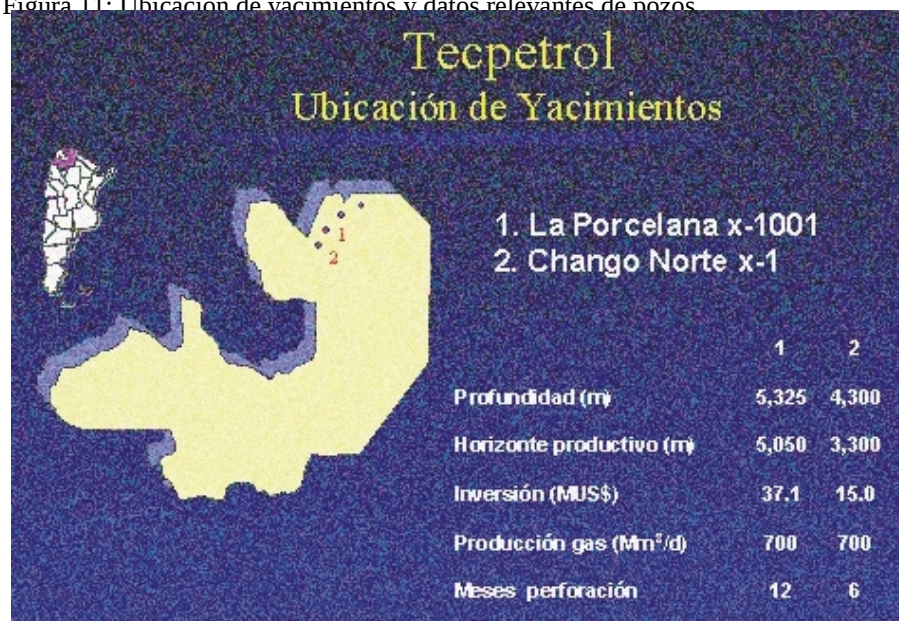


Figura 12: Aplicación SCADA instalada en la Planta Chango Norte

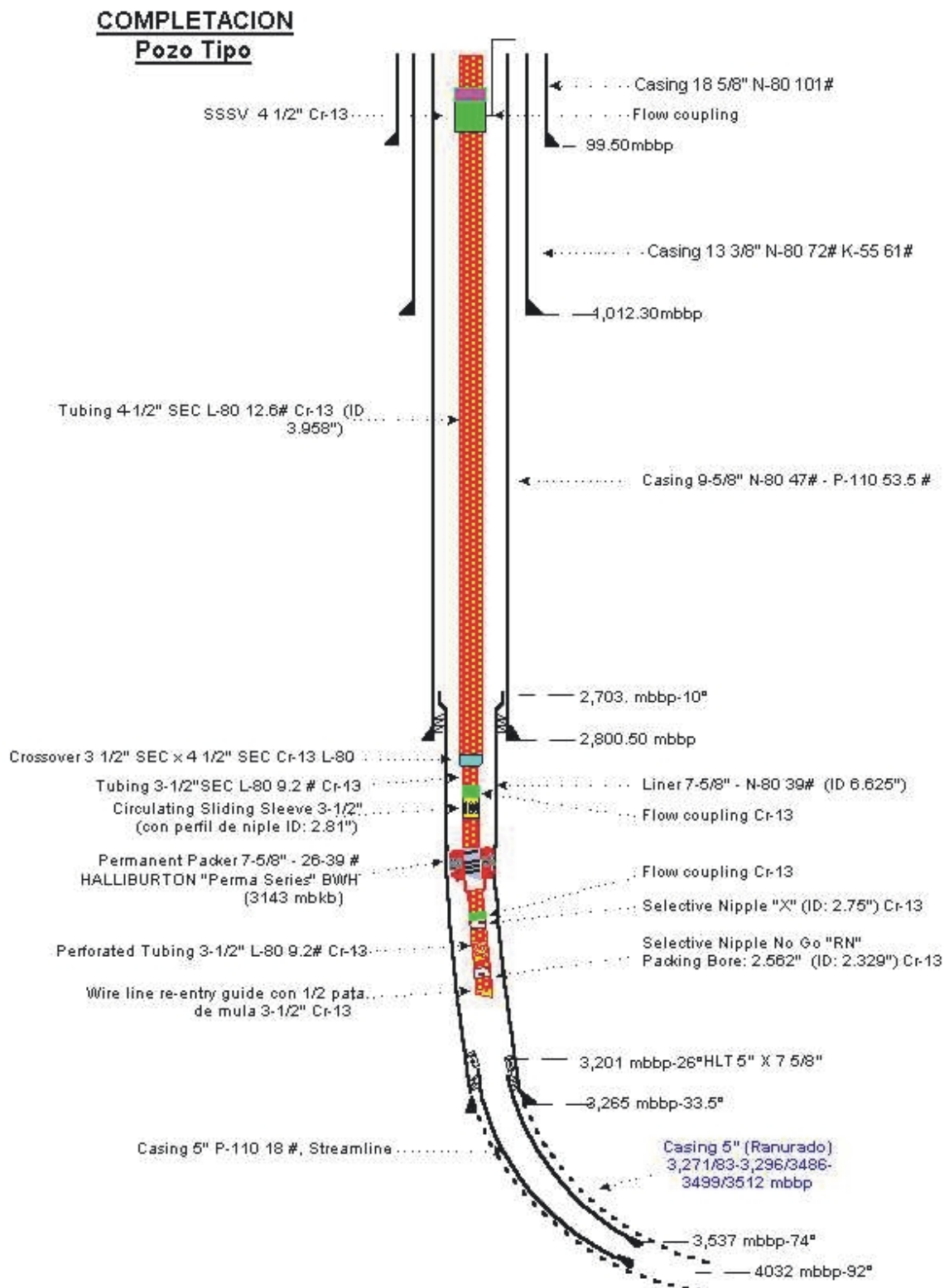


Figura 13: Esquema de completación tipo para los pozos de Chango Norte y La Porcelana