

**METODOLOGIA PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO APLICADO AL CAMPO
PETROLERO LA CIRA - INFANTAS**

PAOLA ANDREA PEÑALOZA HERRERA
Ing. Electrónica



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2008**

**METODOLOGIA PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO APLICADO AL CAMPO
PETROLERO LA CIRA - INFANTAS**

PAOLA ANDREA PEÑALOZA HERRERA
Ing. Electrónica

Profesor Supervisor



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2008**

CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	I
RESUMEN	II
SUMMARY	III
1. INTRODUCCIÓN	4
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1 BOMBEO MECÁNICO: Sistema de levantamiento artificial	10
2.1.1 Funcionamiento del bombeo mecánico	10
2.1.2 Optimización bombeo mecánico usando controladores de bombeo	12
2.1.2.1 <i>SAM WELL MANAGER (Controlador de bombeo mecánico de la empresa Lufkin S.A)</i>	14
2.2 REDES DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA	15
2.2.1 Dispositivos de comunicación inalámbricos	16
2.2.2 Características del sistema	17
2.2.3 SPREAD SPECTRUM (Espectro Ensanchado)	18
2.2.3.1 DSSS (Secuencia directa)	18
2.2.3.2 FHSS (Salto de frecuencia)	20
2.2.3.3 Frecuencias en espectro ensanchado	21
2.2.3.4 Antenas empleadas en comunicaciones inalámbricas	22
2.3 REGLAMENTOS DE LA COMUNICACIÓN INALÁMBRICA	24
2.4 INTERFAZ SERIAL RS-232	29
2.4.1 Transmisión síncrona	29
2.4.2 Transmisión asíncrona	30
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	31
4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE POZOS EN UN CAMPO PETROLERO	32
4.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO	32
4.1.1 Requisitos de la red inalámbrica	34
4.1.1.1 EDX Signal Pro	35
4.1.1.2 Radios MDS iNET 900	37
4.1.2 Red iNET900	39
4.1.2.1 Descripción de la red	41
4.2 BENEFICIOS DEL SISTEMA DE MONITOREO	50
5. CONCLUSIONES	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Unidad de bombeo mecánico	9
Figura 2 Carrera ascendente en bombeo mecánico	10
Figura 3 Carrera descendente en bombeo mecánico	11
Figura 4 Carta dinamométrica	13
Figura 5 Sam Well Manager y componentes	14
Figura 6 Carta de superficie y fondo	15
Figura 7 Señal Spread Spectrum en FHSS	20
Figura 8 Banda SS en el mundo	21
Figura 9 Antena direccional	22
Figura 10 Antena omnidireccional	23
Figura 11 Antena sectorial	24
Figura 12 Mapas de Colombia a nivel de detalle de ciudades	36
Figura 13 Radio iNET 900	38
Figura 14 Aplicación de radios iNET900	39
Figura 15 Especificaciones técnicas radios iNET 900	39
Figura 16 Red inalámbrica campo La Cira-Infantas	41
Figura 17 Conexiones Backhaul (con radios iNETII)	42
Figura 18 Torre de comunicaciones ECO1	43
Figura 19 Aspecto físico y conexiones externas del P21	43
Figura 20 Gabinete P70 con los cuatro radios iNETI para los remotos	44
Figura 21 Antenas panel de 90°	45
Figura 22 P70 con radio iNETII para enlazar con ECO2	46
Figura 23 Repetidoras C1530 y C1832	46
Figura 24 Poste del repetidor AAAC	47
Figura 25 Repetidor secundario AAAB	48
Figura 26 Área de cobertura y RSSI esperados	49
Figura 27 Área de cobertura por cada Access Point	50

RESUMEN

DATOS DEL TRABAJO:

Título: Metodología para el diseño del sistema de monitoreo aplicado al campo petrolero *La Cira-Infantas*

Autor: Paola Andrea Peñaloza Herrera

Director: Line Yasmín Becerra Sánchez

PALABRAS CLAVES:

Antenas, Bandas de frecuencia, Bombeo mecánico, Comunicación inalámbrica, Controlador de bombeo mecánico, Espectro ensanchado, Salto de frecuencia.

RESUMEN:

El presente trabajo plantea un esquema estructurado de las pautas y el método apropiado, que servirán como soporte para el diseño y puesta en marcha de un sistema de monitoreo con infraestructura de red inalámbrica, partiendo desde su diseño preliminar empleando un software de simulación, hasta su implementación en campo.

Para el desarrollo de este documento, se tomó como referencia el proyecto desarrollado en el campo petrolero *La Cira-Infantas* en el cual era necesario diseñar un sistema de comunicación que le permitiera traer de forma inalámbrica la información de sus controladores de bombeo mecánico a un punto central, en este caso, los controladores manejaban información *Serial RS232 asincrónica*.

Antes de describir el sistema, en este documento se estudian algunos conceptos claves como *espectro ensanchado* así como las resoluciones del Ministerio de Comunicaciones relacionadas con la comunicación inalámbrica usando esta tecnología en la banda de frecuencias de uso libre.

SUMMARY

ABOUT THE WORK:

Title: Methodology for the design of the system of monitoring applied to the petroleum field The Cira-Infantas

Author: Paola Andrea Peñaloza Herrera

Director: Line Yasmín Becerra Sánchez

KEY WORDS:

Antennas, Bands of frequency, Rod Pumping, Wireless communication, Rod Pumping Manager, Spread Spectrum, Frequency Hop.

ABSTRACT:

The present work raises a scheme constructed of the guidelines and the appropriate method, which they will serve as support for the design and installation of a system of monitoring with infrastructure of wireless network, dividing from his preliminary design using a software of simulation, up to his implementation in field.

For the development of this document, there took as a reference the project developed in the petroleum field The Cira-Infantas in which it was necessary to design a system of communication that was allowing to bring of wireless form the information of the controllers of mechanical pumping to a central point, in this case, the controllers were handling Serial information RS232 asynchronous.

Before describing the system, in this document some key concepts are studied as expanded spectrum as well as the resolutions of the Ministerio de Comunicaciones related to the wireless communication using this technology in the band of frequencies of free use.

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de las comunicaciones y la necesidad de extender la información hasta llegar a zonas alejadas se han constituido como las principales razones por las cuales se hace necesaria la implementación de radioenlaces. Para el caso de la industria petrolera, más exactamente en los campos petroleros, las personas interesadas en contar de inmediato con la información son los funcionarios de *Control de Producción* quienes requieren conocer las condiciones actuales de los pozos para reaccionar a tiempo ante cualquier eventualidad que atente contra la producción neta del campo.

La aplicación de los sistemas de monitoreo de pozos en unidades de bombeo mecánico suministra una visualización de forma instantánea de la información requerida para tomar decisiones a nivel operativo las cuales, según la agilidad con que se atienda la situación, se reflejarán de manera favorable en la producción de hidrocarburos del campo.

Debido a lo anterior, en el campo *La Cira – Infantas* ubicado en la ciudad de *Barrancabermeja*, surgió la necesidad de un sistema de comunicación que permitiera extraer de forma remota la información generada por los equipos instalados en las unidades mecánicas conocidos como *Controladores de bombeo mecánico (Rod Pump Controller o RPC)*, los cuales, entre otras cosas, brindan información relacionada con el funcionamiento de la bomba de subsuelo y de los demás componentes de este tipo de levantamiento artificial.

De esta manera se obtendrá un protocolo que sirva como referencia en el momento de abordar la puesta en marcha de un sistema de monitoreo, en este caso, con el transporte de información de manera inalámbrica, partiendo desde el estudio de campo hasta la instancia final que consiste en establecer la comunicación entre los puntos remotos y el cuarto de control.

El objetivo del presente trabajo consiste en describir la metodología empleada para el diseño e implementación de dicho sistema de monitoreo la cual servirá como referencia en el momento de abordar la puesta en marcha de un sistema de este tipo, en este caso, con el transporte de información de manera inalámbrica, partiendo desde el estudio de campo hasta la instancia final que consiste en establecer la comunicación entre los puntos remotos y el cuarto de control.

La metodología de trabajo que se llevo a cabo para el desarrollo de este documento, se describe a continuación:

a) DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL (*planteamiento del problema*)

Algunos factores que influyen en el diagnóstico de la diferida (barriles que se dejan de producir) de un campo petrolero consisten en la agilidad con que se atienden las eventualidades que se presentan en cada pozo y las técnicas de optimización empleadas en la operación del sistema de levantamiento artificial que se esté implementando. Por estas y otras razones, los campos petroleros conformados por pozos ubicados a distancias considerables, deben contar con un sistema que le permita a los encargados, monitorear e interactuar de manera remota con el pozo sin necesidad de estar presente en el sitio.

b) SOLUCIÓN PROPUESTA (*Descripción del proyecto*)

Teniendo en cuenta las características del terreno y la cantidad de pozos que se postularon para el proyecto de automatización, la empresa contratista *GE MDS* y el grupo de automatización del campo *La Cira-Infantas*, proponen el desarrollo e implementación

de un sistema de monitoreo remoto para una etapa inicial de 100 pozos, con posibilidades de incrementar este número a 500 pozos en total.

c) INVESTIGACIÓN

En esta etapa se recopiló la información necesaria para abordar, con una mejor comprensión, los factores involucrados en la aplicación del sistema de monitoreo teniendo en cuenta a su vez, los elementos que conforman el objetivo a monitorear. Las actividades desarrolladas fueron las siguientes:

Recolección de información acerca del funcionamiento de las unidades de bombeo mecánico y los conceptos involucrados en este tipo de extracción de crudo en la industria petrolera.

Obtención de información respecto a los componentes y beneficios entregados por el controlador de bombeo mecánico *Sam Well Manager de Lufkin* (equipos instalados el campo petrolero tomado como referencia para el desarrollo de este documento).

Investigación y recolección de información relacionada con las características y aspectos requeridos por una infraestructura de red inalámbrica para su diseño y puesta en marcha.

Consulta de los reglamentos de las telecomunicaciones relacionados con la transmisión de radiofrecuencia local y nacional en los que se plantee la máxima potencia y los tipos de antenas adecuados para la comunicación inalámbrica.

d) SEGUIMIENTO

Esta etapa se realizaron actividades de supervisión y acompañamiento al equipo de trabajo encargado de desarrollar la aplicación en campo, con el fin de realizar un seguimiento continuo del proyecto y familiarizarse con el mismo.

Recolección de información detallada sobre cada una de las etapas desarrolladas en el proyecto de automatización del campo petrolero *La Cira – Infantas en B/bermeja*.

Seguimiento al progreso de adecuación de los controladores de bombeo mecánico e instalación de los radios de transmisión en algunos pozos incluidos en el proyecto de automatización del campo *La Cira – Infantas*.

Asistencia a las pruebas piloto requeridas por el sistema de monitoreo de los pozos productores antes de su puesta en marcha en el campo *La Cira – Infantas*.

Atención de fallas temporales en el sistema durante el proceso de instalación y adaptación de la infraestructura de comunicaciones.

e) DESARROLLO (*puesta en marcha*)

Durante esta etapa se realizaron actividades de “mantenimiento reactivo” en los *Access Point* y en los puntos remotos que se reportaban con fallas durante la puesta en marcha del sistema de monitoreo.

El documento que se obtuvo finalmente, se conforma de tres etapas:

- a. Marco teórico: Se desarrolla un *marco* teórico con algunos conceptos claves involucrados en la descripción de la segunda y tercera etapa de este documento, con el fin de familiarizarse con el tema y obtener una mejor comprensión del mismo.
- b. Planteamiento del problema: En esta segunda etapa se exponen los detalles que describen la situación que se desea mejorar en el campo petrolero *La Cira-Infantas*, la cual se tomo como referencia para el desarrollo de una metodología a seguir en el momento de diseñar un sistema de monitoreo.

- c. Solución propuesta: La tercera y última etapa que conforma este documento, abarca desde la descripción del proyecto propuesto como solución al problema planteado hasta los detalles encontrados durante la implementación del mismo en el sitio.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Bombeo mecánico: Sistema de levantamiento artificial de crudo

El *levantamiento artificial* consiste en la aplicación de un sistema que permita la recuperación del crudo cuando la presión del yacimiento desciende y la producción del pozo baja, hasta llegar al punto donde el pozo no produce por si solo. Cuando esto sucede, se hace necesario ayudar al ascenso del petróleo mediante un medio artificial de producción; cabe destacar que los métodos de levantamiento artificial son aplicables a yacimientos donde han variado las condiciones naturales del pozo.

El Bombeo Mecánico, mostrado en la *Figura 1*, es el sistema de extracción artificial más utilizado en campos petroleros. Su funcionamiento consiste en transferir la energía desde la superficie hasta el fondo del pozo para extraer los fluidos existentes en el mismo.

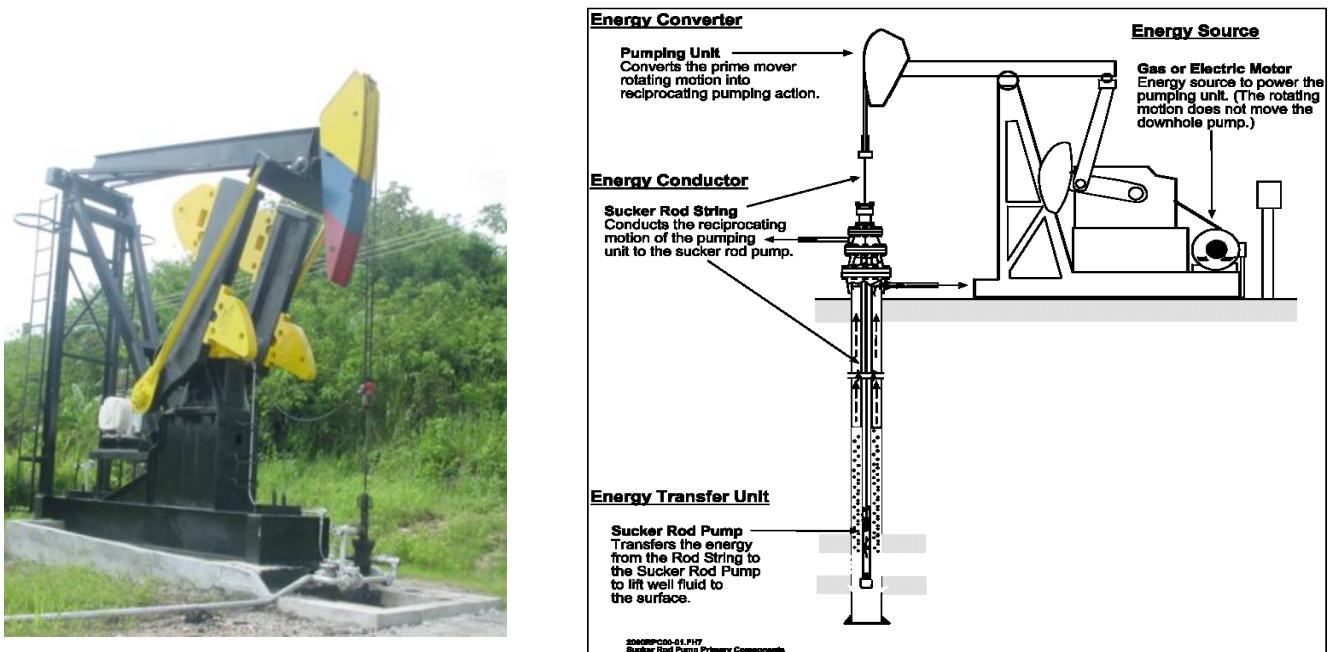


Figura1. Unidad de bombeo mecánico¹

2.1.1 Funcionamiento del bombeo mecánico

Durante la carrera ascendente (*Figura 2*), el pistón sube a través del barril de la bomba. El fluido por encima la válvula móvil la mantiene cerrada. Cuando la presión dentro del barril de la bomba es menor que la presión en la succión de la bomba, la válvula fija se abre, permitiendo que ingrese fluido al barril. Cuando la unidad de bombeo alcanza el PMS (Punto Muerto Superior), el pistón también alcanza el punto superior de su carrera.

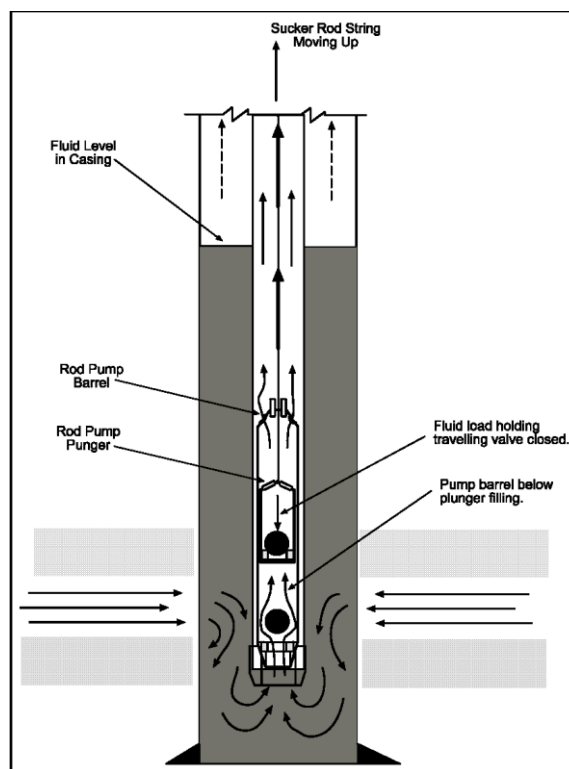


Figura2. Carrera ascendente en bombeo mecánico

Cuando la unidad de bombeo comienza su carrera descendente (*Figura 3*), la sarta de varillas se mueve hacia abajo, como también el pistón de la bomba. Si el barril se llenó completamente en la carrera ascendente, el pistón tomará contacto con el fluido

inmediatamente en la carrera descendente. Como el pistón recién está comenzando a descender, su movimiento será muy lento al momento del de producirse el contacto. La presión en el barril de la bomba (entre la válvula fija y la móvil) aumenta mientras el pistón continúa bajando. Esto sucede hasta que la misma excede la presión sobre la válvula móvil. La válvula móvil se abre. El fluido en el barril de la bomba, de este modo, atraviesa la válvula móvil y sube hacia el espacio anular entre el diámetro mayor de la varilla y el diámetro menor del *tubing*. Mientras la acción de la bomba continúa, el pistón alcanza el punto inferior de su carrera, se detiene brevemente, y comienza nuevamente su movimiento ascendente. Mientras continúa este movimiento, la válvula fija se abrirá nuevamente y el fluido del pozo ingresará al barril de la bomba.

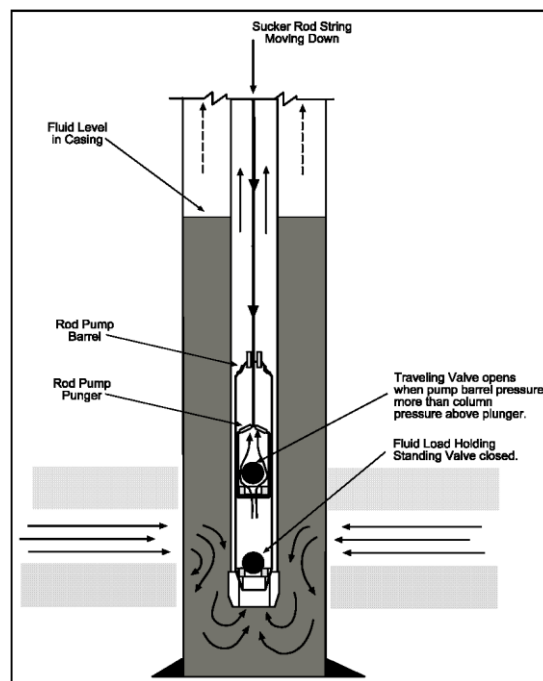


Figura3. Carrera descendente en bombeo mecánico

2.1.2 Optimización del bombeo mecánico usando controladores de bombeo²

Las condiciones del pozo pueden causar que el barril de la bomba no se llene completamente durante la carrera ascendente. Cuando esto ocurre, como muestra la Figura 4, se dice que el llenado de la bomba es incompleto o parcial.

Este llenado parcial puede ocurrir en las siguientes condiciones:

- El pozo no está aportando fluido para llenar el barril. Esto puede ocurrir debido a que las dimensiones del sistema de bombeo son mayores a la capacidad de producción del pozo. Esta es la causa más común de llenado incompleto de la bomba.
- La bomba ha tomado un “bolsón” de gas que desplaza cualquier fluido del pozo disponible para ser bombeado. Hasta que la bomba sea capaz de eliminar el gas del barril, el llenado de la bomba será incompleto y errático. Un disparo acústico para estimar el nivel indicará la presencia de fluido en el espacio anular entre la cañería de revestimiento (*casing*) y el *tubing*. Esta situación también puede causarse por basura o restos del pozo tapando la succión de la bomba.

Indiferentemente de la razón de llenado incompleto, es un serio problema operativo y debe tomarse una acción correctiva lo antes posible. Una falta de fluido en el barril de la bomba en la carrera descendente puede causar lo que se conoce como: “Golpe de Fluido”. A menos que el nivel de fluido aumente, la bomba continuará “golpeando fluido”. El nivel de fluido no aumentará a menos que las dimensiones de la bomba disminuyan, que la unidad de bombeo sea detenida por un periodo definido o que el régimen de bombeo se reduzca (dependiendo de la magnitud de la reducción). Estas acciones permiten el ingreso de fluidos del reservorio para subir el nivel del pozo, dando lugar a un mejor llenado de la bomba.

La función básica del **POC (Pump Off Controller)** es adquirir información de carga y posición de modo que el operador pueda definir el “*set point*” que indique que una

condición de bomba parcialmente llena ha ocurrido. La información de carga es obtenida utilizando una celda de carga sobre el vástago pulido o un “*strain gauge*” (medidor de tensión) ubicado sobre la viga superior. Los datos de posición son obtenidos utilizando un “*switch*” de posición y/o un sensor de posicionamiento continuo. Durante la operación, los datos de carga son continuamente registrados y almacenados en un “*buffer*” (memoria) de datos. Esta información es correlacionada con los datos de posición para obtener la carta dinamométrica³; un ejemplo de ésta se muestra en la *Figura4* como ejemplo de un llenado completo de la bomba.

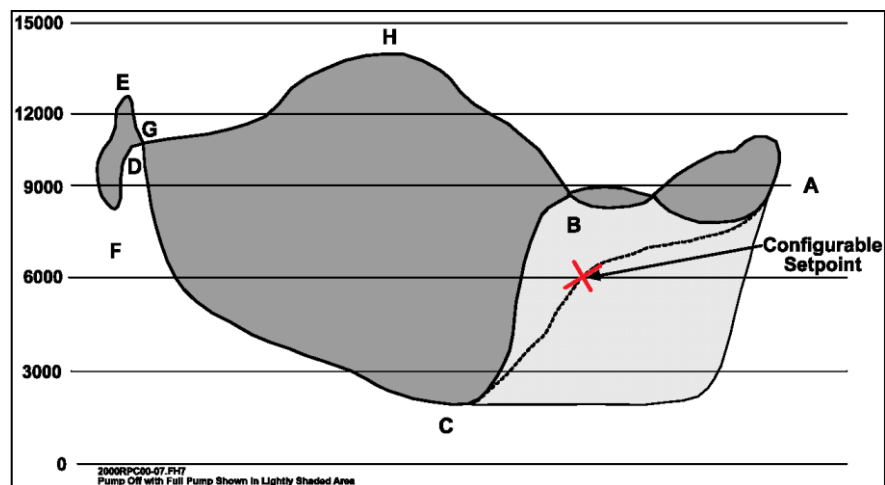


Figura4. Carta dinamométrica (llenado completo)

El punto *setpoint*, para detener la unidad de bombeo, está basado en el “movimiento” de la carrera descendente de la carta dinamométrica. El operador puede ajustar este punto según diferentes condiciones de bombeo. Luego de un tiempo de recuperación (durante el cual la unidad de bombeo permanece detenida) el controlador automáticamente reiniciará la unidad de bombeo para producir el fluido que haya ingresado al pozo. Es importante aclarar que en caso de que el controlador se encuentre funcionando en lazo con un Variador de Frecuencia, la unidad de bombeo no se detendrá en ningún momento, sino que disminuirá o aumentará la velocidad de bombeo hasta llegar al *setpoint de*

llenado deseado. En caso de que el llenado de la bomba supere el *setpoint* preestablecido, la velocidad de bombeo aumentará hasta alcanzarlo; del mismo modo, si el llenado de la bomba está por debajo del *setpoint*, la velocidad de bombeo disminuirá hasta alcanzarlo nuevamente.

2.1.2.1 SAM WELL MANAGER (Controlador de bombeo mecánico de la empresa Lufkin S.A)⁴

En el campo petrolero *La Cira-Infantas*, se tienen instalados controladores de *Pump-Off* del fabricante *Lufkin Automation*. SAM Well Manager puede controlar el pozo a partir de la carta dinamométrica de superficie, de fondo, o de la corriente del motor.

El fabricante desarrolló un algoritmo (patentado) que le permite al equipo calcular una carta dinamométrica de fondo por cada carrera de la unidad de bombeo, generando así un preciso control y análisis del sistema de extracción de crudo.

En la *Figura 5* se muestra el equipo con sus respectivos sensores encargados de medir las variables: *carga y posición*, requeridas para la obtención de la carta dinamométrica que se ilustra en la *Figura 6*.



Figura5. SAM Well Manager y componentes

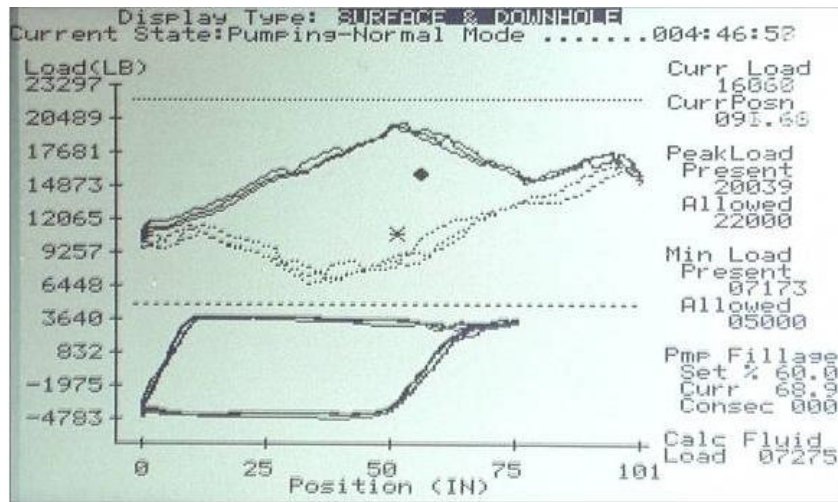


Figura6. Cartas de superficie y fondo respectivamente tomadas del display del SAM

2.2 Redes de comunicación inalámbrica

Las redes inalámbricas utilizan ondas electromagnéticas para transportar información de un punto a otro sin necesidad de una conexión física. Las ondas de radio frecuencia a menudo se refieren como portadoras de radio, debido a que su única función consiste en entregar la energía que conllevan al receptor remoto.

Los datos que se desean transmitir se añaden sobre la portadora de forma tal que en el lado receptor puedan ser precisamente recuperados, este proceso es conocido como "*modulación de la portadora*", por la información que se desea transmitir. Una vez que la portadora ha sido modulada, la señal de radio ocupa más de una frecuencia, ya que la frecuencia de la información moduladora se añade a la portadora. Pueden existir varias portadoras en el mismo espacio de forma simultánea, sin interferirse mutuamente, siempre y cuando se transmitan en diferente frecuencia. Para extraer los datos, el receptor de radio se sintoniza para seleccionar una frecuencia de radio y rechazar señales en otras frecuencias.

El punto de acceso es un elemento que proporciona una "conexión" transparente a dispositivos inalámbricos que estén dentro de una cobertura determinada. Permite agregar fácilmente y de una manera rápida otros dispositivos inalámbricos que amplían su cobertura y su operatividad.

El punto de acceso o la antena asociada al punto de acceso usualmente se monta en un punto alto, sin embargo, puede colocarse en cualquier lugar práctico, siempre y cuando se obtenga la cobertura deseada⁵.

2.2.1 Dispositivos de comunicación inalámbricos⁵

Los componentes inalámbricos se utilizan para la conexión a redes en distancias que hacen que el uso de adaptadores de red y opciones de cableado estándares sea técnica o económicamente imposible. Las redes inalámbricas están formadas por componentes inalámbricos que se comunican con LANS. Excepto por el hecho de que no es un cable quién conecta los equipos, una red inalámbrica típica funciona casi igual que una red con cables: se instala en cada equipo un adaptador de red inalámbrico con un transceptor (un dispositivo que transmite y recibe señales analógicas y digitales). Los usuarios se comunican con la red igual que si estuvieran utilizando un equipo con cables.

Salvo por la tecnología que utiliza, una red inalámbrica típica funciona casi igual que una red de cables: se instala en cada equipo un adaptador de red inalámbrico con un transceptor, y los usuarios se comunican con la red como si estuvieran utilizando un equipo con cables.

2.2.2 Características del sistema⁶

TÉCNICAS DE TRANSMISIÓN:

- Banda angosta: Comunicación de largo alcance; interfaces seriales de comunicación (RS-232/422/485); exclusivo uso de la frecuencia en su área de ejecución; velocidad de hasta 19,200 baudios por segundo.
- Spread Spectrum(SS): Rango a la medida; velocidad de transmisión más elevada; no necesita licencia; necesita línea de vista; usa la banda ISM (uso industrial, científico y médico).

FRECUENCIAS DE OPERACIÓN:

- Banda de 900Mhz: Uno de sus usos más comunes son en tecnología inalámbrica telefónica.
- Banda de 2.4Ghz: Disponibilidad de más ancho de banda para un gran flujo de datos; es comúnmente usada para Ethernet inalámbrico

MODOS DE CONEXIÓN Y CONFIGURACIÓN:

- Ad-hoc En una arquitectura de pares (punto a punto), dos o más nodos pueden iniciar directamente la comunicación entre sí; no requieren ningún intermediario. Es decir un mismo dispositivo puede desempeñarse como cliente y como servidor. Esto también se denomina modo Ad-hoc.
- Access Point: Todos los clientes envían información a un Access Point; puede suministrar un Link a una red LAN cableada; puede conectar múltiples clientes con diferentes flujos de datos; funciona como “*Network HUB*” ó *concentrador de red* para una WLAN; la comunicación entre *Access Point* puede ser cableada o inalámbrica, permitiendo así extender el alcance de la WLAN.

- Ethernet Bridge: Enlaza a los Clientes Ethernet 10BaseT en la red.

2.2.3 SPREAD SPECTRUM (Espectro Ensanchado)

La Tecnología de Espectro Ampliado es un tipo de modulación RF que utiliza señales de transporte cuya anchura de banda es intencionalmente mucho mayor que la información transportada tal que su nivel de energía o amplitud es muy cercano al nivel de ruido⁷.

Principales Características:

- Difícil de detectar o demodular
- Puede ser distribuida en un amplio rango de frecuencias.
- Difícil de Interceptar (Spoofing)
- Se desempeña en 2 tipos principales de modulación: *Secuencia directa (DSSS)* y *salto de frecuencia (FHSS)*

2.2.3.1 DSSS (Secuencia directa)⁷

En esta técnica se genera un patrón de bits redundante (señal de chip) para cada uno de los bits que componen la señal. Cuanto mayor sea esta señal, mayor será la resistencia de la señal a las interferencias. El estándar IEEE 802.11 recomienda un tamaño de 11 bits, pero el óptimo es de 100. En recepción es necesario realizar el proceso inverso para obtener la información original.

La secuencia de bits utilizada para modular los bits se conoce como secuencia de *Barker* (también llamado código de dispersión o *PseudoNoise*). Es una secuencia rápida diseñada para que aparezca aproximadamente la misma cantidad de 1 que de 0. Solo los receptores a los que el emisor haya enviado previamente la secuencia podrán recomponer la señal original. Además, al sustituir cada bit de datos a transmitir, por una secuencia de 11 bits equivalente, aunque parte de la señal de transmisión se vea afectada por

interferencias, el receptor aún puede reconstruir fácilmente la información a partir de la señal recibida.

Una vez aplicada la señal de chip, el estándar IEEE 802.11 ha definido dos tipos de modulación para la técnica de espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS), la modulación *DBPSK* (*Differential Binary Phase Shift Keying*) y la modulación *DQPSK* (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*), que proporcionan una velocidad de transferencia de 1 y 2 Mbps respectivamente.

Recientemente el IEEE ha revisado este estándar, y en esta revisión, conocida como 802.11b, además de otras mejoras en seguridad, aumenta esta velocidad hasta los 11Mbps, lo que incrementa notablemente el rendimiento de este tipo de redes.

Las frecuencias vienen comprendidas entre 2.412 y 2.484GHz. Estas son divididas en canales (puede variar según legislación de cada país):

-Canal 01: 2.412 GHz	-Canal 08: 2.447 GHz
-Canal 02: 2.417 GHz	- Canal 09: 2.452 GHz
-Canal 03: 2.422 GHz	-Canal 10: 2.457 GHz
-Canal 04: 2.427 GHz	- Canal 11: 2.462 GHz
-Canal 05: 2.432 GHz	- Canal 12: 2.467 GHz
-Canal 06: 2.437 GHz	- Canal 13: 2.472 GHz
-Canal 07: 2.442 GHz	-Canal 14: 2.484 GHz

Para cada canal es necesario un ancho de banda de unos 22 MHz para poder transmitir la información, por lo que se produce un inevitable solapamiento de los canales próximos.

La técnica de DSSS podría compararse con una multiplexación en frecuencia.

2.2.3.2 FHSS (Salto de frecuencia) ver figura 7

La tecnología de espectro ensanchado por salto en frecuencia (FHSS) consiste en transmitir una parte de la información en una determinada frecuencia durante un intervalo de tiempo llamada *dwell time* e inferior a 400 ms. Pasado este tiempo se cambia la frecuencia de emisión y se sigue transmitiendo a otra frecuencia. De esta manera cada tramo de información se va transmitiendo en una frecuencia distinta durante un intervalo muy corto de tiempo. El orden en los saltos en frecuencia se determina según una secuencia pseudoaleatoria almacenada en unas tablas, y que tanto el emisor y el receptor deben conocer. Si se mantiene la sincronización en los saltos de frecuencias se consigue que, aunque en el tiempo se cambie de canal físico, a nivel lógico se mantiene un solo canal por el que se realiza la comunicación.

Esta técnica también utiliza la zona de los 2.4GHz, la cual organiza en 79 canales con un ancho de banda de 1MHz cada uno. El número de saltos por segundo es regulado por cada país, así, por ejemplo, Estados Unidos fija una tasa mínima de saltos de 2.5 por segundo.

El estándar IEEE 802.11 define la modulación aplicable en este caso. Se utiliza la modulación en frecuencia *FSK (Frequency Shift Keying)*, con una velocidad de 1Mbps ampliable a 2Mbps.

En la revisión del estándar, la 802.11b, esta velocidad también ha aumentado a 11Mbps⁸.

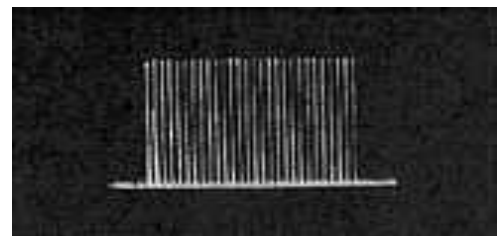
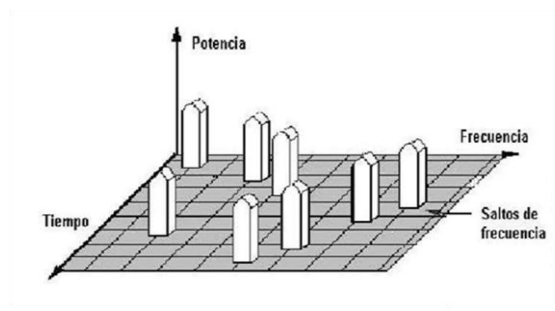


Figura 7. Señal Spread Spectrum(SS) en salto de frecuencia⁷

2.2.3.3 Frecuencias en espectro ensanchado⁷

La FCC, en su aparte 15, reglamenta específicamente la utilización de dispositivos en Espectro Ensanchado sin licencia en las bandas de 900 Mhz, 2.4 GHZ y 5.8 GHz para propósitos industriales, científicos y médicos (ICM).

- ✓ 902MHz - 928MHz = 26 MHz. de anchura de banda
- ✓ 2.400GHz - 2.4835GHz = 83.5 MHz. de anchura de banda

La interferencia fuera de banda es más común a 900 MHz que a 2.4 GHz.

Según el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias del Ministerio de Comunicaciones en Colombia:

- Bandas de 908 a 915 MHz. y 915 a 924 MHz
- Bandas de 2025 a 2438,5 MHz
- Bandas de 5725 a 5850 MHz

En la *Figura 8* se ilustra la banda SS a lo largo del mundo.

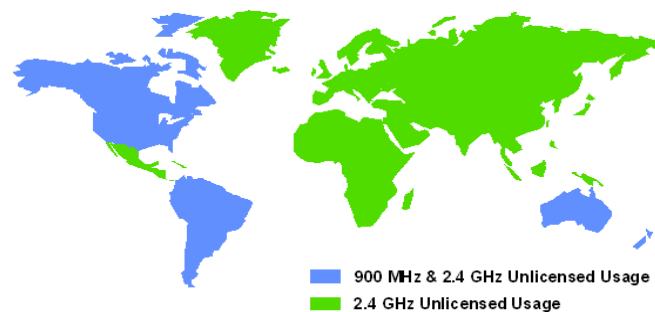


Figura 8. Banda Spread Spectrum en el mundo⁷

Datos importantes⁶:

- Cada frecuencia por debajo de 1 GHz debe ser utilizada como una frecuencia autorizada.
- Para que un dispositivo pueda operar sin licencia o permiso de frecuencia, su potencia de salida debe ser limitada.

- Cualquier sistema puede operar libremente en las bandas de 2.4 o 5.8 GHz si el EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) total es de 100 mW or 20 dBm.
- Las bandas de frecuencia deben ser autorizadas con base en una asignación de canal dedicado o compartido, en una zona especificada y durante un tiempo especificado.
- Cuando los radios son autorizados a trabajar en una frecuencia específica, el usuario no puede tener acceso a una facilidad de cambio de frecuencias.

2.2.3.4 Antenas empleadas en comunicaciones inalámbricas

Las antenas de redes inalámbricas se pueden dividir en tres tipos:

- a. Antenas direccionales (o directivas)⁹: Orientan la señal en una dirección muy determinada con un haz estrecho pero de largo alcance. Una antena direccional actúa de forma parecida a un foco que emite un haz concreto y estrecho pero de forma intensa (más alcance). Estas antenas "envían" la información a una cierta zona de cobertura, a un ángulo determinado, por lo cual su alcance es mayor, sin embargo fuera de la zona de cobertura no se "escucha" nada, no se puede establecer comunicación entre los interlocutores. El alcance de una antena direccional viene determinado por una combinación de los *dBi* de ganancia de la antena, la potencia de emisión del punto de acceso emisor y la sensibilidad de recepción del punto de acceso receptor. Ver Figura 9



Figura 9. Antena direccional

Aplicación: Las antenas direccionales se suelen utilizar para unir dos puntos a largas distancias, es decir, es ideal cuando se tiene que dar cobertura de red inalámbrica en un punto muy concreto (por ejemplo un PC que está bastante lejos).

- b. Antenas omnidireccionales⁹: Orientan la señal en todas direcciones con un haz amplio pero de corto alcance. Si una antena direccional sería como un foco, una antena omnidireccional sería como una bombilla emitiendo luz en todas direcciones pero con una intensidad menor que la de un foco, es decir, con menor alcance. Las antenas Omnidireccionales "envían" la información teóricamente a los 360 grados por lo que es posible establecer comunicación independientemente del punto en el que se esté. En contrapartida el alcance de estas antenas es menor que el de las antenas direccionales.

El alcance de una antena omnidireccional viene determinado por una combinación de los *dB*i de ganancia de la antena, la potencia de emisión del punto de acceso emisor y la sensibilidad de recepción del punto de acceso receptor. A mismos *dB*i, una antena sectorial o direccional dará mejor cobertura que una omnidireccional. Ver Figura 10.

Aplicación: Las antenas omnidireccionales se suelen utilizar para dar señal extensa en los alrededores. Cuando se necesita dar cobertura de red inalámbrica en toda un área próxima (una planta de un edificio o un parque por ejemplo) lo más probable es que se utilice una antena omnidireccional.



Figura 10. Antena omnidireccional

c. Antenas sectoriales⁹: Son la mezcla de las antenas direccionales y las omnidireccionales. Las antenas sectoriales emiten un haz más amplio que una direccional pero no tan amplio como una omnidireccional. La intensidad (alcance) de la antena sectorial es mayor que la omnidireccional pero algo menor que la direccional. Siguiendo con el ejemplo de la luz, una antena sectorial sería como un foco de gran apertura, es decir, con un haz de luz más ancho de lo normal. Para tener una cobertura de 360° (como una antena omnidireccional) y un largo alcance (como una antena direccional) deberemos instalar o tres antenas sectoriales de 120° ó 4 antenas sectoriales de 80°. Las antenas sectoriales suelen ser más costosas que las antenas direccionales u omnidireccionales. *Ver Figura 11.*

Aplicación: *Las antenas sectoriales se suelen utilizar cuando se necesita un balance de las dos cosas, es decir, llegar a largas distancias y a la vez, a un área extensa.*



Figura 11. Antena sectorial

2.3 Reglamentos en la comunicación inalámbrica

A continuación se exponen algunos artículos de las resoluciones que establecen las pautas legales para la transmisión inalámbrica y el uso de la técnica de espectro ensanchado a nivel nacional.

A) RESOLUCIÓN 689 DEL 21 DE ABRIL DE 2004¹⁰

La presente resolución tiene por objeto atribuir unas bandas de frecuencias radioeléctricas para su libre utilización dentro del territorio nacional, mediante

sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, en las condiciones establecidas por esta resolución.

DISPOSICIONES TÉCNICAS

Artículo 5.- BANDAS DE FRECUENCIAS.

Se atribuyen dentro del territorio nacional, a título secundario, para operación sobre una base de no-interferencia y no protección de interferencia, los siguientes rangos de frecuencias radioeléctricas, para su libre utilización por sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que empleen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, en las condiciones establecidas por esta resolución.

- a) Banda de 902 a 928 MHz
- b) Banda de 2 400 a 2 483,5 MHz
- c) Banda de 5 150 a 5 250 MHz
- d) Banda de 5 250 a 5 350 MHz
- e) Banda de 5 470 a 5 725 MHz
- f) Banda de 5 725 a 5 850 MHz

Artículo 6.- CONDICIONES OPERATIVAS EN LAS BANDAS DE 902 A 928 MHz, 2 400 A 2 483,5 MHz y DE 5 725 A 5 850 MHz.

Son condiciones operativas para los sistemas de espectro ensanchado por salto de frecuencia y de modulación digital, en las bandas de 902 a 928 MHz, de 2 400 a 2 483,5 MHz, y de 5 725 a 5 850 MHz, las siguientes:

A.1. Los sistemas de salto de frecuencia tendrán frecuencias portadoras por canal de intercalamiento separadas como mínimo por el mayor valor entre 25 KHz y el ancho de banda del canal a 20 dB.

A.2. Los sistemas de salto de frecuencia en la banda de 902 a 924 MHz deben operar de la siguiente forma: si el ancho de banda del canal de salto a 20 dB es menor que 250 KHz, el sistema utilizará por lo menos 50 frecuencias de salto y el tiempo medio de la ocupación de cualquier frecuencia no será mayor a 0.4 segundos dentro de un período de 20 segundos. Si el ancho de banda del canal de salto a 20 dB es de 250 KHz o mayor, el sistema utilizará por lo menos 25 frecuencias de salto y el tiempo medio de la ocupación de cualquier frecuencia no será mayor a 0.4 segundos dentro de un período de 10 segundos. El ancho de banda máximo permitido del canal de saltos, a 20 dB, es 500 KHz.

B. POTENCIA. La potencia de salida máxima del transmisor no excederá de lo siguiente:

B.2. Para sistemas de saltos de frecuencia que funcionan en la banda de 902 a 928 MHz: Para los sistemas que emplean por lo menos 50 canales de saltos de frecuencia: 1 vatio. Para los sistemas que emplean menos de 50 canales de saltos de frecuencia, pero por lo menos 25 canales, según lo permitido bajo el numeral A2 de este artículo: 0.25 vatios.

B.4. Si se emplean antenas de transmisión de ganancia direccional mayor a 6 dBi, la potencia pico de salida de un transmisor debe ser reducida por debajo de los valores establecidos en los numerales B1, B2 y B3 de este artículo, como sea apropiado, por la cantidad en dB que la ganancia direccional de la antena exceda los 6 dBi.

B.5. Los sistemas deben ser operados de tal forma que se asegure que el público no sea expuesto a niveles de energía de radio frecuencia que exceda las normas que expida el ministerio de Comunicaciones o el organismo estatal pertinente.

C.1. En cualquier ancho de banda de 100 kHz fuera de la banda de frecuencias en la cual está operando el transmisor de espectro ensanchado o de modulación digital, la potencia de radio frecuencia que es producida por el transmisor deberá ser al menos 20 dB menor que en los 100 KHz de ancho de banda dentro de la banda que contiene el más alto nivel de la potencia deseada, basado en una medición de RF bien sea conducida o radiada.

G.1. Los sistemas del espectro ensanchado por saltos de frecuencia no requieren emplear todos los canales disponibles durante cada transmisión. Sin embargo, el sistema debe diseñarse conforme las normas de la presente resolución si el transmisor se presenta como una corriente continua de datos o información. Además, un sistema que emplee cortas ráfagas de transmisión debe cumplir con la definición de un sistema de saltos de frecuencia y debe distribuir sus transmisiones sobre el número mínimo de canales de salto especificado en esta resolución.

H.1. Es permitida la incorporación de inteligencia dentro de un sistema de espectro ensanchado por saltos de frecuencia que posibilite al sistema reconocer a otros usuarios dentro de la banda del espectro de modo que elija y adapte individual e independientemente sus puntos de salto para evitar caer en los canales ocupados. La coordinación de sistemas de salto de frecuencia de cualquier otra forma, con el propósito expreso de evitar que múltiples transmisores ocupen simultáneamente frecuencias individuales de salto, no es permitida.

Artículo 9.- ANTENAS omnidireccionales.

La utilización de antenas omnidireccionales solo será permitida en sistemas inalámbricos cuya potencia radiada sea menor o igual a 100 mW. Los sistemas que

excedan esta potencia deberán emplear antenas direccionales con un ancho de lóbulo no mayor a 90 grados.

Artículo 10.- INTERFERENCIAS.

La utilización de sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, está condicionada al cumplimiento de las siguientes condiciones:

1. No deben causar interferencia perjudicial a las estaciones de un servicio primario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro.
2. No pueden reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones de un servicio primario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro.

Si un dispositivo ocasiona interferencia perjudicial a una radiocomunicación autorizada a título primario, aunque el aparato cumpla con las normas técnicas establecidas en los reglamentos de radiocomunicación o los requisitos de autorización de equipo, se deberá suspender la operación del dispositivo. La utilización no podrá reanudarse hasta que se haya subsanado el conflicto interferente. De comprobarse la continua interferencia perjudicial a una radiocomunicación autorizada, el Ministerio de Comunicaciones podrá ordenar la suspensión definitiva de las operaciones, sin perjuicio de las sanciones previstas en las normas legales.

B) RESOLUCIÓN 1689 DE 12 JUNIO DE 2007¹¹

Por medio de esta resolución se modifica el *artículo 9* de la *Resolución 689 del 21 de abril de 2004*:

“Que en la actualidad existen internacionalmente múltiples y diversos aparatos y dispositivos inalámbricos de banda ancha y baja potencia que utilizan antenas omnidireccionales con potencias iguales o algo superiores a los 100 mW, que cumplen con las demás disposiciones de la *Resolución 689 de 2004*”.

“Que dados los avances tecnológicos en la materia, la anterior limitación restringe el uso libre del espectro para la utilización de aparatos y dispositivos inalámbricos de banda ancha y baja potencia y la comercialización de los mismos en el país, por consiguiente se hace necesario modificar la *Resolución 689* mencionada”.

2.4 Interfaz serial RS-232

También conocido como *Electronic Industries Alliance RS-232C*, es una interfaz que designa una norma para el intercambio serie de datos binarios (de forma síncrona o asíncrona) entre un DTE (Equipo terminal de datos) y un DCE (*Data Communication Equipment*, Equipo de terminación del circuito de datos), aunque existen otras situaciones en las que también se utiliza la interfaz RS-232. En particular, existen ocasiones en que interesa conectar otro tipo de equipamientos, como pueden ser computadores. El RS-232 consiste en un conector tipo DB-25 (de 25 pines), aunque es normal encontrar la versión de 9 pines (DB-9), más barato e incluso más extendido para cierto tipo de periféricos (como el ratón serie del PC)¹².

2.4.1 Transmisión síncrona¹³

Es una técnica que consiste en el envío de una trama de datos (conjunto de caracteres) que configura un bloque de información comenzando con un conjunto de bits de sincronismo (*syn*) y termina con otro conjunto de bits de final de bloque (*etb*); en este caso, los bits de sincronismo tienen la función de sincronizar los relojes existentes

tanto en el emisor como en el receptor, de tal forma que estos controlan la duración de cada bit y carácter.

2.4.2 Transmisión asíncrona¹⁴

Esta transmisión se presenta cuando el proceso de sincronización entre emisor y receptor se realiza en cada palabra de código transmitido. Esta sincronización se lleva a cabo a través de unos bits especiales que definen el entorno de cada código.

También se dice que se establece una relación asíncrona cuando no hay ninguna relación temporal entre la estación que transmite y la que recibe. En estas situaciones tampoco se necesita garantizar un ancho de banda determinado, suministrando solamente el que esté en ese momento disponible.

Partiendo desde la línea de transmisión en reposo, cuando tiene el nivel lógico 1, el emisor informa al receptor de que va a llegar un carácter, para ello antepone un bit de arranque (*Start*) con el valor lógico 0. Una vez que el bit *Start* llega al receptor este disparará un reloj interno y se quedará esperando por los sucesivos bits que contendrá la información del carácter transmitido por el emisor. Una vez que el receptor recibe todos los bits de información se añadirá al menos un bit de parada (*Stop*) de nivel lógico 1, que repondrán en su estado inicial a la línea de datos, dejándola así preparada para la siguiente transmisión del siguiente carácter.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El campo petrolero *La Cira-infantas* cuenta en la actualidad con pozos aproximadamente en los que se extrae el crudo mediante bombeo mecánico y con bombas de cavidad progresiva (PCP). En el año 2006 se propuso un proyecto de *automatización de pozos de bombeo mecánico* el cual se conformaba de dos etapas:

- a. Instalación de controladores de bombeo mecánico para la optimización en la extracción de crudo.
- b. Monitoreo remoto que le permitiera al personal de *Control de Producción* obtener en tiempo real las cartas dinamométricas de cada pozo así como tener conocimiento del estado (*funcionando o detenido*) y condiciones del mismo (*presencia o ausencia de fallas*). Además, se pretendía que los ingenieros pudieran acceder al sistema de bombeo de manera remota al punto de poder arrancar o detener la unidad de bombeo desde cualquier ubicación geográfica (dentro de la red WAN de la multinacional Occidental). Además, la gran utilidad de los controladores de bombeo mecánico se obtendría realmente cuando éstos fueran acoplados a un sistema de monitoreo, ya que éste se comportaría como una interfaz entre el ingeniero de producción y el pozo petrolero. Al descargar en tiempo real la información respectiva del estado de la bomba de subsuelo y de la unidad de bombeo, se facilitarían a su vez las labores de mantenimiento reactivo o atención de fallas, ya que en el “punto de control”, conformado por las pantallas de monitoreo, el operador reportaría a tiempo cualquier tipo de falla que obstruyera la condiciones de trabajo normales del pozo, y la *cuadrilla* de mantenimiento atendería de manera efectiva la situación. Finalmente, tanto la labor del controlador como las bondades del sistema de monitoreo, estarían haciendo un aporte significativo en uno de los objetivos del día a día en el campo petrolero: *disminución de la cantidad de barriles perdidos por día (diferida)*.

4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE POZOS EN UN CAMPO PETROLERO

4.1 Diseño del sistema de monitoreo

El proyecto de monitoreo de pozos con *POC* se desarrolló en dos etapas: *instalación de la infraestructura de comunicaciones (Access points, torres de comunicación), e instalación y programación de remotos (radios instalados en los pozos) en campo.*

Sin embargo, antes de abordar estas dos etapas a nivel técnico, es necesario plantear una serie de pasos que describan de manera general el proyecto a ejecutar como se describe a continuación:

a) Identificación del problema

El campo petrolero *La Cira-Infantas* necesita un sistema de comunicación que le permita traer de forma inalámbrica la información de sus controladores de bombeo mecánico a un punto central, en este caso son controladores que manejan información *Serial RS232 asincrónica*. El punto central es un servidor que necesita hacer conexiones *TCP/IP* y extraer de forma serial en los equipos remotos estos datos. La velocidad de datos es de menos de *38400bps*.

b) Selección de equipos

El uso de radios *Spread Spectrum* permite no tener la necesidad de pagar por el uso de frecuencias, de forma que en la banda de frecuencias de 902-928 MHz se tienen equipos que pueden proveer este servicio, en este caso radios *iNET 900* de *GE MDS*. Estos radios permiten comunicación a *256kbps* y al ser *900MHz* tiene más alcance en distancia que radios de mayor frecuencia.

c) Definición del proyecto

Se determina el alcance del proyecto (*Scope Of Work*) para identificar que es lo que se requiere y el límite de responsabilidad de ambas partes (*OXY y GE MDS*). En este caso, se define la conexión de *98 pozos piloto* a un punto central incluyendo el diseño de cobertura para adicionar pozos futuros en el área.

Se requiere el área delimitada para establecer la cobertura del sistema y mantener el enlace de los radios:

- Coordenadas de cada sitio.
- Alturas máximas permisibles de postes o torres.
- Uso de frecuencias y de alturas en las torres o estructuras pertenecientes a OXY o Ecopetrol S.A
- Reglamentos de transmisión de RF local y Nacional, máxima potencia que se puede transmitir y tipo de antenas.

d) Pre-diseño de la infraestructura de comunicaciones

Usando una base de datos de terreno (Colombia), y con toda la información del paso c), se genera un pre-diseño donde se considera lo siguiente:

- Altura del mástil en cada remoto : 6 metros
- Tipo de radio: iNET 900
- Señal mínima: -85dBm
- Cada antena necesita una separación vertical de 3 mts en caso de que se encuentren en el mismo sitio otros equipos trabajando en la banda de 900 MHz y permita un aislamiento de interferencia de 60dB
- Según el *Ministerio de Comunicaciones (Resolución 689)¹⁰*, no está permitido el uso de *antenas omnidireccionales* transmitiendo a más de *100mW (20dBm)*, por lo que para poder transmitir a *4 Watts (36dBm)* es necesario el manejo de *antenas direccionales*

con un ángulo de cobertura de 90° (o menos), por lo que se requieren 4 antenas en cada sitio para cubrir 360°; además se emplean 4 radios (*4 puntos cardinales*) en lugar de uno con el fin de repartir la carga de equipo. Para uso futuro de más de 500 pozos, bastaría con sectorizar cada punto de repetición.

- Los radios *iNET generación II* se usarán para el enlace entre los repetidores ya que estos equipos manejan velocidades de 512kbps a 1024kbps.
- Se hace un análisis de enlace para conectar los repetidores al punto central (enlaces punto a punto)

e) Visita a campo

Luego de desarrollar un prediseño de la infraestructura, se realiza una visita a campo para verificar coordenadas y tipo de vegetación, problemas que se puedan presentar por obstrucciones no presentes en la base de datos del terreno, etc.

Durante esta visita, se hacen pruebas con equipo provisional para corroborar el modelo teórico generado en la computadora mediante el software *EDX*. Esta información es necesaria para ajustar el modelo y verificar que todo lo esperado se cumpla. De lo contrario se corrige el modelo y se genera un nuevo diseño para calcular nuevamente los parámetros del paso d).

4.1.1 Requisitos de la red inalámbrica

Los requisitos de la red inalámbrica del campo *La Cira-Infantas* son los siguientes:

- a. Proveer el 95% de área de cobertura de RF en el campo *La Cira-Infantas* usando radios *iNET*.
- b. Proveer el 100% de cobertura para los remotos (pozos) del área.
- c. Proveer conectividad entre los Puntos de Acceso y repetidores, a la oficina principal que usa radios *iNETII*.
- d. 99.9% de fiabilidad para los remotos en el área analizada.

- e. RSSI = -85dBm para todos los sitios. La medida de RSSI de los radios iNET tiene una tolerancia de $\pm 3\text{db}$; cabe aclarar que la señal RSSI no es necesariamente una medida exacta de fiabilidad.
- f. Como estándar en esta región, se emplearán mástiles de 2" de conduit rígido de 3m de altura. Todos los sitios con restricciones de altura, serán instalados con la altura apropiada usando este tipo de mástil; el sistema fue diseñado con antenas de 6m de altura. Cualquier sitio que requiera alturas de mástil y antena menores a 6 m, pueden afectar el nivel de señal.

Los estudios de propagación se realizaron basándose en el modelado teórico por computador, lo cual asegura que teóricamente el 95 % del campo es cubierto. Sin embargo, hasta que cada sitio sea visitado y probado, esto no puede ser garantizado.

4.1.1.1 EDX Signal Pro

EDX Signal Pro es una colección de herramientas de modelamiento, diseño y predicción para sistemas de comunicación inalámbricas ofrecida por la empresa *GeoBIS International (Geographic Business Intelligence Solutions)*.

Los productos de software *EDX Signal Pro* son una colección de herramientas computacionales de planeación en ingeniería, para sistemas de comunicación inalámbricos que corren bajo sistemas operacionales: Windows(r) 95, Windows 98 o Windows NT, y está definido como un sistema de "Ayudas computacionales en el área de diseño de redes de comunicaciones".

Los sistemas modulares EDX permiten predecir áreas de servicio, operación y trayecto de las señales de RF, que usa modelos de propagación avanzados y que consideran terreno y rasgos del tipo de terreno; tiene la capacidad de modelar el comportamiento de las señales de Radio Frecuencia, al alrededor de los edificios, zonas urbanas y rurales, así como en entornos de topografía variada¹⁵.

Geobis cuenta con un Banco de Datos Geográfico tridimensional de América Latina muy importante para el arranque rápido de los proyectos con las herramientas de EDX. *Mapas Digitales Inteligentes Locales de Ciudades* y a nivel rural de toda América Latina y algunos países de Europa, Asia y Oceanía disponibles en los formatos : *MIF, SHP, E00, DXF, DWG, AGF, ASCII, Garmin, BNA, DEM, TXT, JPG, BMP* y otros compatibles con los estándares del mercado mundial¹⁶. En la *Figura12* se muestra un ejemplo del tipo de información obtenida en la base de datos de Geobis.

TIPO	ITEM	DESCRIPCION	ESCALA	TIPO COORD.	FECHA ACT.
Mapa Digital	CIRCACIA - Departamento de QUINDIO	Zonas de interés, Malla vial e hídrica.	1:5000	WGS 84	2006
Mapa Digital	LA TEBaida - Departamento de QUINDIO	Zonas de interés, Malla vial, hídrica y férrea, Puntos de interés.	1:5000	WGS 84	2006
Mapa Digital	MONTENEGRO - Departamento de QUINDIO	Zonas de interés, Malla vial, hídrica y férrea, Puntos de interés.	1:5000	WGS 84	2006
Mapa Digital	QUIMBAYA - Departamento de QUINDIO	Zonas de interés, Malla vial, hídrica y férrea.	1:5000	WGS 84	2006
Mapa Digital	DOSQUEBRADAS - Departamento de RISARALDA	División administrativa, Zonas de interés, Malla vial e hídrica, Sitios de interés.	1:5000	WGS 84	2006
Mapa Digital	LA VIRGINIA - Departamento de RISARALDA	División administrativa, Zonas de interés, Malla vial e hídrica, Sitios de interés.			
Mapa Digital	PEREIRA - Departamento de RISARALDA	División administrativa, Zonas de interés, Malla vial e hídrica, Sitios de interés.	1:5000	WGS 84	2006
Mapa Digital	SANTA ROSA DE CABAL - Departamento de RISARALDA	División administrativa, Zonas de interés, Malla vial, hídrica, Sitios de interés.	1:5000	WGS 84	2006
Mapa Digital	SAN ANDRES - Departamento de SAN ANDRES	Zonas de interés, Malla vial e hídrica, puntos de interés.	1:5000	WGS 84	2006
Mapa Digital	BARRANCABERMEJA - Departamento de SANTANDER	División administrativa, Zonas de interés, Malla vial, hídrica y férrea, Sitios de interés.	1:4000	WGS 84	2006

Figura 12. Mapas de Colombia a nivel de detalle de ciudades

Mediante avanzados modelos de propagación y el completo manejo de los parámetros de operación de los sistemas de comunicación deseados, los sistemas *EDX* permiten realizar un estudio global y entregar parámetros del comportamiento del sistema a implementar, resultando en la más adecuada predicción para la toma de decisiones antes de entrar a ejecutar cualquier tipo de proyecto a nivel logístico y operacional que implique el manejo de sistemas de comunicaciones al nivel de Celular, Radio AM, FM, TV, RF, PCS, LMDS, y MICROONDAS.

4.1.1.2 Radios MDS iNET 900

MDS iNET 900 es una solución IP/Ethernet inalámbrica e industrial de largo alcance y gran velocidad. Permite que los clientes descarguen información comercial por Ethernet o una entrada

serial y por redes IP. Esto incluye información generadora de ingresos, crucial para la misión de activos fijos como pozos de petróleo o gas, oleoductos, gasoductos, estaciones de compresores, tanques de almacenamiento de fluidos y medidores de servicios. También permite el acceso a redes portátiles para operaciones con vehículos.

MDS iNET 900 está disponible en tres configuraciones:

Punto de Acceso / Remoto de doble entrada, que provee conectividad serial y Ethernet que el cliente puede configurar como punto de acceso o entrada dual.

Remoto de entrada serial, que provee dos puertos seriales y permite la migración de serial a IP.

Remoto Ethernet tipo Bridge, que permite conectividad Ethernet con la posibilidad de conectar múltiples dispositivos.

Este equipo utiliza tecnología avanzada de *900 MHz FHSS* para operaciones sin necesidad de licencia en la banda *902-928 MHz ISM*. Tiene un rango de hasta 50 Km (30 millas) y una tasa de transmisión de datos de hasta *512 kbps* para comunicaciones IP/Ethernet.

En la *Figura 13* se muestra una fotografía del iNET900 del fabricante *MDS (Microwave Data Systems)*¹⁷



Figura 13. Radio iNET 900

Características:

- Controla simultáneamente varios protocolos/aplicaciones/usuarios a través de una radio o una red
- Entrada serial: Permite la migración de redes seriales existentes a IP
- Operaciones en áreas de clase clasificadas UL Clase I Div 2*. Rango amplio de temperatura para condiciones ambientales extremas
- IP/Ethernet de clase industrial
- Largo alcance - hasta 50 Km (30 millas)
- Alta velocidad - hasta 512 Kbps
- Seguro - múltiples niveles de seguridad; protege sesiones privadas o contra acceso no autorizado
- Sin necesidad de licencia
- Conexión de uso inmediato: Mínima configuración en el lado remoto

Aplicaciones:

- Ethernet inalámbrica
- Entrada a TransNet y otras redes de corto alcance
- Conectividad con redes seriales y/o redes Ethernet
- Video y Voz por IP
- Acceso de red portátil para operaciones en vehículos.

En la *Figura 14* se muestra un ejemplo de aplicación de radios iNET900 .

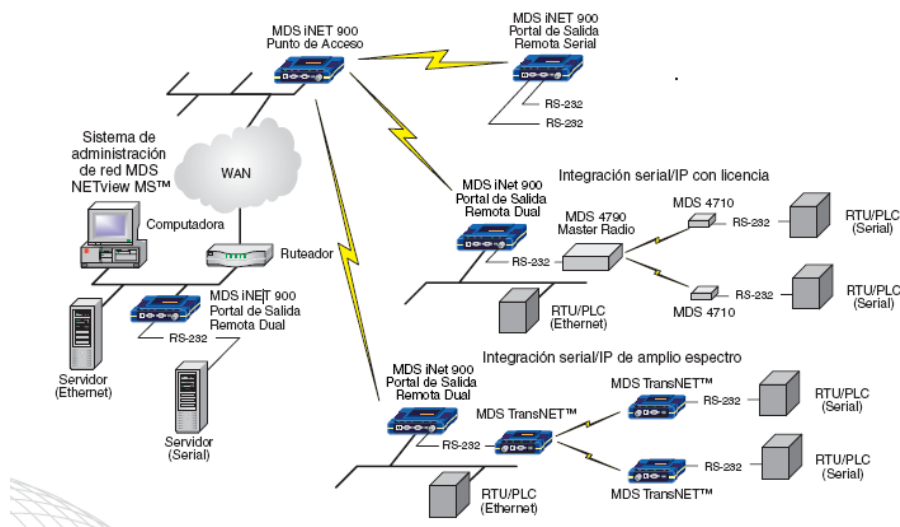


Figura 14. Aplicación de radios iNET900

A continuación, en la *Figura 15* se describen las especificaciones técnicas del radio *MDS iNET 900*.

General		Radio	
Velocidad de los datos	512/256 Kbps enlace aéreo configurable por el usuario Puertos seriales desde 1.200 hasta 115.200 bps	Portencia del Radio	0.1 a 1 watt (20 a 30 dBm)
Banda de frecuencia	banda ISM 902-928 MHz	Impedancia de salida	50 Ohms
Modo de distribución	Amplio Espectro en salto de Frecuencia	Ancho de banda utilizado	316.5 kHz
Rango	Hasta 50 Km (30 Millas)	Modulación	CPFSK (en Fase Continua FSK)
Configuraciones	Punto de acceso/Portal Dual Remoto Configurable por el cliente como punto de acceso o portal dual (conexiones seriales y Ethernet/IP) Portal Serial Remoto 2 conexiones de puerto Puente Remoto Ethernet 1 conexión de Ethernet con capacidad multipunto	Sensibilidad de recepción	-92 dBm @ 512 Kbps con 10 ⁻⁶ BER -100 dBm @ 256 Kbps con 10 ⁻⁶ BER
Interfaz física		Administración	
Ethernet	10BaseT, RJ-45	HTTP (servidor web incorporado)	
Serial	RS-232/V.24, DB-9F, DCE RS-232/V.24, DB-9M, DTE	SNMPv1, MIB II, Enterprise MIB	
Antena	Conector TNC (hembra)	Interfaz de menú de textos Telnet en puerto serie	MDS NETview M5™
LEDs	Red de Area Local, Puerto Com1, Puerto Com2, Alimentación Eléctrica, Enlace	Datos ambiente	
Protocolos		Temperatura	-30°C a +60°C (-22°F a +140°F)
Inalámbricos	CSMA/CA Protocolo inalámbrico con sistema anticollisión	Humedad relativa	95% a 40°C (104°F) sin condensación
Ethernet	IEEE 802.3 Spanning Tree (Bridging) IP (DHCP, ICMP, UDP, TCP, ARP)	Alimentación	10.5-30 Vdc (13.8 Vdc nominal)
Serial	Modo de canal transparente libre para conexión asincrónica de protocolos multipunto incluyendo Modbus, DNP.3, DF1, B5AP.	Opciones alimentación externa	48 Vdc, 110/220 Vac
		Consumo de potencia	Rx: 2.8 W de 10.5 a 24 Vdc Rx: 3.5 W de 24.5 a 30 Vdc Tx: 8 W de 10.5 a 24 Vdc Tx: 9 W de 24.5 a 30 Vdc
		Mecánico	
		Gabinete	Aluminio Moldeado
		Dimensiones	3.15 alto x 17.2 ancho x 11.2 profundidad (cm) (1.25 alto x 6.75 ancho x 4.5 profundidad (pulgadas))
		Peso	908 g (2 libras)
		Opciones de montaje	Soportes de montaje en superficies planas, ranura según norma DIN, rack de 19 pulg. (1U de altura)
		Aprobaciones de agencia	
		FCC Parte 15 aprobado UL Clase UL 1 Div. 2 aprobado* (UL 508, UL 1604) IC aprobado CSA Pendiente	

Figura15. Especificaciones técnicas radios iNET 900¹⁷

4.1.2 Red iNET900

La red inalámbrica para esta aplicación, ha sido diseñada con dos *backhauls* independientes (*norte-sur*) del centro de control del campo. Todos los enlaces del *backhaul* usarán radios *iNETII* los cuales son configurados con redundancia para los enlaces del *Access Point* principal cuyo nombre asignado es: *ECO1*.

Para alcanzar una mayor propagación, el diseño propone el empleo de cuatro *antenas sectoriales* con 90° *beamwidth* para cubrir 360° y hacer uso de la máxima energía permitida.

En la *Figura 16* se muestra la red completa con los componentes de la misma.

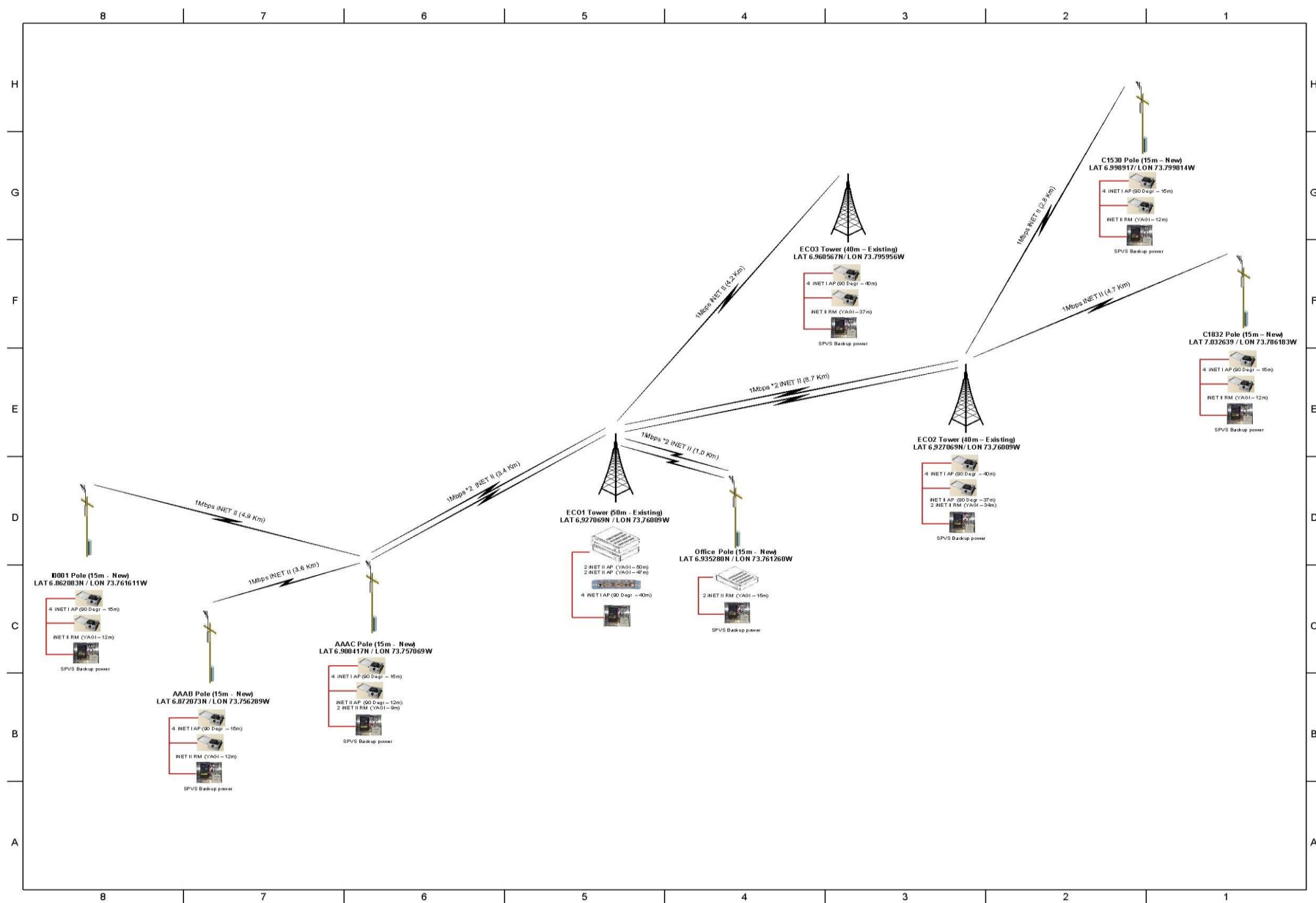


Figura 16. Red inalámbrica campo La Cira-Infantas

4.1.2.1 Descripción de la red

En la *Figura 17* se puede observar la ubicación real de cada punto de transmisión que conforma la red, basándose en el croquis de la locación. Esta figura ilustra básicamente las conexiones del *backhaul* y la información concerniente a los tipos de antenas empleadas y la ubicación de las mismas.

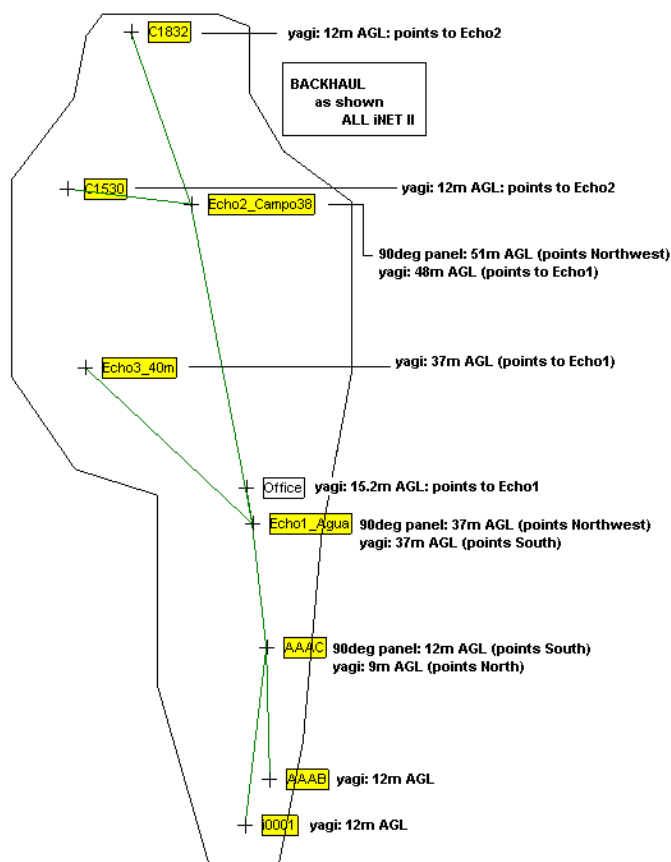


Figura 17. Conexiones Backhaul (con radios iNETII)

NORTE:

1. **ECO1**: Tiene una torre de 40 metros *aprox.* con línea de vista al *cuarto de control (office)* y a los dos repetidores principales: *ECO2* y *AAAC* (ver *Figura 18*). Su ubicación permite proporcionar cobertura a las propiedades centrales del campo petrolero.

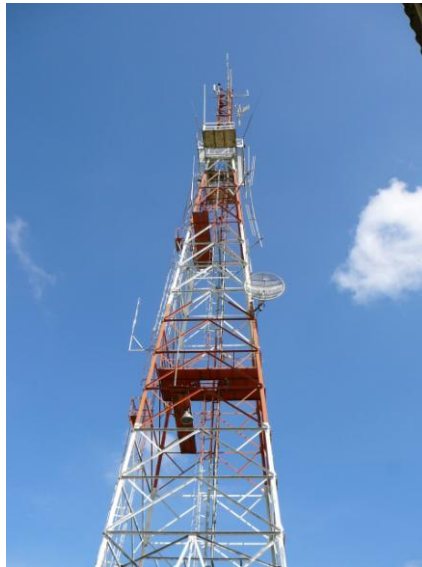


Figura 18. Torre de comunicaciones ECO1

Para el *backhaul* se emplearon dos *estaciones de red protegidas P21* proporcionadas por la empresa de comunicaciones *GE MDS*, a las cuales se conectan dos radios *iNETII (Access Point)* respectivamente, en una configuración redundante orientada hacia el *sur* y *nor-occidente*.

Los *P21* consisten en un tablero diseñado para sostener dos *transceivers* *MDS*, dos fuentes de poder y una tarjeta lógica de intercambio encargada de seleccionar automáticamente entre el *transceiver A* o *B* como equipo activo. Esta selección también se puede hacer de forma manual mediante un *switch de panel frontal*.

En la *Figura 19*, se muestra el aspecto físico de un *P21* y las conexiones externas del mismo.

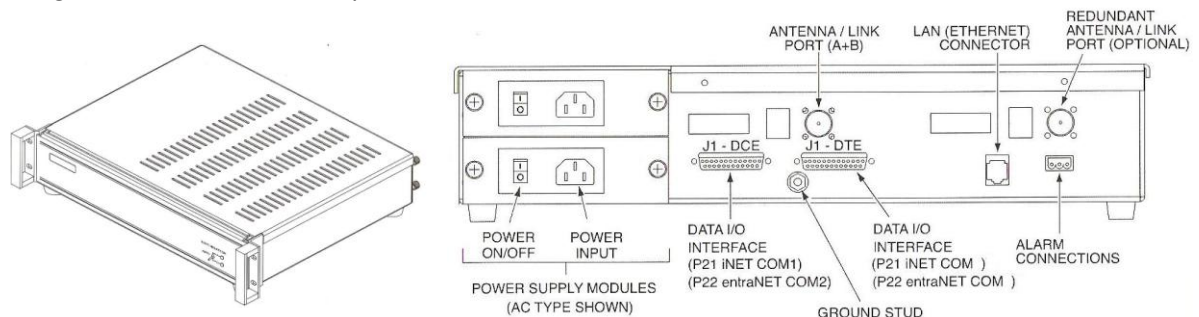


Figura 19. Aspecto físico y conexiones externas del P21

2. **Cuarto de control (*office*):** El enlace del cuarto de control a *ECO1*, se obtuvo con un poste de 15 metros de altura y dos remotos *iNETII* en un *P21* para proporcionar redundancia, y un enlace de 1024kbps con una antena *yagi* apuntando a *ECO1*.
3. **ECO2:** Es la segunda torre con una altura de 54 metros *aprox.* Está conformada por un gabinete *P70* con 4 radios *iNETI* (*Access Point*) (ver *Figura 20*) y cuatro antenas tipo panel de 90° respectivamente ubicadas encima (norte, sur, oriente y occidente) para cubrir los 360°, tal y como se muestra en la *Figura 21*.



Figura 20. Gabinete P70 con los cuatro radios iNETI para los remotos

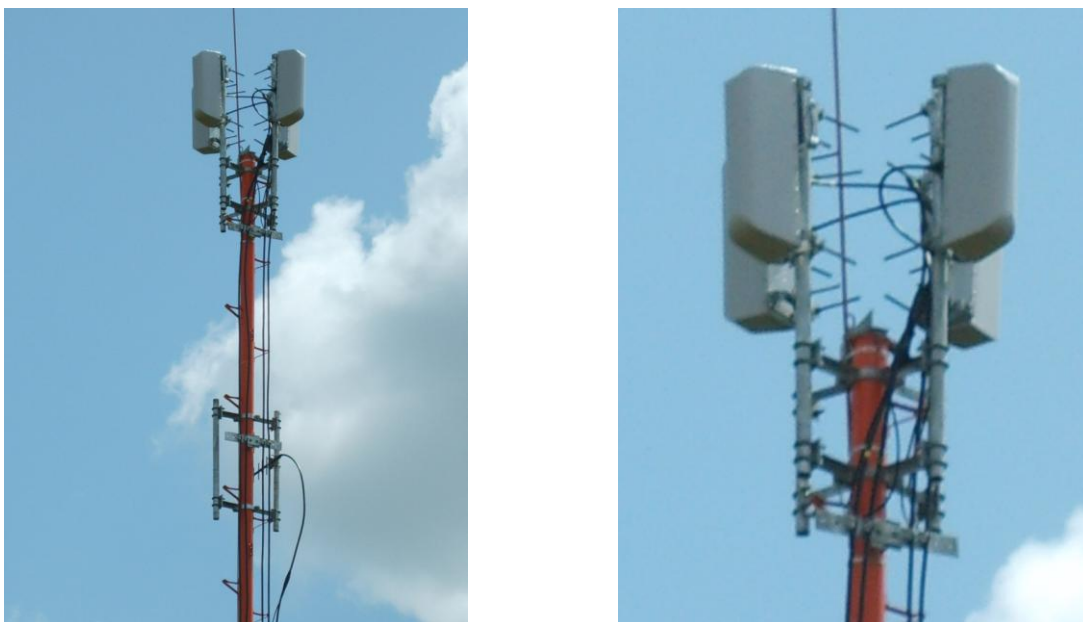


Figura 21. Antenas panel de 90°

A 3m del montaje de las cuatro antenas, se ubicó otra antena de 90° para enlazar los repetidores secundarios (*C1530* y *C1832*), mientras que a 6 metros por debajo de dicho montaje, se instaló una antena *yagi* con dos radios *iNETII* (*Access Point*) en una configuración redundante, para enlazarse con *ECO1*.

- 4. C1530 y C1832:** Ambos repetidores tienen la misma configuración con postes de 15 metros y *P70* con 4 *iNETI* (*Access Point*) para cubrir 360°. Con una *yagi* ubicada a 3 metros por debajo del montaje de las 4 antenas tipo panel, se apunta a la torre de *ECO2* con un remoto *iNETII* como se muestra en la *Figura22*.

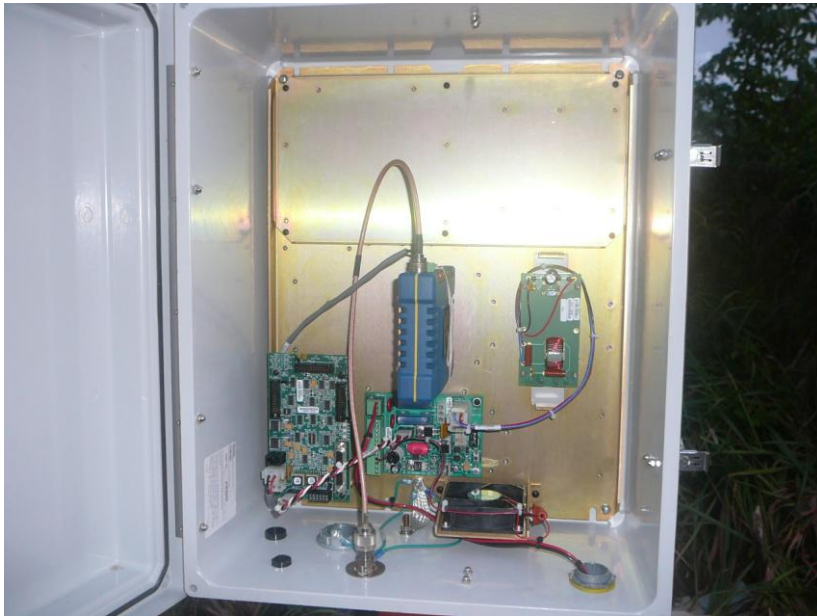


Figura 22. P70 con radio iNETII para enlazar con ECO2

En las *Figura 23* se muestra el montaje de los postes correspondientes a los repetidores *C1832* y *C1530* respectivamente.



Figura 23. Repetidoras C1530 y C1832

1. **ECO3:** Es una torre de 40 metros aprox. que tiene la misma configuración de los repetidores *C1530* y *C1832* con *P70* conformado por 4 *iNETI* (*Access Point*) para cubrir 360° y una antena *yagi* apuntando a *ECO1* con un *P70* soportando un remoto *iNETII*.

SUR:

1. **AAAC:** Es uno de los repetidores principales junto con *ECO2*. Consta de un *P70* con *iNETI* (*Access Point*) para cubrir 360° y antenas panel de 90° en la cima del poste. Debajo de este montaje, a 3 metros, se ubicó otra antena de 90° (*radio iNETII Access Point*) para enlazar con los repetidores secundarios (*AAAB* y *I0001*), mientras que a 6 metros del montaje se instaló una antena *yagi* con dos radios *iNETII* (*remotos*) en redundancia, para enlazarse con *ECO1*. (ver Figura 24)



Figura 24. Poste del repetidor AAAC

2. **AAAB:** Está conformado por un poste de 15 metros y un *P70* con 4 *iNET* (*Access Point*) para cubrir 360 grados; 3m debajo de la cima de la torre se ubicó una *yagi* apuntando hacia *AAAC* con otro *P70* conformado por *iNETII* (*remoto*).

En la *Figura 25* se muestra el montaje de las antenas en el poste de *AAAB* y se puede observar que la alimentación de las mismas se obtuvo con un panel solar, la igual que en el repetidor principal *AAAC*.

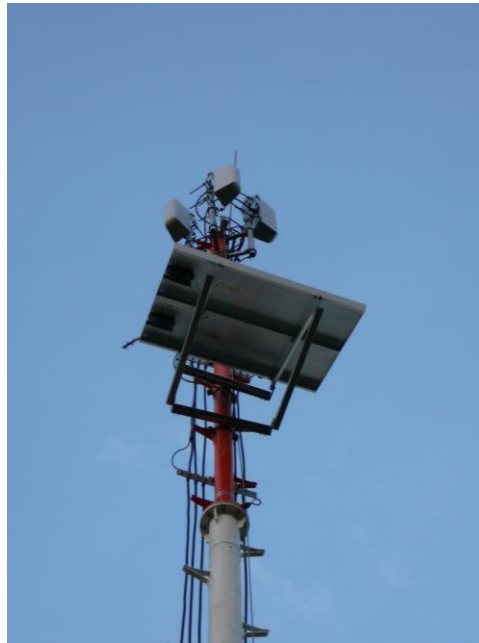
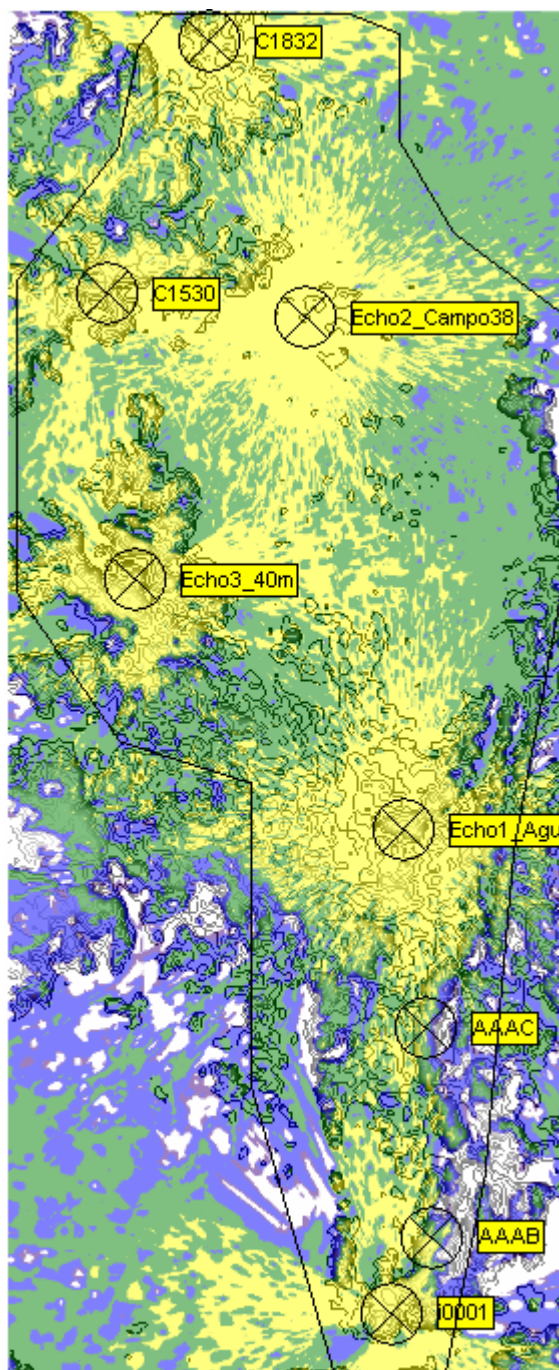


Figura 25. Repetidor secundario AAAB

3. **I0001:** Este repetidor está conformado por el mismo montaje que se realizó en *AAAB*: poste de 15 metros y un *P70* con 4 *iNET* (*Access Point*) para cubrir 360 grados; 3m debajo de la cima de la torre se ubicó una *yagi* apuntando hacia *AAAC* con otro *P70* conformado por *iNETII* (*remoto*).

COBERTURA DE LA RED:

En la *Figura 26* se muestra el mapa del sitio con la cobertura y el *RSSI* esperados. Este resultado es generado por el simulador empleado para esta aplicación: *EDX Signal Pro*.



EDX SignalPro™: COLOMBIA-PRELIMINARY

Prop. model 1: Anderson-2D v1.00
 Time: 50.0% Loc.: 50.0%
 Prediction Confidence Margin: 20.0dB
 Climate: Continental Subtropical
 Land use (clutter): none
 Atmospheric Abs.: none
 K Factor: 1.333

Received Power at remote

> -70.0 dBmV
 -80.0 to -70.0 dBmV
 -90.0 to -80.0 dBmV
 -92.0 to -90.0 dBmV
 < -92.0 dBmV

Display threshold level: -199.0 dBmV

RX Antenna - Type: DA
 Height: 6.1 m AGL Gain: 10.00 dBd

Terrain elevations

= 150.0 m
 = 144.4 m
 = 138.9 m
 = 133.3 m
 = 127.8 m
 = 122.2 m
 = 116.7 m
 = 111.1 m
 = 105.6 m
 = 100.0 m

KILOMETERS
 -1 0 4



Service Area covered: 97%
 (≥ -92 dBm with a 20dB fade margin)

Figura 26. Área de cobertura y RSSI esperados

Por otra parte, en la *Figura 27* se muestra el área cobertura obtenida por cada *Access Point* con antenas de 90°.

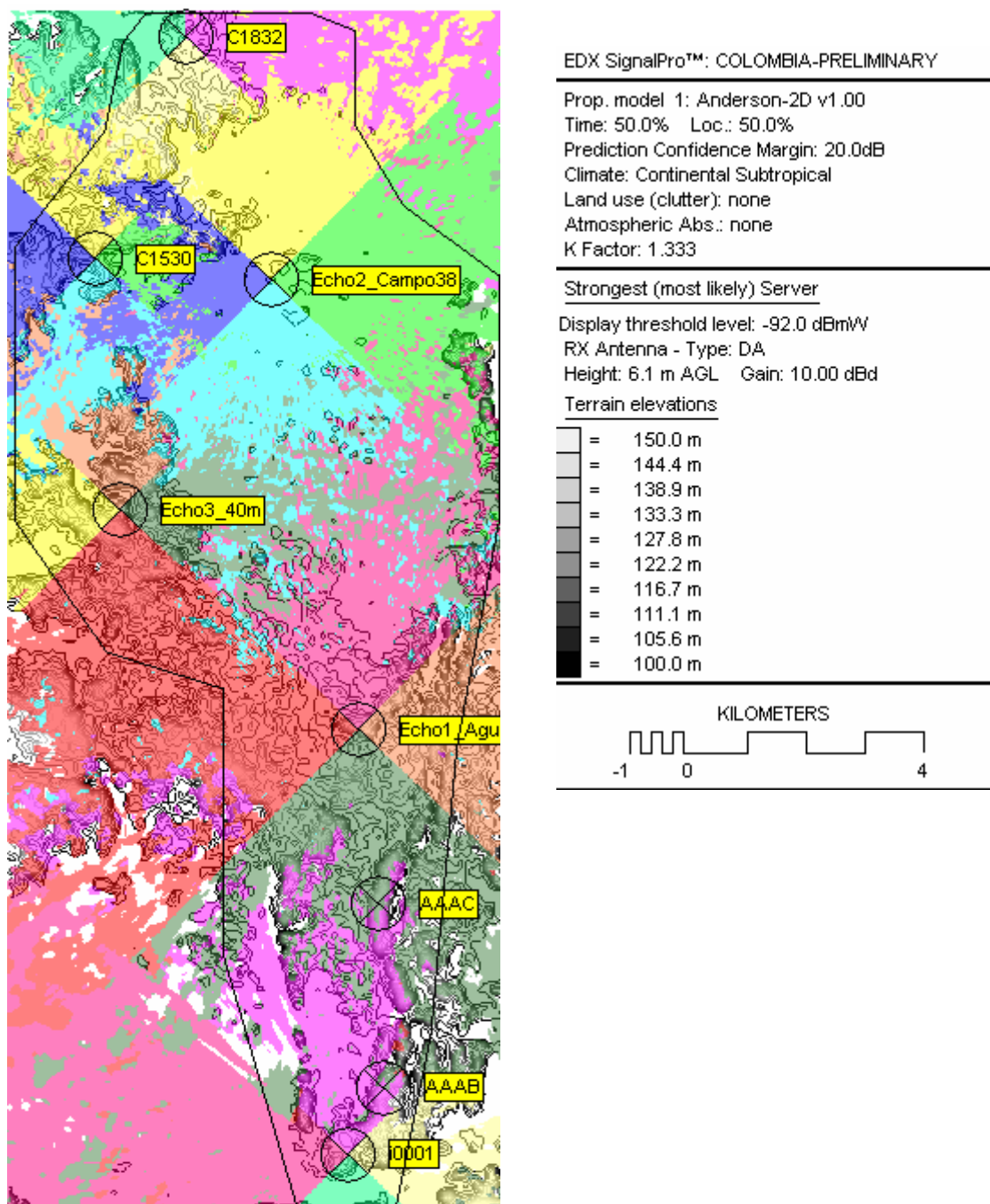


Figura 27. Área de cobertura por cada Access Point

4.2 Beneficios del sistema monitoreo

Toda la infraestructura descrita anteriormente, optimizó el trabajo de los ingenieros de control de producción al brindarles las siguientes facilidades:

- Visualización en tiempo real del estado del pozo (funcionamiento normal, pozo detenido, mal funcionamiento, etc.)
- Obtención de cartas dinamométricas de superficie y de fondo.
- Ejecución acciones de *paro y arranque* de la unidad de bombeo mecánico desde cualquier ubicación geográfica (dentro de la red WAN de OXY).
- Obtención de la producción diaria de cada pozo.
- Identificación de fallas en el sistema de bombeo y la fuente de origen de las mismas.
- Posibilidad de optimizar el diseño de cada pozo calculando el *setpoint* óptimo, tomando como referencia el registro de cartas dinamométricas anteriores.

El software utilizado para esta aplicación se conoce como *LOWIS (Life of Well Information Software)* el cual, a su vez ofrece:

- Suite integrada de supervisión, análisis y herramientas de administración de servicio de pozos
- Despliegue visual de información y mapeo de prioridades diarias de trabajo
- Gestión de priorización de trabajo y atención a los productores más altos
- Abierto a varios métodos de telemetría en cabezal de pozo
- Conectividad con múltiples controladores y RTU's
- Soporte de todo tipo de pozo y proceso
- Tendencias, reportes y gráficos completamente integrados

5. CONCLUSIONES

Para diseñar un sistema de monitoreo eficiente, es necesario identificar claramente la necesidad que se espera atender con la implementación del mismo. El diseño de un sistema de transmisión no depende únicamente de las características del terreno sino también de las leyes que rigen el tipo de modulación a emplear según el país, por esta razón, en este documento se recopiló la información requerida en ambos aspectos: conceptos relacionados con la comunicación inalámbrica y con la técnica de espectro ensanchado, además de conocer las resoluciones enfocadas a este tipo de transporte de información en la banda de frecuencia de uso libre según el Ministerio de Comunicaciones.

Con el desarrollo de este documento se obtuvo un esquema de referencia detallado sobre los pasos a seguir en el momento de diseñar un sistema de transmisión de manera inalámbrica empleando, en este caso, la técnica de espectro ensanchado, la cual tiene propiedades únicas que no se pueden encontrar en ninguna otra técnica de modulación, como por ejemplo, resistir todo tipo de interferencias y brindar confidencialidad de la información transmitida gracias a los códigos pseudoaleatorios empleados en la modulación y demodulación de la señal en banda base. Al explorar un poco la tecnología de *Espectro Ensanchado* aplicada en el sistema de monitoreo tomado como guía de estudio en este proyecto, se puede concluir que dicha técnica de modulación está diseñada para intercambiar eficiencia en ancho de banda por confiabilidad, integridad y seguridad, es decir, más ancho de banda es consumido en comparación con la transmisión en banda angosta, pero la relación [ancho de banda/potencia] produce una señal que es en efecto más fuerte y así más fácil de detectar por el receptor que conoce los parámetros de la señal de espectro ensanchado que está siendo difundida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] www.fi.uba.ar/materias/6756/Bombeo_en_pozos_1C_07.pdf
- [2] biblioteca.iapg.org.ar/iapg/ArchivosAdjuntos/Producción2006/32.pdf
- [3] <http://www.oilproduction.net/files/Dinamometria.pdf>
- [4] Documentos Lufkin Automation
- [5] <http://www.ilustrados.com/publicaciones/EEuyEVALZVJwOqzXbT.php>
- [6] www.tcsingenieria.com/descargas/Brochure%20productos%20Esteem%20v1.pdf
- [7] www.vmonitor.com/docs/presentations/vMonitor_Presentation.ppt
- [8] http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_ensanchado_por_secuencia_directa
- [9] <http://www.34t.com/Unique/WiFiAntenas.asp>
- [10] http://www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/?startRow=40&numRow=103&maxRow=20&col=&order=&search=2&criteria=3&op=&page=../mods/legislacion/legislacion_user_list

[11] http://www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/index.jsp?page=../mods/contenido/view_page&id=324&state=V

[12] <http://es.wikipedia.org/wiki/COM1>

[13] http://es.wikipedia.org/wiki/Transmision_sincrona

[14] http://es.wikipedia.org/wiki/Transmision_asincrona

[15] http://www.geobis.com/software_edx.htm

[16] <http://www.geobis.com/mdi/colombiaprincipal.htm>

[17] www.microwavedata.com