



PROGRAMA REGIONAL DE ENTRENAMIENTO GEOTÉRMICO (PREG)
Diplomado de Especialización en Geotermia - 2015

Universidad de El Salvador
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Unidad de Postgrados

La Geo



Proyecto: “Estudio técnico de la adquisición y transmisión de datos en tiempo real de temperatura, presión, flujo de agua y flujo de vapor geotérmico, mediante puerto de enlace wireless y representación de los datos en SCADA-WEB, de pozos de producción de una central geotérmica.”

Por :
Soriano García, Rubén Alonso
Díaz Sosa, Arístides Mauricio

Área de Estudio: Instalaciones Superficiales

Presentado:
30/Octubre/2015

Tutor: Ing. José Luis Henríquez
Colaborador: Ing. Oscar Cideos

Índice

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES	4
1.1 RESUMEN	4
1.2 INTRODUCCIÓN	5
1.3 OBJETIVOS	6
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	6
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.4 ALCANCE	6
1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.6 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	7
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	8
2.1 ENERGÍA GEOTÉRMICA	8
2.1.1 TIPOS DE CENTRALES GEOTÉRMICAS	8
2.2 PARAMETROS DE MEDICIÓN	10
2.2.1 TEMPERATURA	10
2.2.2 PRESIÓN	10
2.2.3 FLUJO DE AGUA Y VAPOR, MEDICIÓN DE CAUDAL Y TRANSDUCTORES DE CAUDAL DE FLUIDOS	11
2.3 ENTALPIA	12
3.0 – ADQUISICIÓN, TRANSMISIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS	14
3.1 AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS GEOTÉRMICOS	14
3.1.1 COMPONENTES EN CAMPO Y PLATAFORMAS	14
3.1.2 SISTEMA DE CONTROL	15
3.2 SENSORES, TRANSDUCTORES Y TRANSMISORES	16
3.2.1 MEDICIÓN DE TEMPERATURA	18
3.2.2 MEDICIÓN DE PRESIÓN	19
3.2.3 MEDICIÓN DE FLUJO	20
3.3 COMUNICACIÓN INALÁMBRICA	22
3.3.1 GENERALIDADES	22
3.3.2 CLASIFICACIÓN DE REDES INALÁMBRICAS INDUSTRIALES	24
3.4 TRATAMIENTO DE DATOS	27
3.4.1 SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO (DCS)	27
3.4.2 SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS (SCADA)	29

4.0 – PROPUESTA Y DESARROLLO DEL SISTEMA	33
4.1 METODOLOGÍA	33
4.1.1 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA	34
4.2 PROPUESTA DE SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS EN TIEMPO REAL DE PARÁMETROS GEOTÉRMICOS.	34
4.2.1 TRANSDUCTORES DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA, PRESIÓN Y FLUJOS.	34
4.2.2 CONCENTRADOR DE SEÑALES DE SENSORES.	39
4.2.3 CABLEADO DE SENSORES	40
4.2.4 SISTEMA DE POTENCIA	42
4.3 INGENIERÍA CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE DATOS	44
4.3.1 TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICA DESDE LA PLATAFORMA	46
4.3.2 RECEPCIÓN DE DATOS EN LA PLANTA	48
4.3.3 SISTEMA DE MONITOREO	49
4.3.4 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	51
5.0 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
5.1 CONCLUSIONES	55
5.2 RECOMENDACIONES	56
6.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
6.1 PUBLICACIONES	57
6.2 DOCUMENTOS TÉCNICOS	58
6.3 PÁGINAS DE INTERNET	58

Capítulo 1. Generalidades

1.1 RESUMEN

Los sistemas de control de una planta generadora de energía a base de energía geotérmica, juegan un papel fundamental en su operación, ya que es por medio de dichos sistemas que se realiza un monitoreo completo de las variables involucradas en el proceso desde el muestreo de los insumos hasta la entrega de la energía a la red de transmisión, con la ayuda de los avances tecnológicos es posible en la actualidad tener un panorama completo y constante en tiempo real de las variables involucradas lo cual permite brindar la protección a los equipos y al personal técnico que labora en las plantas generadoras de energía eléctrica y desarrollar la función de control.

En este trabajo se expone la ingeniería conceptual necesaria para implementar un sistema de monitoreo capaz de ver en tiempo real la medición de parámetros termodinámicos implicados en la producción de electricidad a base del vapor geotérmico antes de entrar a las turbinas de una planta de generación geotérmica, con el fin de mejorar la capacidad del proceso de medición y adquisición de datos que actualmente se podría estar realizando de forma esporádica y/o localmente.

SCADA es el acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos). Un SCADA es un sistema basado en computadores que permite supervisar y controlar a distancia una instalación controladora. En el área de las comunicaciones en entornos industriales, cada día es más común el término SCADA, los cuales giran alrededor de dos variables o aspectos técnicos y comerciales. Cada sistema está optimizado por y para diferentes niveles de automatización y en consecuencia responden a los intereses de sus usuarios.

Los valores de presión, temperatura y entalpía obtenidos de la medición serían desplegados en la interfaz del sistema SCADA y almacenados en la base de datos local, además de ser transmitidos remotamente al cuarto de control de la planta geotérmica, desde donde se puede monitorear el estado continuo del sistema, así como configurar el periodo de medición.

La automatización, permite una mayor exactitud de la medición, así como el monitoreo continuo de los parámetros deseados, que es de vital importancia para valorar la calidad del vapor geotérmico y con ello tener un mejor control de la generación eléctrica y mezclado del vapor que se obtiene de los pozos geotérmicos, así como la programación oportuna de los mantenimientos de la planta, para conservarla en los más altos índices de eficiencia operacional.

1.2 INTRODUCCIÓN

Dentro de las mediciones que es necesario conocer en una central geotérmica se encuentra la entalpía del vapor a la entrada de las turbinas, ya que, su conocimiento permite calcular otros parámetros de desempeño de vital importancia, como la eficiencia de la turbina, los rendimientos de producción y eficiencia de la unidad de producción geotérmica.

Actualmente en muchas centrales geotérmicas a nivel mundial, el proceso de medición de entalpía se realiza de forma manual con evaluaciones puntuales antes o después de los mantenimientos programados, con lo que no permite una medición continua de dichos parámetro.

En el presente trabajo se expone el diseño un sistema de instrumentación y virtual para la medición de parámetros en plataformas de pozos geotérmicos, como presión, temperatura, flujo de vapor, etc., para llevar un monitoreo del flujo antes de entrar a las turbinas de una planta de generación geotérmica, con el fin de mejorar un proceso de medición esporádico y manual.

Los valores de presión, temperatura y entalpía obtenidos de la medición serán desplegados en un sistema SCADA-WEB, además de ser transmitidos remotamente al instrumento virtual localizado en el cuarto de control de la planta geotérmica desde donde se puede monitorear el estado continuo del pozo productor así como configura el periodo de medición y presentar un registro historio de los datos adquiridos.

El sistema propuesto permite una mayor exactitud de la medición, así como el monitoreo continuo de parámetros geotérmicos, que son de vital importancia para valorar la calidad del vapor geotérmico y con ello tener un mejor control de la generación eléctrica y mezclado del vapor que se obtiene de los pozos geotérmicos, así como la programación oportuna de los mantenimientos de la planta, para conservarla en los más altos índices de eficiencia operacional.

1.3 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Plantear la ingeniería conceptual para un sistema de adquisición de datos geotérmicos de pozos productores en tiempo real que permita la transmisión de los mismos mediante puerto de enlace wireless mostrándolos en una interfaz SCADA en cualquier lugar del mundo vía internet.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la factibilidad técnica para la implementación de la adquisición y transmisión vía inalámbrica de datos de temperatura, presión, flujo de agua y flujo de vapor en tiempo real de las plataformas de producción de una central geotérmica.
- Establecer los criterios técnicos para la selección de los equipos de instrumentación necesarios para la implementación del sistema inalámbrico de adquisición y transmisión de datos en tiempo real.
- Desarrollar el sistema básico del software SCADA-WEB que permita visualizar los parámetros de proceso de una plataforma geotérmica desde una estación remota.

1.4 ALCANCE

El proyecto está destinado a determinar la ingeniería conceptual de la implementación de un sistema de adquisición y transmisión de datos vía inalámbrica, para manipular datos de presión, flujo de líneas de proceso separadas (Vapor y Agua) de pozos geotérmicos, desde la plataforma de producción, hasta el cuarto de control o vía WEB.

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de los parámetros que es necesario conocer se encuentran presión, temperatura y flujo del vapor producido, ya que, su conocimiento permite calcular otros parámetros de desempeño de vital importancia como son la eficiencia de la turbina, los rendimientos y eficiencia de la unidad geotérmica.

1.6 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La problemática plantea la necesidad de integrar un sistema que permita conocer el desempeño en línea y oportuno de los pozos productores. El presente proyecto se centra en el diseño básico, la ingeniería conceptual y metodología de implementación de un sistema capaz de adquirir, almacenar y transmitir en tiempo real vía wireless los parámetros necesarios para el monitoreo oportuno de pozos productores.

La solución planteada se divide en 2 partes estratégicas que pretenden describir de manera concisa las diferentes etapas necesarias del proceso de automatización de una plataforma con pozos geotérmicos productores.

La primera parte describirá conceptualmente el hardware del sistema para la adquisición, almacenamiento y transmisión de parámetros termodinámicos necesarios para el análisis continuo de la producción de un pozo. Se plantearán los diferentes módulos que comprenderán el sistema: módulo de potencia, encargado de alimentar todos los equipos que componen el sistema; módulo de control, el cual consiste en un conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento del sistema, con el fin de reducir las probabilidades de fallo y obtener los resultados deseados.

La segunda parte describe los fundamentos teóricos para la transmisión de los parámetros adquiridos mediante puerto de enlace wireless así como también la visualización de los mismos por medio de un sistema SCADA que permita su administración desde cualquier punto mediante la red informática WEB.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1 ENERGÍA GEOTÉRMICA

Se entiende por energía geotérmica a aquella que, aprovechando el calor que se puede extraer de la corteza terrestre, se transforma en energía eléctrica o en calor para uso humano o procesos industriales o agrícolas. La Tierra almacena en forma de calor gran cantidad de energía. Diferentes hipótesis tratan de explicar a que se deben estas altas temperaturas existentes sobre el origen y posterior evolución del planeta.

2.1.1 TIPOS DE CENTRALES GEOTÉRMICAS

Las características de cada central geotérmica vendrán condicionadas por el fluido geotérmico que se pueda explotar en el reservorio. Las características termodinámicas del fluido (temperatura y presión), la fase en que se encuentre el fluido (vapor seco, mezcla de agua y vapor, etc.), la salinidad del fluido, las características de los elementos disueltos en el fluido, etc., influyen decisivamente en las características tecnológicas del equipamiento necesario en la central. Igualmente, el modelo de reservorio geotérmico, su capacidad de renovación del fluido, el volumen del almacén, etc., condicionan el diseño del modelo de gestión del campo geotérmico. En este sentido, la necesidad de mantener presiones en el almacén geotérmico obligará a diseñar un circuito, equipos de bombeo y sondeos de inyección a través de los que se inyecta una parte del fluido extraído y se renueva el fluido que sirve de transporte al calor geotérmico.

Es el tipo de fluido, que se localiza en el reservorio, el que condiciona principalmente el tipo de central geotérmica precisa. En este sentido, los campos de vapor seco (tan sólo unos pocos casos en el globo) son los que permiten utilizar la tecnología más sencilla, ya que el fluido geotérmico se puede llevar directamente a la turbina para producir electricidad. La producción del vapor en los sondeos es por expansión, al reducir la presión, de modo muy similar a la producción de los campos de gas natural. Hay varios tipos de tecnologías disponibles para la explotación de estos yacimientos, de entre los cuales se describen tres a continuación:

•Ciclo directo con descargar atmosférica: Este es el ciclo más simple y más barato en cuanto a costo de planta. El vapor procedente directamente del pozo pasa a las turbinas de donde escapa a la atmósfera. Estas unidades pueden llegar a consumir doble cantidad de vapor por kilovatio producido que las unidades con condensación. Se suelen usar como plantas pilotos, o bien para pequeños suministros locales a partir de pozos de producción aislados e incluso como pequeñas centrales de punta. Su uso es obligado cuando el contenido en gases no condensables es superior al 50% o cuando el contenido total de gases excede del 10%, debido al alto costo que representaría la separación de gases en los condensadores.

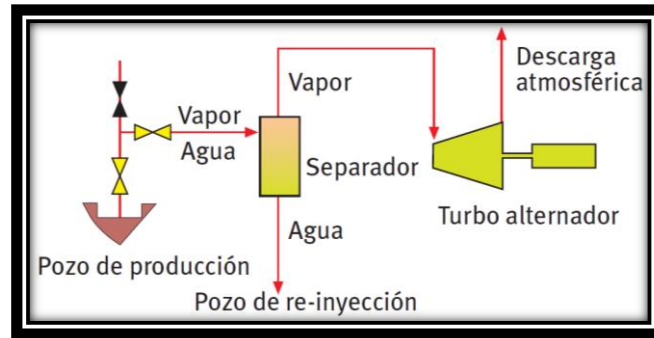


Fig. 2.1.1.1 – Ciclo Directo con Descarga Atmosférica

•Ciclo directo con condensación (vapor dominante): Éste es el más común de los ciclos utilizados en caso de vapor seco, tal como ocurre en Larderello (Italia), The Geysers (USA) y Matsukawa (Japón). En ellos, el vapor, después de pasar por las turbinas, es condensado extrayéndose los gases contenidos en el vapor.

Es un ciclo de alta entalpía, generalmente vapor seco, se localizan en las zonas activas de la corteza terrestre. Su temperatura está comprendida entre 200 y 400 grados centígrados. Una reserva geotérmica de ese tipo es utilizada en una central de vapor, el principio de esta es que el vapor, directamente de pozos de vapor seco o, después de la separación, desde pozos de vapor húmedo, es pasado a través de la turbina y luego a las unidades de condensación y equipos auxiliares.

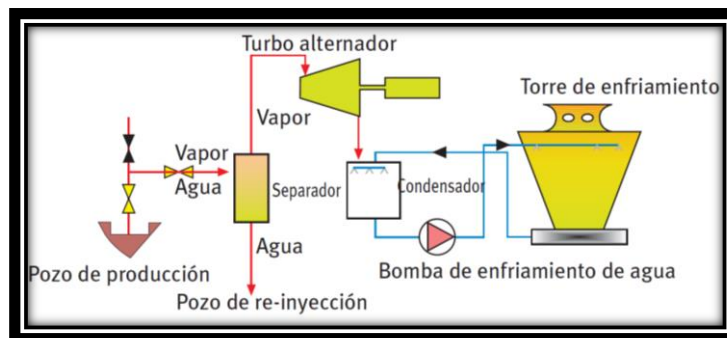


Fig. 2.1.1.2 – Ciclo Directo con Condensación

•Ciclo binario (líquido dominante): Son aquellos en que los fluidos de los acuíferos están a temperaturas menos elevadas, normalmente entre 100 y 200 grados centígrados. Una reserva de este tipo no tiene suficiente calor para producir vapor de forma rápida, pero puede ser utilizada para generar electricidad en una central de ciclo binario, donde la conversión vapor- electricidad tiene un menor rendimiento, por lo que debe utilizarse, como intermediario, un fluido volátil. En un sistema binario, el agua geotérmica pasa a través de un intercambiador de calor, donde el calor es transferido a un segundo líquido, que hierve a temperaturas más bajas que el agua. Cuando es calentado, el líquido binario se convierte en vapor que se expande y mueve a la turbina. El vapor es luego convertido en líquido y utilizado repetidamente. En este ciclo cerrado, no hay emisiones a la atmosfera.

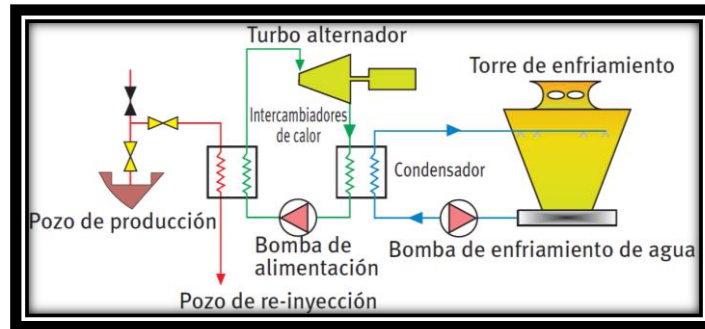


Fig. 2.1.1.3 – Ciclo Binario

2.2 PARAMETROS DE MEDICIÓN

2.2.1 TEMPERATURA

La temperatura de un sistema es aquella propiedad que determina si éste se encuentra o no en equilibrio térmico con otros sistemas. Cuando dos o más sistemas se encuentran en equilibrio térmico, se dice que tienen la misma temperatura.

La temperatura de un sistema puede representarse por un número. Establecer una escala de temperaturas es simplemente cuestión de adoptar un conjunto de reglas que asignen números a temperaturas. Una vez hecho esto, la condición para que dos sistemas se encuentren en equilibrio térmico es que tengan la misma temperatura. Cuando las temperaturas de dos sistemas son diferentes, podemos asegurar que no están en equilibrio térmico.

2.2.2 PRESIÓN

Se define la presión en un fluido en reposo como la fuerza compresiva normal por unidad de área (esfuerzo normal de compresión) que actúa sobre una superficie sumergida en el seno del fluido. Si se piensa que las partículas del fluido se encuentran en movimiento irrestricto, con direcciones al azar, cuando se encuentran con una superficie sólida se produce un choque. Este choque ejerce sobre la superficie (primera ley de Newton) una fuerza proporcional a la variación de velocidad. La suma de todas las fuerzas debidas al impacto de partículas en la unidad de área es la presión.

Presión manométrica es la medible con un manómetro en un recinto cerrado, también llamada en inglés “gauge pressure”. Presión absoluta es la presión manométrica más la presión atmosférica. El término absoluto en la escala de temperaturas tiene otro significado, que trataremos más adelante.

En el caso de un cuerpo totalmente sumergido en un fluido en reposo, como este lo rodea por completo y los impactos se producen en todos los puntos de la superficie del cuerpo, la presión actúa en dirección normal a la superficie sin importar su posición. El cuerpo está en reposo si la suma de fuerzas es menor que el peso del cuerpo. Si es mayor, el cuerpo flota, es decir, resulta impulsado hacia arriba.

A una presión definida de este modo se la llama presión estática y es una propiedad de estado. En un fluido en movimiento puede existir además de la presión estática otra

presión originada por el choque de las partículas en movimiento contra una superficie sólida. A esta presión se la llama dinámica. Las técnicas de medición que tenemos permiten medirlas por separado, de modo que se puede medir la presión estática en un punto del fluido donde este está estancado, y también se puede medir la suma de presión estática y dinámica en otro punto donde el fluido está en movimiento. Por la definición anterior es obvio que la presión estática o la dinámica tendrán unidades de fuerza sobre unidades de superficie.

2.2.3 FLUJO DE AGUA Y VAPOR, MEDICIÓN DE CAUDAL Y TRANSDUCTORES DE CAUDAL DE FLUIDOS

El estudio del movimiento de los fluidos se puede realizar a través de la dinámica como también de la energía que estos tienen en su movimiento. Una forma de estudiar el movimiento es fijar la atención en una zona del espacio, en un punto en un instante t , en él se especifica la densidad, la velocidad y la presión del fluido. En ese punto se examina lo que sucede con el fluido que pasa por él. Al movimiento de un fluido se le llama “flujo” y dependiendo de las características de este se les puede clasificar en:

- 1.- Flujo viscoso y no viscoso: los flujos viscosos son aquellos que presentan resistencia al avance. Todos los fluidos reales son viscosos.
- 2.- Flujo incompresible y compresible: Los flujos incompresibles son aquellos en que la densidad ($\rho = \text{Masa/Volumen}$) prácticamente permanece constante.
- 3.- Flujo laminar y turbulento: en el flujo laminar, el fluido se desplaza en láminas o capas paralelas. En el turbulento las partículas se mueven siguiendo trayectorias muy irregulares.
- 4.- Flujo permanente: si las propiedades como la densidad, la velocidad, la presión no cambian en el tiempo en un punto del espacio, entonces se dice que el flujo es permanente, pudiendo cambiar de un punto a otro.

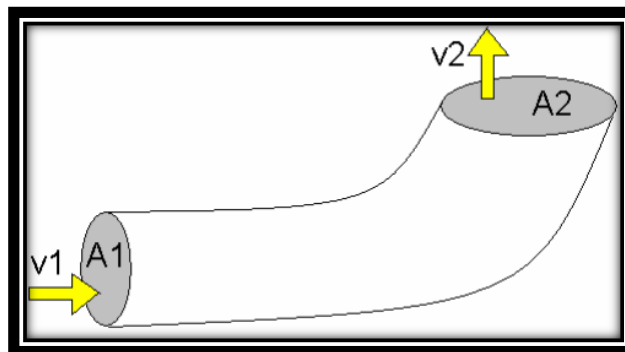


Fig. 2.2.3.1 – Tubería por la que circula un fluido

La Fig. 2.2.3.1 representa una tubería por la que circula líquido de densidad constante ρ . Sean A_1 y A_2 las áreas de las secciones transversales en dos puntos diferentes del tubo. La variable v_1 la velocidad del fluido en A_1 y v_2 la del fluido en A_2 . En el intervalo de tiempo Δt , un elemento de fluido recorre una distancia $v\Delta t$. Entonces, la masa del fluido Δm_1 es aproximadamente:

$$\Delta m_1 = \rho * A_1 * v_1 * \Delta t$$

2.3 ENTALPIA

La entalpía es una magnitud termodinámica cuya variación expresa una medida de la cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno. Es una función de estado de la termodinámica donde la variación permite expresar la cantidad de calor puesto en juego durante una transformación isobárica (presión constante) en un sistema termodinámico, transformación en el curso de la cual se puede recibir o aportar energía. En este sentido la entalpía es numéricamente igual al calor intercambiado con el ambiente exterior al sistema en cuestión.

La entalpía es una función de estado (sólo depende de los estados inicial y final), que se define como la suma de la energía interna de un sistema termodinámico y el producto de su volumen por su presión.

Para el sistema formado por una sustancia pura, simple, compresible que experimenta un proceso de expansión como el que se muestra en la Fig. 2.3.1

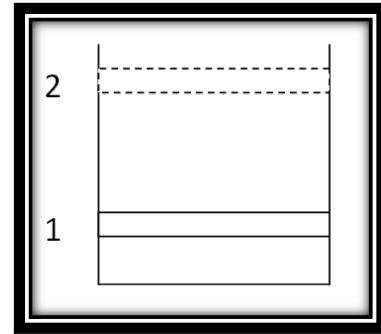


Fig. 2.3.1 – Proceso de Expansión Sustancia Simple

$$Q_{1-2} - W_{1-2} = \Delta E \quad \text{Despreciando } \Delta E_c \text{ y } \Delta E_p$$

$$Q_{1-2} - W_{1-2} = \Delta U$$

Ocurre un trabajo de expansión a presión constante.

$$W_{1-2} = P(V_2 - V_1) \quad \text{Sustituyendo en la ecuación de la 1ª Ley}$$

$$Q_{1-2} = (U_2 + P_2V_2) - (U_1 + P_1V_1)$$

$$U + PV = H \quad H = \text{Entalpía}$$

$$Q_{1-2} = H_2 - H_1$$

Dónde:

Q es el calor (en julios)

H es la entalpía (en julios)

U es la energía interna (en julios)

P es la presión del sistema (en pascales)

V es el volumen del sistema (en metros cúbicos)

Sin importar si la presión externa es constante, la variación de la entalpía obedece a:

$$dH = TdS + VdP$$

$$dP = 0 \quad \text{por lo tanto} \quad dH = TdS$$

(S es la entropía) siempre y cuando el único trabajo realizado sea a través de un cambio de volumen. La entalpía es la cantidad de calor a presión constante que transfiere una sustancia. Puesto que la expresión TdS siempre representa una transferencia de calor, tiene sentido tratar la entalpía como una medida del calor total del sistema, siempre y cuando la presión se mantenga constante.

Para una reacción exotérmica a presión constante, la variación de entalpía del sistema es igual a la energía liberada en la reacción, incluyendo la energía conservada por el sistema y la que se pierde a través de la expansión contra el entorno. Análogamente, para una reacción endotérmica, la variación de entalpía del sistema es igual a la energía absorbida durante la reacción, incluyendo la energía perdida por el sistema y la ganada a través de la expansión contra el entorno.

La variación de entalpía se define mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta H = H_{final} - H_{inicial}$$

Dónde:

ΔH es la variación de entalpía.

H_{final} es la entalpía final del sistema.

$H_{inicial}$ es la entalpía inicial del sistema.

3.0 – Adquisición, transmisión y tratamiento de datos

3.1 AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS GEOTÉRMICOS

Para aprovechar el potencial térmico para uso directo o indirecto de los sistemas geotérmicos, es necesario la implementación de equipos y tecnologías para la extracción y uso de esta energía. Uno de los principales usos de esta energía cuando se dispone recurso geotérmico de alta entalpía es la generación eléctrica de forma indirecta, que aprovecha la energía del vapor geotérmico extraído del campo geotérmico separado del agua previamente con la ayuda de equipos dedicados para esta aplicación y llevado por tuberías de acarreo hasta un sistema de generación eléctrica formado por turbinas para vapor conectadas a un generador eléctrico.

En todo este proceso de gestión y utilización del recurso geotérmico existen diferentes sub-sistemas formados por equipos especializados de transporte, procesamiento, monitoreo y control, que actúan directa o indirectamente en el proceso.

Los sistemas de generación eléctrica geotérmicos pueden tener diferentes tipos de estructuras de operación, este estudio se concentra en una estructura satelital, en donde las plataformas de los pozos productores y los pozos reinyectores cuentan con su propia estación de separación y el fluido geotérmico llega a la planta en forma de vapor o agua proveniente del proceso de separación. Esto hace necesario el monitoreo a distancia de las variables de una plataforma, siendo las de más interés: temperaturas, presiones, flujos de agua y vapor, niveles de fluido geotérmico. También es necesario el control automático de los equipos de la plataforma, ya que generalmente estas están sin personal operativo, dificultando las mediciones de las variables y accionamientos de equipos mencionados.

3.1.1 COMPONENTES EN CAMPO Y PLATAFORMAS

Componentes mayores en plataforma

1. Elementos de extracción, reinyección y separación.
 - a. Pozos productores.
 - b. Pozos reinyectores
 - c. Cabezal de pozo
 - d. Línea Bifásica
 - e. Silenciadores
 - f. Rock muffer
 - g. Válvulas
 - h. Equipos de separación. (separadores ciclónicos)
2. Sistema de acarreo
 - a. Línea de Vapor
 - b. Línea de Agua
 - c. Válvulas
3. Control/Instrumentación
 - a. PLC
 - b. Sensores (presión, temperatura, flujo, nivel)
4. Alimentación eléctrica (Generalmente en pozos productores)
 - a. Suministro de potencia planta
 - b. Sistema DC/UPS

Componentes mayores en planta

1. Equipos de entrada a la central.
 - c. Colector
2. Equipos de Generación.
 - a. Turbina
 - b. Gobernador
 - c. Generador
 - d. Intercambiador de calor-condensador
 - e. Sistema de extracción de gases no condensables
3. Sistema de tratamiento agua.
 - a. Torres de enfriamiento
4. Sistemas de acomodación y suministro eléctrico
 - a. Transformador de unidad
 - b. Sub estación
 - c. Excitación
 - d. Busbar system
 - e. Suministro de potencia para Planta
5. Sistemas de control y monitoreo.
 - f. Sistema DC/UPS
 - a. DCS, SCADA
 - b. PLC
 - c. Paneles de control
 - d. Paneles mímicos
 - e. Controladores lógicos.
 - f. Elementos de accionamiento.
 - g. Transductores.
 - h. Transmisores.
 - i. Adquisidores de datos.
 - j. Acondicionadores de señal.
 - k. Actuadores eléctricos, manuales.
6. Otros sistemas
 - a. Enfriamiento Auxiliares
 - b. Sistema de bombeo
 - c. Compresores

3.1.2 SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control monitorea y gestiona las variables de interés y variables de procesos realizados por los equipos de los otros sistemas, de forma automática, semiautomática o manual, como por ejemplo de este último tipo de control, accionamientos manuales de válvulas por medio de botoneras.

Sistema de control en plataformas

En el caso de las plataformas de pozos productores y reinyectores el sistema de control es local, en estos sistemas se llevan las señales de los sensores por medio físico (cableado eléctrico) hacia un controlador ubicado generalmente en un panel eléctrico en la misma plataforma. Para implementar controles automáticos y monitoreo en las plataformas se necesita alimentación eléctrica, que en muchos lugares no está disponible, esto complica la implementación de este tipo de sistemas en ellas.

Los bucles de control más importantes en una plataforma de pozo de producción geotérmico son los de control de presión en el separador ciclónico y el nivel en el tanque de agua.

- **Control de Presión**

El control de presión evita incrementos de presión que pueden provocar perturbaciones en el suministro de vapor y afectar la generación eléctrica de la planta. El control de presión se describe en lo siguiente:

Si la presión en el separador de vapor incrementa, el sistema de control opera una válvula neumática que envía el vapor hacia los silenciadores y libera la presión en el separador.

El tipo de válvula utilizada para estas aplicaciones es una válvula de mariposa con un cilindro actuador de simple efecto normalmente retraído, porque es necesaria una velocidad de operación alta.

- **Monitoreo en plataformas**

En las plantas plataformas geotérmicas se monitorean constantemente variables de temperaturas, presiones y caudal en las líneas bifásica, línea de agua de separada y línea vapor, entre otras. Este monitoreo se realiza para obtener datos importantes para el personal de operación y producción con los cuales se pueden realizar cálculos de entalpías para estimación de producción energética, realizar procedimientos correctivos con decisiones objetivas, Visualizar tendencias de comportamiento del pozo a través del tiempo, proteger equipos al visualizar anomalías no deseadas en el comportamiento del pozo, entre otras operaciones de interés.

Los sistemas de monitoreo necesitan equipos auxiliares que se encargan de medir las variables físicas del proceso y las transforman en una señal eléctrica útil para el control, estos equipos son los sensores, transductores y transmisores explicados en el apartado 3.2 Sensores, transductores y transmisores

3.2 SENSORES, TRANSDUCTORES Y TRANSMISORES

En automatización hay que disponer de elementos que nos adapten las magnitudes de referencia (variables de entrada) en otro tipo de magnitudes proporcionales a las anteriores, de manera que estos últimos sean interpretables por el sistema y así se pueda realizar un buen control del proceso.

Entre los elementos más importantes se encuentran:

Sensor: se define normalmente como el elemento que se encuentra en contacto directo con la magnitud que se va a evaluar. El sensor recibe la magnitud física y se la proporciona al transductor.

Transductor: De manera general podemos decir que es un elemento o dispositivo que tiene la misión de traducir o adaptar un tipo de energía en otro más adecuado para el sistema, es decir convierte una magnitud física, no interpretable por el sistema, en otra variable interpretable por dicho sistema. El transductor transforma la señal que entrega el sensor en otra normalmente de tipo eléctrico. El transductor suele incluir al sensor.

Captador: es un dispositivo encargado de recoger o captar un tipo de información en el sistema para realimentarla. Podemos decir por lo tanto que es un transductor que se coloca en el lazo de realimentación de un sistema cerrado para recoger información de la salida (no suele ser de tipo eléctrico) y adaptarla para poder ser comparada con la señal de referencia. Suele incluir al sensor. En sistemas de lazo abierto o incluso en definiciones de diversos autores, captador y sensor suelen ser la misma cosa.

Transmisor: se entiende por transmisor la circuitería que transforma la señal que sale del sensor, transductor o captador y la convierte en una señal normalizada. Ejemplo:

En un circuito eléctrico, un interruptor puede actuar como transductor de entrada a un sistema de regulación, proporcionando o interrumpiendo una señal eléctrica a través de un cambio de posición. Sin embargo, no puede funcionar como captador, pues su accionamiento se verifica de forma manual, impidiéndose de esta manera la realimentación automática.

Descriptores estáticos de un sensor

Los descriptores estáticos definen el comportamiento en régimen permanente del sensor:

- **Rango:** valores máximos y mínimos para las variables de entrada y salida de un sensor.
- **Exactitud:** la desviación de la lectura de un sistema de medida respecto a una entrada conocida. El mayor error esperado entre las señales medida e ideal.
- **Repetitividad:** la capacidad de reproducir una lectura con una precisión dada.
- **Reproducibilidad:** tiene el mismo sentido que la repetitividad excepto que se utiliza cuando se toman medidas distintas bajo condiciones diferentes.
- **Resolución:** la cantidad de medida más pequeña que se pueda detectar. - Error: es la diferencia entre el valor medido y el valor real.
- **No linealidades:** la desviación de la medida de su valor real, supuesto que la respuesta del sensor es lineal. No-linealidades típicas: saturación, zona muerta e histéresis.
- **Sensibilidad:** es la razón de cambio de la salida frente a cambios en la entrada: $s = \partial V / \partial x$
- **Excitación:** es la cantidad de corriente o voltaje requerida para el funcionamiento del sensor.
- **Estabilidad:** es una medida de la posibilidad de un sensor de mostrar la misma salida en un rango en que la entrada permanece constante.

La utilización de sensores para sistema de monitoreo y control generalmente se realiza en tres fases:

- El fenómeno físico a ser medido es captado por un sensor, y muestra en su salida una señal física dependiente del valor de la variable física.
- La señal física es modificada por un sistema de acondicionamiento de señal (transductor), cuya salida está en un rango eléctrico utilizable.
- En el caso de sensores digitales el sensor dispone de una circuitería que transforma y/o amplifica la tensión de salida, la cual pasa a un conversor Análogo- Digital (A/D). El convertidor A/D transforma la señal de tensión continua en una señal discreta normalizada, para posteriormente ser utilizada en el control y monitoreo.

A continuación se listan los diferentes tipos de sensores de interés para una plataforma geotérmica.

3.2.1 MEDICIÓN DE TEMPERATURA

Sensores de temperatura (cuadros comparativos)

Tabla 3.2.1.1 - Material, rango de temperatura de los tipos de termocupla

Tipo de Termocupla	Cable +	Cable -	Rango de medición (°C)		salida (mv)
	Aleación	Aleación	Mínimo	Máximo	Máximo
J	Hierro	Cobre/Nickel	-180 °C	750 °C	42.2 mV
K	Nickel/Cromo	Nickel/Aluminio	-180 °C	1372 °C	54.8 mV
T	Cobre	Cobre/Nickel	-250 °C	400 °C	20.8 mV
R	87% Platino 13% Rhodio	100%Platino	0 °C	1767 °C	21.09 mV
S	90%Platino 10%Rhodio	100%Platino	0 °C	1767 °C	18.64 mV
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	0 °C	1820°C	13.814 mV

Tabla 3.2.1.2 - Comparación entre los diferentes tipos de sensor de temperatura

Elemento sensor	Rango de aplicación	Precisión	ventajas	Inconvenientes
RTD	-200°C a +500°C	0.20%	-Sensibilidad -Precisión -Respuesta rápida	-Frágil -Más caro que el termopar -El propio calentamiento
Termistores	0°C a +40°C	0.01%	-Gran sensibilidad y precisión -Respuesta rápida -Pequeño tamaño -Estable	-No lineal -Rango de aplicación limitado
Termopares T	-250°C a +400°C	2.00%	-Pequeño tamaño -Respuesta rápida -Precio razonable	-Afectados por corrosión -Necesaria compensación de soldadura fría
Termopares J	-180°C a +750°C	0.50%		
Termopares K	-180 °C a+1372°C	1.00%		
Termopares R o S	0°C a +1767°C	0.50%		
Termopares B	0°C a +1820°C	1.00%		
Pirómetros ópticos	+50°C a +6.000°C	0.50%	-No contacto -Buena repetitividad	-Elevado precio -Difícil determinar temperatura exacta
Pirómetros de radiación total	+50°C a +6.000°C	0.50%	-No contacto -Buena repetitividad	-Elevado precio -Difícil determinar temperatura exacta -Lentitud de respuesta

3.2.2 MEDICIÓN DE PRESIÓN

Sensores de presión (cuadros comparativos)

Tabla 3.2.2.1 – Comparación entre diferentes tipos de sensor de presión

Elemento sensor	Rango de aplicación	precisión	ventajas	Inconvenientes
Tubo bordon tipo C	Hasta 100Mpa	1-5%	-Bajo costo con razonable exactitud amplios límites de aplicación	-Histéresis -Afectado por choque y vibración
Tubo bordon tipo espiral	Hasta 100Mpa	0.50%		
Tubo bordon tipo helicoidal	Hasta 100Mpa	0.5-1%		
Fuelle	hasta 500 KPa	0.50%	-Bajo costo -Presión Diferencial	-Pequeño rango de presiones de aplicación -Necesita compensación de temperatura
Diafragma	hasta 60 KPa	0.5-1.5%	-Muy Pequeño Alcance posible	-Limitado a bajas presiones de trabajo

Tabla 3.2.2.2 – Comparación entre diferentes tipos de transductores de presión

Tipo de transductor de presión	Ventajas	Inconvenientes
Resistivo	-Salida alta. -Económico. -Se puede usar con corriente alterna o continua. -No es necesario amplificar o acoplar impedancias.	-Usualmente requiere gran tamaño. -Posee una alta fricción mecánica. -Tiene una vida limitada. -Es sensible a vibraciones o choques. -requiere un gran desplazamiento por lo cual el sensor de presión debe ser relativamente grande. -Tiene una baja respuesta a la frecuencia. -Desarrolla altos niveles de ruido con el desgaste. -Es insensible a pequeños movimientos (baja sensibilidad).
Magnético	-Salida alta. -Respuesta lineal. -No precisan ajustes críticos en el montaje. -Baja histéresis por no haber roce -Constricción robusta.	-Se excitan solo con corriente alterna por lo que el receptor debe funcionar con corriente alterna. -Requiere un gran desplazamiento del núcleo magnético. -Sensible a choques y vibraciones.
Capacitivo	-Excelente respuesta a la frecuencia. -Construcción sencilla. -Mide presiones estáticas y dinámicas. -Costo relativamente bajo. -Para pequeños desplazamientos. -De resolución continua.	-El movimiento de cables de gran longitud origina distorsión y error. -Alta impedancia de salida. -Deben balancearse reactiva y resistivamente. -Sensible a variaciones de temperatura El instrumento receptor es grande y complejo.

	-Poco afectado por vibraciones.	
Piezoeléctrico	-Tamaño pequeño, compacto y ligero. -Muy lineales. -Alta respuesta a la frecuencia hasta 10000 ciclos/s. -No requiere calibración.	-Son sensibles a cambios de temperatura. -No miden presiones estáticas. -Alta impedancia de salida. -Cables de conexión largos originan ruido. -Después de un choque severo no retornan rápidamente a la salida de referencia previa. -Su señal de salida es relativamente débil por lo que precisan de amplificadores y acondicionadores de señal que pueden introducir errores de medición.

3.2.3 MEDICIÓN DE FLUJO

Sensores de flujo (cuadros comparativos)

Tabla 3.2.3.1 – Comparación entre diferentes tipos de sensores y transductores de flujo

Elemento sensor	Tipo de Fluido	Precisión	Ventajas	Inconvenientes	
Medidores de presión diferencial	Orificio	Líquidos, gases y vapores	2-4%	<ul style="list-style-type: none"> -Bajo costo. -Fácil instalación y/o reemplazo. 193 - Cambios de capacidad cambiando el tamaño del plato. - Disponible en un amplio rango de tamaños y modelos. - Apropiado para la mayoría de gases y líquidos. - Se aplica en un amplio rango de temperaturas y presiones. - No tiene componentes móviles. - Precio virtualmente independiente del tamaño de la tubería. - Ampliamente establecido y aceptado 	<ul style="list-style-type: none"> -Relación cuadrática de presión/flujo. - Limitado rango de flujo. - Baja exactitud. - Pérdida de exactitud con la corrosión y densidad. - Pérdida de presión alta y constante. - La viscosidad afecta el rango del flujo. - Requiere mantenimiento. - Baja relación de rango. - No se usa en sistemas con “slurry” o con baja presión.
	Boquilla de Flujo	Líquidos limpios y sucios con bajo solido	2.00%	<ul style="list-style-type: none"> -No está restringida por adherirse las partículas -Bueno para fluidos lodosos Caída de presión intermedia 	<ul style="list-style-type: none"> -Mayor costo que el sensor por orificio -Limitaciones en la medida de tubería aplicable
	Venturi	Líquidos viscosos, sucios y limpios	1.00%	<ul style="list-style-type: none"> -Baja pérdida de presión (10-15%) -No se necesitan suspensores para la conexión -No es afectada por partículas sólidas o burbujas del fluido 	<ul style="list-style-type: none"> -Alto Costo -Requiere corte para la instalación

	Tubo Dall	Líquidos viscosos, sucios y limpios	1.00%	-Menor costo que tubo Venturi -Pequeña longitud -Perdidas permanentes de presión baja (5%) -Larga vida útil	-Alto Costo -Rango de operación limitado -Difícil de instalar
	Tubo Pitot	Gas, vapor y líquidos (viscosidad <10cP)	5-10%	-Baja caída de presión	-Muy baja precisión
	Annubar	gas, vapor y líquidos	1-3%	-Baja caída de presión -Diámetros grandes de tubería	-Bajo rendimiento con fluidos con fluidos sucios o pegajosos
Medidores de Desplazamiento positivo		Líquidos limpios y viscosos, y gases.	0.2-1.5%	-Respuesta rápida. Buena exactitud y relación de rango. - Muy buena repetitividad. - Usado para fluidos con alta viscosidad. - Medidor local con opción de pulsos de salida. - Lectura directamente en unidades de volumen. - No necesita fuente de alimentación. - Exactitud no afectada por incremento de viscosidad y condiciones de tubería aguas arriba.	Perdida de presión alta. - Partes móviles sujetas a corrosión. - Requiere mantenimiento regularmente. - Costoso, especialmente en diámetros grandes. - No aplicable para fluidos con sólidos en suspensión o abrasivos.

Tabla. 3.2.3.2 – Comparación entre diferentes tipos de sensores y transductores de flujo

Elemento sensor		Tipo de Fluido	Precisión	Ventajas	Inconvenientes
Medidores de Velocidad	Medidores de Turbina	Líquidos limpios y viscosos, y gases.	0.1-0.5%	-Alta exactitud. - Muy buena repetitividad. - Rango de flujo 30: 1. 204 - Más económico que desplazamiento positivo. - Salida digital lineal. - Respuesta rápida. - Fácil instalación. - Baja pérdida de presión. - Muy poca energía absorbida por el elemento de medición. - Capacidad para mediciones a presión alta y flujo alto en un amplio rango de temperatura.	-No aplicable a fluidos con altas viscosidades. - Requiere calibración. - Relativamente costoso. - Puede sufrir daño por operación fuera de rango. - Partes móviles sujetas a corrosión. - Es afectado por las condiciones del fluido aguas arriba. - Con fluidos sucios requiere filtros adecuados.

	Medidores Electromagnéticos		Líquidos claros, sucios, viscosos conductivos y "slurries".	1.50%	<ul style="list-style-type: none"> -No es afectado por la densidad, viscosidad, presión y temperatura. - Puede medir líquidos corrosivos, "slurries" o abrasivos. - Puede medir en ambas direcciones con igual exactitud. - Mide flujo dinámico. - No restringido por el número de Reynolds. - No es intrusivo. - Variedad de tamaños y rangos de flujo. - Buena exactitud y amplia relación de rango 	<ul style="list-style-type: none"> -Pueden ser sensibles al perfil de flujo asimétrico. - Líquidos deben ser eléctricamente conductivos. - No para gases. - Costoso, especialmente en los de diámetros pequeños. - Requiere fuente de alimentación. - Requiere calibración. - Burbujas de gas en el líquido causan errores.
	Medidores Ultrasonicos	Efecto Doppler	Líquido sucios	1-5%	<ul style="list-style-type: none"> -No intrusivo -Fácil de instalar 	<ul style="list-style-type: none"> -Alto costo -Necesita líquidos con sólidos o burbujas -Baja precisión
		Tiempo de tránsito	Líquidos claros	1-5%	<ul style="list-style-type: none"> -No intrusivo -Fácil de instalar 	<ul style="list-style-type: none"> -Alto costo -Afectado por las burbujas y sólidos -Solo líquidos translucidos -Baja precisión

3.3 COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

3.3.1 GENERALIDADES

El término "Wireless", en español "Inalámbrico", se refiere a la tecnología de telecomunicaciones donde se utilizan ondas de radio, infrarrojos, microondas o similares, en lugar de cables o hilos, para llevar una señal y conectar dispositivos de comunicación.

En la tecnología wireless, la comunicación (emisor/receptor) utiliza la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio. En este sentido, los dispositivos físicos sólo están presentes en los emisores y receptores de la señal, entre los cuales encontramos: antenas, computadoras portátiles, PDA, teléfonos móviles, etc.

Transmisión inalámbrica en la industria

En los sistemas de control industriales en red, existe un gran interés en el desarrollo de la tecnología inalámbrica como un reemplazo potencial para la actual generación de redes cableadas. Debido a que muchas de las veces las redes cableadas presentan grandes inconvenientes y desventajas que se pretenden sean solucionadas mediante el uso de otras tecnologías entre estas las comunicaciones inalámbricas.

Como por ejemplo las tecnologías cableadas actuales presentan dificultades en ciertos ambientes donde se usen dispositivos móviles y portátiles, como es el caso de las plataformas petroleras y geotérmicas de perforación, ya que se necesita la instalación de cable cada vez que exista un traslado de maquinaria, pudiendo tener problemas de los cables de comunicación y los dispositivos interconectados de daños por fatiga del cable o los puertos de conexión, daños por movimiento de los cables por la naturaleza del trabajo, daños por mala conexión, entre otros.

Tabla 3.3.1.1 – Redes inalámbricas en la industria

Redes inalámbricas en la industria	
Ventajas	Inconvenientes
<p>• Flexibilidad</p> <p>Dentro de la zona de cobertura de la red inalámbrica los nodos se podrán comunicar y no estarán atados a un cable para poder estar comunicados</p>	<p>• Calidad de Servicio</p> <p>Las redes inalámbricas ofrecen una peor calidad de servicio que las redes cableadas. Estamos hablando de velocidades que no superan habitualmente los 10 Mbps, frente a los 100 que puede alcanzar una red normal y corriente. Por otra parte hay que tener en cuenta también la tasa de error debida a las interferencias. Esta se puede situar alrededor de 10-4 frente a la 10-10 de las redes cableadas.</p>
<p>• Poca planificación</p> <p>Con respecto a las redes cableadas. Antes de cablear un edificio o unas oficinas se debe pensar mucho sobre la distribución física de las máquinas, mientras que con una red inalámbrica sólo nos tenemos que preocupar de que el edificio o las oficinas queden dentro del ámbito de cobertura de la red.</p>	<p>• Coste</p> <p>La tecnología inalámbrica tiene un costo más elevado que las tecnologías de transmisión físicas (Cableado)</p>
<p>• Robustez</p> <p>Ante eventos inesperados que pueden ir desde un usuario que se tropieza con un cable o lo desenchufa, hasta un pequeño terremoto o algo similar. Una red cableada podría llegar a quedar completamente inutilizada, mientras que una red inalámbrica puede aguantar bastante mejor este tipo de percances inesperados</p>	<p>• Soluciones Proprietarias</p> <p>Como la estandarización está siendo bastante lenta, ciertos fabricantes han sacado al mercado algunas soluciones propietarias que sólo funcionan en un entorno homogéneo y por lo tanto estando atado a ese fabricante.</p> <p>Esto supone un gran problema ante el mantenimiento del sistema, tanto para ampliaciones del sistema como para la recuperación ante posibles fallos. Cualquier empresa o particular que desee mantener su sistema funcionando se verá obligado a acudir de nuevo al mismo fabricante para comprar otra tarjeta, punto de enlace, etc.</p>
	<p>• Restricciones</p> <p>Estas redes operan en un trozo del espectro radioeléctrico. Éste está muy saturado hoy día y las redes deben amoldarse a las reglas que existan dentro de cada país.</p>
	<p>• Seguridad</p> <p>En dos vertientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Seguridad e integridad de la información que se transmite. Industrialmente existen protocolos de cifrado que codifican la señal en el emisor y la decodifican en el receptor para evitar que la información sea captada por personal no deseado. • Este tipo de comunicación podría interferir con otras redes de comunicación (policía, bomberos, hospitales, etc.) y esto hay que tenerlo en cuenta en el diseño.

Dónde es preferible una solución inalámbrica en la industria

- Donde existen dificultades al tirar cable de instrumentación, habitualmente por tener que cruzar Carreteras, caminos públicos, ríos, terrenos de terceros, etc.
- Si la instalación de bandejas, soportes y cable significa una parada de producción inaceptable.
- Si las condiciones del entorno industrial son extremas: agua, calor, corrosivo, químico, etc., afectando al cableado convencional, o incrementando costes para una protección adecuada.
- Donde la instalación está considerada como temporal, donde los equipos y unidades de producción son móviles o instalaciones en almacenes, terminales

de carga, etc. Que presentan dificultades para la instalación de cableado. También donde el tiempo de instalación es un factor importante.

- Donde existen muchas señales de instrumentación de monitorización, ampliamente distribuida significando tiradas de cables individuales muy largas, ejemplos típicos son temperaturas, vibraciones, trampas de vapor, etc.
- Donde existe la necesidad de conectar un terminal, PDA, etc. al instrumento para la descarga de valores históricos, ajuste de parámetros, calibración, etc.

Dónde no se recomienda una solución inalámbrica

- Donde la falta de información o control, por fallo del enlace de comunicación dejaría el proceso en un estado inestable o no controlable.
- Donde el coste de la instrumentación supera ampliamente la misma solución con instrumentación convencional 4-20mA y el cableado correspondiente.
- Donde existe la posibilidad de llevar los cables de instrumentación por el mismo camino que el cableado de alimentación. La eliminación de cableado por completo no es una opción, si hay que alimentar el instrumento.

3.3.2 CLASIFICACIÓN DE REDES INALÁMBRICAS INDUSTRIALES

Las tecnologías inalámbricas se pueden clasificar por el área de incidencia. Estos se pueden clasificar en:

WPAN

Red inalámbrica personal de ámbito local. Las tecnologías empleado para WPAN (Wireless Personal Area Network) permiten una conexión temporal para la transferencia de datos limitados entre dispositivos de tipo personal. Requiere “punto visto” y una distancia máxima de 10 metros entre dispositivos.

Ejemplo de aplicación

Como ejemplo de aplicaciones en el entorno industrial podemos destacar la descarga local de datos históricos o la configuración de equipos desde un terminal portátil o interfaz de pruebas.

Ejemplo de protocolos de comunicación

- Bluetooth (IEEE 802.15)
- Infrarrojos (IR)
- Zigbee (IEEE 802.15.4)

WLAN

Red inalámbrica de ámbito local o WLAN (Wireless Local Area Network). Permite comunicar entre sí a varios equipos en un área local reducida, a través una conexión inalámbrica. No es obligatorio el uso de un punto de acceso, aunque para conectar a la red principal o Internet sí será necesario.

Ejemplo de aplicación

Ejemplos de aplicación en el entorno industrial lo constituyen la conexión de procesadores E/S a PLC's, adquisición de sensores inalámbricos y conexión de portátiles.

Ejemplo de protocolos de comunicación

- Wireless HART
- IEEE 802.11n
- IEEE 802.11g/a
- IEEE 802.11b
- WLAN/IWLAN

WMAN

Red inalámbrica de ámbito urbano. Permite la conexión entre edificios, zonas de negocio como alternativa al cableado de fibra óptica. Las zonas con cobertura se conocen como zonas WI-FI o “hotspots” (zonas calientes).

Ejemplo de aplicación

Conexión a Internet, voz sobre IP, suministro de servicios etc.

Ejemplo de protocolos de comunicación

- UMTS
- 3G
- 4G

Su aplicación en el entorno industrial incluye la conexión a servicios de infraestructuras, distribución de gas, luz y agua, señalización para tráfico.

WWAN

Red inalámbrica de ámbito extendido o WWAN (Wireless Wide Area Network), como ciudades o países, vía múltiples satélites, o antenas gestionada por Proveedores de servicio de internet o ISPs (Internet Service Provider).

- GSM
- GPRS

Aplicaciones de esta tecnología en el entorno industrial incluye: gestión de flotas, recogida de datos de centros de producción, cadenas de distribución o conexión de instalaciones remotas.

Tipo de Red	Distancia típica en metros
▪ WPAN	0-10
▪ WLAN	0-100
▪ WWAN	0-10000

Tabla 3.3.2.1 – Principales protocolos de comunicación industrial

Protocolos de Comunicación	
802.11	Define los estándares de comunicación sobre la banda más habitual, 2.4GHz, ofreciendo velocidades de 1 a 2 Mbps, y la funcionalidad de FHSS y DSSS.
802.11a	Define los estándares y normativa de multiplexación de comunicaciones inalámbricas para conseguir velocidades de hasta 54Mbps y trabajando en la banda de 5GHz.
802.11b	Define los estándares asociados con WI-FI empleando DSSS aplicado a redes inalámbricas. Es el estándar para uso privado, ofreciendo una velocidad de transmisión de 11Mbps y permite la integración a 5,5, 2 y 1 Mbps.
802.11g	Define los estándares de comunicación inalámbrica para WLAN's a velocidades superiores a 20 Mbps utilizando la banda 2.4GHz.
802.11n	Para comunicación a una velocidad de 108Mbps, sobre WLANS
802.11i	Para crear nuevos estándares de seguridad de datos para transmisión inalámbrica.
802.11e	Para crear los estándares de comunicación con determinismo.
802.16	Conocido como WiMAX ofreciendo una velocidad de 70 Mbps sobre distancias de 50Km.

GSM Y GPRS

Sin duda la aplicación más extendido y espectacular de la comunicación inalámbrica es la red telefónica GSM (Global System for Mobile Communications). Hasta hace poco el teléfono móvil solamente servía para hacer llamadas de voz.

Aunque la estructura de comunicaciones GSM está más orientada a la conversión y transmisión de voz, los módems GSM ofrecen comunicaciones de datos, con una conexión punto a punto con cualquier equipo dotado con el protocolo PPP (protocolo punto a punto).

Creando una conexión virtual entre el equipo remoto y una red Ethernet TCP/IP convencional, permite la transferencia de datos en tiempo real, alarmas y archivos.

Las conexiones GPRS se factura por volumen de datos y no por tiempo de la llamada, una vez establecida la conexión GPRS, se puede asignar una dirección IP a la sesión, permitiendo comunicación TCP/IP y la conexión estará siempre en línea esperando la transmisión de datos. GPRS es notablemente más rápido que GSM, en teoría ofreciendo velocidades hasta 171.2Kbps. En la práctica los “slots” asignados a una comunicación (Clase 2, 8 ó 10) controlan la velocidad, limitada por el terminal, operador, política, tarifa, tráfico reduciendo la velocidad típica a 28.8Kbps. Considerando que HART emplea 1200 baudios y hasta Fieldbus Foundation emplea 38.4Kbps para su bus de control, la velocidad actual de GPRS es más que suficiente para comunicación con uno o varios instrumentos agrupados en una red inalámbrica local. Con la incorporación de 3GSM y EDGE, el mundo de las comunicaciones sin hilos recibe un nuevo impulso. La pretensión de enviar imágenes en tiempo real requiere el aumento de la velocidad de transmisión y del volumen de datos transmitidos, esto revoluciona los estándares en el control de procesos industriales.

WirelessHART

WirelessHART es un estándar industrial abierto, desarrollado para los requisitos especiales de la comunicación inalámbrica en el nivel de campo de la industria de procesos. Cumple íntegramente todos los requisitos específicos de fiabilidad, seguridad, rentabilidad y facilidad de manejo. Con más de 30 millones de equipos instalados en todo el mundo, la tecnología HART es el protocolo de comunicación utilizado más a menudo para la instrumentación de procesos inteligente a nivel de campo.

WirelessHART es compatible hacia abajo con la tecnología HART por cable y, por tanto, ofrece la máxima seguridad de la inversión.

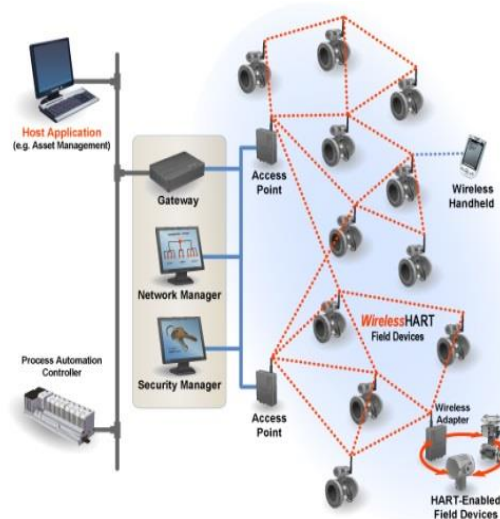


Fig. 3.3.2.1– WirelessHart

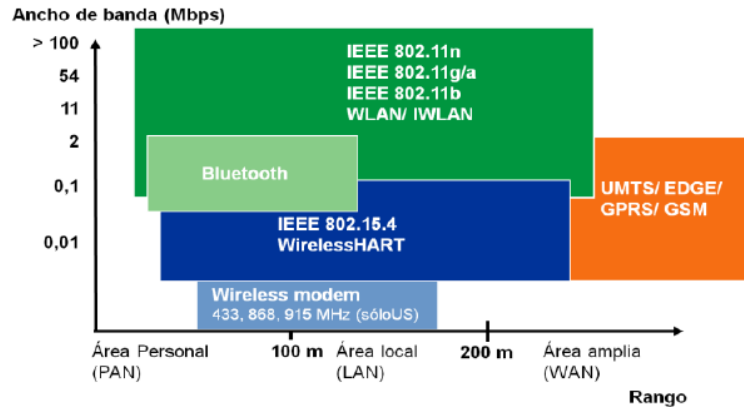


Fig. 3.3.2.2– Ancho de Banda y Distancia de las Redes Inalámbricas Industriales

3.4 TRATAMIENTO DE DATOS

3.4.1 SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO (DCS)

El DCS basa su funcionamiento en el concepto de control distribuido; al presentar distribución de las tareas del proceso por equipos de control, se establece comunicación horizontal sólo entre procesadores redundantes quienes finalmente manejan cada unidad del proceso. En el concepto inicial se contempla que si un dispositivo de control entra en falla y le impide cumplir las funciones asignadas, cualquiera de los controladores adjuntos al sistema debe estar en la capacidad de retomar las tareas del dispositivo que sale de operación, sin embargo, en un DCS, según se observa en la Fig. 3.4.1.1, únicamente el controlador capaz de entrar a ejecutar las funciones de un procesador fallado es su pareja redundante.

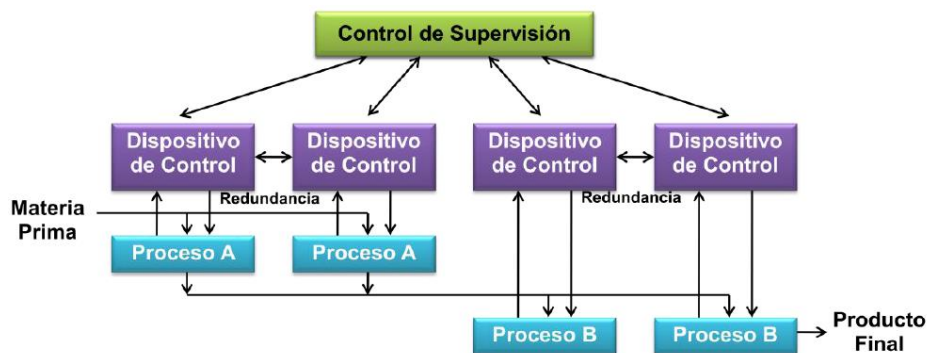


Fig. 3.4.1.1 – Esquema para Sistema de Control Distribuido

El Sistema de Control Distribuido es un sistema abierto con capacidad de adquisición de grandes volúmenes de datos que integra los sistemas implementados para ejercer el control regulatorio y los de información en un entorno interactivo que permite manipular total y de forma remota el proceso.

Se encuentra compuesto por instrumentos de campo, de acondicionamiento y procesamiento de señal, dispositivos de control, interfaz hombre-máquina y redes de comunicación entre campo, control y operador, que hacen del DCS un sistema que visualiza, documenta y controla el funcionamiento del proceso en tiempo real.

El control ejercido por el DCS se realiza de forma estable y lo segura a través de algoritmos matemáticos, el diseño permite que el sistema de control se expanda

conforme el proceso se amplía y distribuye el control del proceso en diferentes dispositivos de tal manera que las funciones de control no recaen sobre un único componente.

Arquitectura básica y funcionamiento de un DCS

La arquitectura de red básica que presenta un Sistema de Control Distribuido está compuesta por uno o dos niveles de control donde se encuentran adjuntos los diferentes dispositivos que intervienen en el control del proceso, (ver Fig. 3.4.1.2). Los dispositivos básicos que conforman un DCS son las Estaciones de Operador o Pantallas de Proceso, Módulos de I/O, Módulos de Control y Servidores o Estaciones de Aplicaciones y las Redes de Control.

Los sistemas de medida proporcionan grandes volúmenes de información de campo en tiempo real. Esta información está compuesta por las variables de proceso (temperatura, nivel, caudal, presión, PH, etc.) que son captadas y transmitidas por sensores y el estado de los equipos ya sea de marcha, paro, entre otras. Las señales son enviadas a través de un bus de campo que permite comunicación con los dispositivos de acondicionamiento. Luego de proporcionar el aislamiento por medio de mecanismos de barrera, la información se acondiciona y procesada por tarjetas electrónicas con el fin de que pueda ser entregada al controlador en el formato digital requerido por el mismo.

Los algoritmos de control se encuentran configurados en los diferentes entornos del procesador, el cual se encarga de ejecutar la lógica implementada y generar acciones de mando a los actuadores para realizar el ajuste a las variables de proceso de acuerdo a los valores fijados por el operador o el sistema de control.

Estas consignas son nuevamente procesadas, acondicionadas, aisladas y transmitidas por medio del bus de campo y los respectivos dispositivos electrónicos.

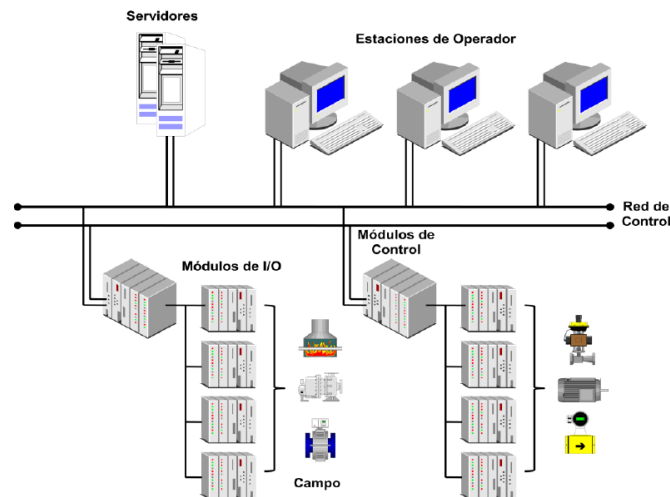


Fig. 3.4.1.2 – Arquitectura Básica de un Sistema de Control Distribuido

Las estaciones de operación son dispositivos autónomos adjuntos al sistema que le permiten al operador visualizar el estado del proceso en tiempo real y alarmas generadas no sólo en el proceso sino también en el sistema de control, realizar modificaciones a valores de referencia, iniciar secuencias, poner en marcha equipos y observar tendencias del proceso. Equipos como Host, Estaciones de Ingeniería y Servidores permiten modificar, configurar y cargar lógica de control a través de los

entornos y aplicaciones del procesador, determinar supervisión al sistema, establecer base de datos e históricos y comunicación con redes corporativas.

Lograr una perfecta comunicación entre dispositivos y niveles del sistema es posible gracias a las redes de comunicación implementadas, son quienes se encargan, a través de buses redundantes, de transmitir datos a alta velocidad de manera confiable.

3.4.2 SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS (SCADA)

SCADA es el acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos).

Un SCADA es un sistema basado en aplicaciones software que permite supervisar y controlar a distancia procesos industriales. Se basan en la adquisición de datos de los procesos remotos.

Se trata de una aplicación de software, especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el desarrollo del proceso de forma automática desde una computadora. Además, envía la información generada en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como hacia otros supervisores dentro de la empresa, es decir, que permite la participación en el proceso de otras áreas como por ejemplo: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

Cada uno de los ítems de SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de datos) involucran muchos subsistemas, por ejemplo, la adquisición de los datos puede estar a cargo de un PLC (Controlador Lógico Programable) el cual toma las señales y las envía a las estaciones remotas usando un protocolo determinado, otra forma podría ser que una computadora realice la adquisición vía un hardware especializado y luego esa información la transmita hacia un equipo de radio vía su puerto serial, existen muchas otras alternativas de transmisión.

Las tareas de Supervisión y Control generalmente están más relacionadas con el software SCADA, en él, el operador puede visualizar en la pantalla del computador de cada una de las estaciones remotas que conforman el sistema, los estados de ésta, las situaciones de alarma y tomar acciones físicas sobre algún equipo lejano, la comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y enviar mandos de control a dichos procesos.

Estos sistemas actúan sobre los dispositivos instalados en la planta, como son los controladores, autómatas, sensores, actuadores, registradores, etc.

Además permiten controlar el proceso desde una estación remota, para ello el software brinda una interfaz gráfica que muestra el comportamiento del proceso en tiempo real. Generalmente se vincula el software al uso de una computadora o de un PLC, la acción de control es realizada por los controladores de campo, pero la comunicación del sistema con el operador es necesariamente vía computadora. Sin embargo el operador puede gobernar el proceso en un momento dado si es necesario.

Tabla 3.4.2.1 – Funciones principales del SCADA

Funciones Principales del Sistema	
Supervisión remota de instalaciones y equipos	Permite al operador conocer el estado de desempeño de las instalaciones y los equipos alojados en la planta, lo que permite dirigir las tareas de mantenimiento y estadística de fallas.
Control remoto de instalaciones y equipos	Mediante el sistema se puede activar o desactivar los equipos remotamente (por ejemplo abrir válvulas, activar interruptores, prender motores, etc.), de manera automática y también manual, a través del controlador correspondiente. Además es posible ajustar parámetros, valores de referencia, algoritmos de control, etc.
Procesamiento de datos	El conjunto de datos adquiridos conforman la información que alimenta el sistema, esta información es procesada, analizada, y comparada con datos anteriores, y con datos de otros puntos de referencia, dando como resultado una información confiable y veraz.
Visualización gráfica dinámica	El sistema es capaz de brindar imágenes en movimiento que representen el comportamiento del proceso, dándole al operador la impresión de estar presente dentro de una planta real. Estos gráficos también pueden corresponder a curvas de las señales analizadas en el tiempo. Generación de reportes: El sistema permite generar informes con datos estadísticos del proceso en un tiempo determinado por el operador.
Representación de señales de alarma	A través de las señales de alarma se logra alertar al operador frente a una falla o la presencia de una condición perjudicial o fuera de lo aceptable. Estas señales pueden ser tanto visuales como sonoras.
Almacenamiento de información histórica	Se cuenta con la opción de almacenar los datos adquiridos, esta información puede analizarse posteriormente, el tiempo de almacenamiento dependerá del operador o del autor del programa.
Programación de eventos	Esta referido a la posibilidad de programar subprogramas que brinden automáticamente reportes, estadísticas, gráfica de curvas, activación de tareas automáticas, etc.

Los sistemas SCADA necesitan comunicarse vía red, puertos GPIB, telefónica o satélite, es necesario contar con computadoras remotas que realicen el envío de datos hacia una computadora central, esta a su vez será parte de un centro de control y gestión de información.

Para realizar el intercambio de datos entre los dispositivos de campo y la estación central de control y gestión, se requiere un medio de comunicación, existen diversos medios que pueden ser cableados (cable coaxial, fibra óptica, cable telefónico) o no cableados (microondas, ondas de radio, comunicación satelital).

Un protocolo de comunicación es un conjunto de reglas y procedimientos que permite a las unidades remotas y central, el intercambio de información. Los sistemas SCADA hacen uso de los protocolos de las redes industriales, como por ejemplo TC/IP.

Elementos del SCADA

1. Un sistema SCADA está conformado por:

a) Interfaz Operador

b) Máquinas: Es el entorno visual que brinda el sistema para que el operador se adapte al proceso desarrollado por la planta. Permite la interacción del ser humano con los medios tecnológicos implementados.

c) Unidad Central (MTU): Conocido como Unidad Maestra. Ejecuta las acciones de mando (programadas) en base a los valores actuales de las variables medidas. La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel (como C, Basic, etc.). También se encarga

del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.

2. Unidad Remota (RTU): Lo constituye todo elemento que envía algún tipo de información a la unidad central. Es parte del proceso productivo y necesariamente se encuentra ubicada en la planta.

3. Sistema de Comunicaciones: Se encarga de la transferencia de información desde el punto donde se realizan las operaciones, hasta el punto donde se supervisa y controla el proceso. Lo conforman los transmisores, receptores y medios de comunicación.

4. Transductores: Son los elementos que permiten la conversión de una señal física en una señal eléctrica (y viceversa). Su calibración es muy importante para que no haya problema con la confusión de valores de los datos.

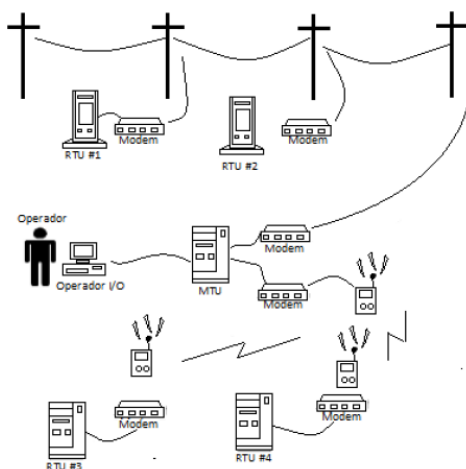


Fig. 3.4.2.1 – Esquema de Conexiones de los Elementos del SCADA

Protocolos SCADA

Existe en la industria una gran variedad de protocolos que permiten comunicar los dispositivos SCADA entre sí y con los centros de control. A continuación se describen cuatro de los más usados actualmente y algunas consideraciones respecto de la seguridad:

Tabla 3.4.2.2 – Protocolos principales del SCADA

<p>DNP3 (Distributed Network Protocol)</p>	<p>Es un protocolo diseñado específicamente para su uso en aplicaciones SCADA. Permite a las Unidades Centrales ó MTU (Master Terminal Unit) obtener datos de las RTU (Remote Terminal Unit) a través de comandos de control predefinidos. El protocolo no fue diseñado teniendo en cuenta mecanismos de seguridad, por tanto carece de cualquier forma de autenticación o cifrado. Puede ir encapsulado sobre TCP/IP.</p>
<p>ICCP (IEC 60870-6)</p>	<p>Este protocolo es uno de los más usados en los sistemas SCADA/DCS de compañías de generación y distribución de energía. Es un protocolo especialmente adaptado a las necesidades de comunicación de las compañías supervisión. El intercambio de datos consiste típicamente en monitorización en eléctricas. Proporciona conectividad entre subestaciones y centros de control y tiempo real, datos de control, valores de medida, programación, contabilidad y mensajes de operador. Tradicionalmente vulnerable a ataques DOS debido a deficiencias en el código de la pila ICCP de muchos servidores.</p>
<p>Modbus</p>	<p>Protocolo de la capa de aplicación; empleado sobre RS-232, RS-422, RS-485 o TCP/IP. La principal ventaja es su simplicidad y es ampliamente usado en procesos de control de sistemas SCADA.</p>

	<p>Para el caso de redes Ethernet existen dos especificaciones: MODBUS Plus y MODBUS/TCP. A destacar en el modelo de arquitectura MODBUS/TCP el módulo 'Access Control Module', pensado para restringir el acceso a servidores desde determinados clientes en entornos críticos. Se basa en listas de IP autorizadas. Una de las vulnerabilidades es la posibilidad de hacer fingerprinting a través de su puerto standard TCP/502.</p>
<p>OPC (OLE for Process Control)</p>	<p>Es una interfaz estándar de comunicación usada en la industria de control de procesos. Está pensada para garantizar la interoperabilidad entre equipamiento de distintos fabricantes. Permite la comunicación entre aplicaciones de control y de supervisión con independencia de la red que haya por medio. Requiere que cada fabricante proporcione un driver genérico OPC. La mayoría de los fabricantes de HMI incluyen soporte para OPC.</p>

4.0 – Propuesta y desarrollo del sistema

4.1 METODOLOGÍA

Como primer paso del diseño conceptual se definirá el alcance de la aplicación: Se pretende transmitir de forma inalámbrica señales de transductores ubicados para medir las variables de proceso: presión, flujo y temperatura de plataformas geotérmicas hacia la planta geotérmica. Estos datos obtenidos se mostraran en un sistema de monitoreo SCADA en la planta con la posibilidad de monitorear los datos vía Internet utilizando plataforma SCADA-WEB.

Flujo de Transmisión de Datos

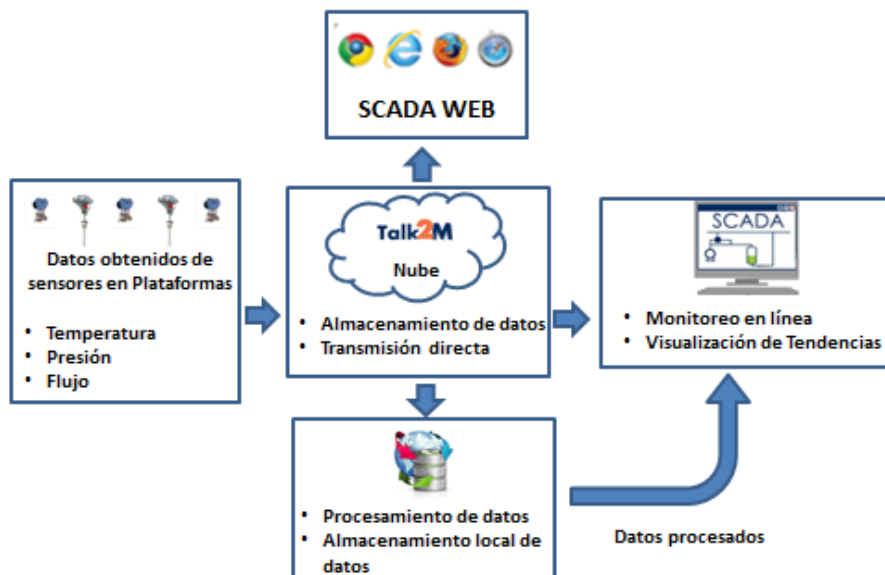


Fig. 4.1.1 – Flujo de Transmisión de Datos

Supuestos para el diseño del sistema.

- Las plataformas geotérmicas cuentan con un promedio de 3 pozos, entre ellas plataformas con pozos productores y reinyectores.
- Las plataformas de producción están ubicadas en promedio a 1 kilómetro y las de pozos reinyectores a 3 kilómetros de la planta geotérmica.
- Las plataformas de producción en el estudio tendrán alimentación eléctrica suministrada, contando con niveles de voltaje de 240/120 VAC.
- La zona de implementación es en área tropical con temperaturas mínimas y máximas de 20 °C y 40°C respectivamente.
- La presión de operación del reservorio 15 Barg
- Temperatura de reservorio 200°C.

- En la zona de implementación existen comunidades cercanas.
- En la zona de implementación existe cobertura de señal 3G.
- No existe sistema de control y monitoreo digital en la plataforma.

El desarrollo puede sub-dividirse en 3 grandes etapas:

1. Caracterización del Sistema
2. Diseño del sistema de transmisión de datos
3. Sistema de Monitoreo.

Las 2 primeras etapas poseen una fuerte interacción entre ellas, pues la primera se alimenta de información de la segunda para concretar el diseño.

4.1.1 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA

En cada plataforma de producción se monitoreará las siguientes variables por pozo después del separador.

- Flujo de agua geotérmica.
- Presión de agua geotérmica.
- Temperatura de agua geotérmica.
- Flujo de vapor.
- Presión de vapor.
- Temperatura de vapor.

El sistema debe ser capaz de calcular las siguientes variables.

- Entalpía de vapor separado
- Flujo de bifásico.

4.2 PROPUESTA DE SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS EN TIEMPO REAL DE PARÁMETROS GEOTÉRMICOS.

4.2.1 TRANSDUCTORES DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA, PRESIÓN Y FLUJOS.

El presente apartado contiene las características técnicas generales correspondientes a los equipos destinados para la adquisición de las mediciones de los parámetros geotérmicos temperatura, presión y flujos de vapor y agua geotérmica.

La especificación técnica ha sido elaborada a partir del conocimiento y experiencia adquirida en el manejo e instalación de equipos más comúnmente utilizados en plantas geotérmicas.

El objetivo del sistema de sensores en una plataforma de pozos productores es la medición de temperatura, presión y flujos de vapor y de agua geotérmica que maneja la estación de separación y las diferentes tuberías destinadas para la orientación del recurso.

Según las asunciones del sistema, los sensores propuestos deben cumplir las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 4.2.1.1 – ET del sistema

Especificaciones Técnicas del Sistema		
Ítem	Característica	Descripción
1	Alimentación	11 – 55 VDC
2	Presión máxima de trabajo	800 PSIG/55.16 BARG
3	Presión máxima de proceso	20 BARG
4	Salida para control	4 – 20 mA con comunicación HART.
5	Temperatura de funcionamiento	150°C – 800°C
6	Manifould	Para realizar la calibración del sensor de flujo.

Medición de flujo de agua geotérmica

Luego de la separación del vapor y el agua dentro de la estación de separación, el agua geotérmica es enviada a los pozos destinados para la reinyección, se debe tener un control de la cantidad de flujo de agua para saber cuánta agua es enviada al reservorio.

La medición de este parámetro físico se realiza mediante el efecto Venturi, el cual se explica por el principio de Bernoulli y el principio de continuidad de la masa.

Por lo tanto para la medición se utiliza un tubo de Venturi en conjunto con un sensor de flujo que utiliza un sistema de compensación por temperatura. Este es el tipo de sistema que se utiliza actualmente para la medición de flujo en las plataformas de producción en muchas centrales geotérmicas.

Con base a los requerimientos y los supuestos del sistema denotados en la Tabla 4.2.1.2 se recomienda el sensor Rosemount 3095M; el cual tiene las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 4.2.1.2 – ET del sensor de flujo de agua

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
SENSOR DE FLUJO DE AGUA ROSEMOUNT		
Ítem	Características	Descripción
1	Modelo: 3095M	Transductor Multivariable de Flujo Másico
2	Salida para control	4 – 20 mA con señal digital basada en protocolo HART
3	Rango Diferencial de presión	0 – 2.5 a 0 – 250 en agua (0 – 6,22 a 0 – 623 mbar)
4	Rango Diferencial Estático	0 – 8 a 0 – 800 PSIG (0 – 0.552 a 0 – 55.2 bar)
5	Material Aislante	Silicona
6	Estilo de Brida	Coplanar
7	Medición de temperatura de entrada	RTD integrada
8	Material del transmisor	Aluminio cubierto de poliuretano
9	Bloque terminal	Estándar
10	Display	Pantalla LCD



Fig. 4.2.1.1 – Sensor de Flujo de Agua Rosemount

Medición de flujo de vapor

Al separar el vapor geotérmico del agua, este se transporta a la turbina de generación ubicada en la planta, el transporte se realiza mediante tuberías de diferentes pulgadas de diámetro, para tener un mejor control del flujo de vapor que se está enviando a la turbina y para tener un control de las pérdidas que se producen por los largos trayectos que debe recorrer el transporte de vapor, se realiza la instalación de un sensor de flujo para la medición del vapor.

La medición de este parámetro físico se realizará mediante el uso de un sensor de flujo tipo diferencial por tubo annubar, el principio de medición consiste en varios tubos de Pitot ubicados a través de la tubería para proveer una aproximación al perfil de velocidad. El caudal total puede determinarse a partir de esas múltiples mediciones.

Para la medición de flujo de vapor en el proceso se recomienda un tubo annubar en conjunto con un transductor que interprete esta señal para determinar el flujo total del vapor que atraviesa la tubería.

En base a las especificaciones técnicas de la Tabla 4.2.1.2, se recomienda el sensor Rosemount 3051SFA; el cual tiene las siguientes especificaciones técnicas.

Tabla 4.2.1.3 – ET del sensor de flujo de vapor

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SENSOR DE FLUJO DE VAPOR ROSEMOUNT		
Ítem	Características	Descripción
1	Modelo: 3051SFA	Caudalímetro tipo Annubar
2	Tipo de medición	Cálculos de flujo compensado, diferencial y presión estática
3	Tipo de fluido	Vapor
4	Material de ensamble, material de tubería	Acero al carbón
5	Orientación de la tubería	Horizontal
6	Tubo Annubar	Brida con soporte en el lado opuesto
7	Material del sensor	Acero inoxidable
8	Tamaño del sensor	Tamaño 2 – tuberías de 6" a 96"
9	Medición de temperatura de entrada	RTD integrada
10	Conexión de transmisión	Montaje remoto con conexión

11	Rango de presión diferencial	0 a 250 en agua (0 a 621.60 mbar)
12	Rango de presión estática	14.2 a 800 PSIG (-0.98 a 55.15 bar)
13	Salida para control	4 – 20 mA con señal digital basada en protocolo HART
14	Manifould	3 válvulas de acero inoxidable
15	Display	Pantalla LCD



Fig. 4.2.1.2 – Sensor de Flujo de Vapor Rosemount

Medición de presión

La medición de la presión del sistema de separación de vapor, es un parámetro físico de suma importancia debido a que con esto podemos controlar el correcto funcionamiento del sistema.

La medición de este parámetro físico se realiza utilizando un sensor de presión manométrica. Las presiones manométricas son normalmente las presiones superiores a la atmosférica, que se mide por medio de un elemento que define la diferencia entre la presión que es desconocida y la presión atmosférica que existe, si el valor absoluto de la presión es constante y la presión atmosférica aumenta, la presión manométrica disminuye; esta diferencia generalmente es pequeña mientras que en las mediciones de presiones superiores, dicha diferencia es insignificante, es evidente que el valor absoluto de la presión puede obtenerse adicionando el valor real de la presión atmosférica a la lectura del manómetro.

En base a los requerimientos y las asunciones del sistema de la Tabla 4.2.1.2, se recomienda el sensor Rosemount 3051S; el cual tiene las siguientes especificaciones técnicas.

Tabla 4.2.1.3 – ET del sensor de presión

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SENSOR DE PRESIÓN ROSEMOUNT		
Ítem	Características	Descripción
1	Modelo: 3051S	Transmisor de presión escalable
2	Tipo de conexión	En línea
3	Tipo de medición	Presión manométrica
4	Rango de presión manométrica	-14.7 a 800 PSI (-1.01 a 55.15 bar)
5	Salida para control	4 – 20 mA con señal digital basada en protocolo HART
6	Frecuencia y protocolo de operación	2.4 GHz DSSS, IEC 62591 (WirelessHART)
7	Display	Pantalla LCD



Fig. 4.2.1.3 – Sensor de Presión Rosemount

Medición de temperatura

La medición de este parámetro se realiza por medio de un sensor de temperatura; el cual consta de una termocupla tipo J, la cual mide los valores de temperatura del vapor que se transporta por las tuberías.

Una termocupla es simplemente dos alambres de distinto material unidos en un extremo. Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, del orden de los milivolts el cual aumenta proporcionalmente con la temperatura. Las termocuplas J económicas, físicamente muy rígidas y cubren un amplio rango de temperaturas (-180 a 760 °C).

En base a los requerimientos y las asunciones del sistema de la Tabla 4.2.1.2, se recomienda el sensor Rosemount 644; el cual tiene las siguientes especificaciones técnicas.

Tabla 4.2.1.4 – ET del sensor de temperatura

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SENSOR DE TEMPERATURA		
Ítem	Características	Descripción
1	Modelo: 644	Transmisor de temperatura
2	Precisión	±0.10 °C
3	Alimentación	12 a 42.4 VDC
4	Termocupla	Tipo J
5	Rango de temperatura de entrada	-180 a 760 °C
6	Rango de voltaje de entrada	-10 a 100 mV
7	Display	Pantalla LCD



Fig. 4.2.1.4 – Sensor de Temperatura Rosemount

4.2.2 CONCENTRADOR DE SEÑALES DE SENSORES.

El proceso de adquisición de datos y acomodación de señal en un protocolo de comunicación estándar, será llevado a cabo en por un PLC modular con tarjeta de comunicación Ethernet.

Características del PLC

Para el monitoreo de los sensores serán necesarias 6 entradas análogas de 4-20mA por cada pozo de producción, estimando que en cada plataforma se cuente con 3 pozos, el número de entradas analógicas total para el monitoreo de la plataforma será de 18 entradas analógicas. En la siguiente tabla se muestran los sensores a monitorear en una plataforma.

Tabla 4.2.2.1 – Sensores por pozos en plataforma

SENSORES POR POZO EN PLATAFORMA		
Tipo de sensor	Descripción	Tipo de salida de sensor
Flujo	Medición de Flujo en la línea de agua	4-20ma HART
Temperatura	Medición de temperatura en la línea de agua	4-20ma HART
Presión	Medición de Presión en la línea de agua	4-20ma HART
Flujo	Medición de Flujo en la línea de vapor	4-20ma HART
Temperatura	Medición de temperatura en la línea de Vapor	4-20ma HART
Presión	Medición de Presión en la línea de Vapor	4-20ma HART

Ya que el PLC solo funcionará como dispositivo concentrador de señales de monitoreo, no se necesitara que el dispositivo sea de gama alta, sin embargo con el objetivo de una futura expansión del sistema (a un sistema de control y monitoreo automático), se recomienda la implementación de CPU con velocidades de procesamiento que suplan las necesidades de futuro.

Entre los PLC recomendados se encuentran:

Tabla 4.2.2.2 – PLC's recomendados para la aplicación

Marca	Modelo CPU	Descripción	Módulos adicionales
Siemens	SIMATIC S7-300 CPU 314	<ul style="list-style-type: none"> Alimentación 24VDC Interfaz MPI 	1- módulo CP 343-1 Lean (Modulo de comunicación Ethernet) 2- módulos SM 331; AI 8 (16 Bit) 1-modulo SM 331;AI 2 (12 Bit)
VIPA	CPU 313SC	<ul style="list-style-type: none"> Alimentación 24VDC 24 X DI , 16 x DO , 4 x AI , 2 AO x , 1 x AI Pt100 128 kB de memoria de trabajo Expansión de memoria (max . 512 kB) Tarjeta Ethernet integrada 	2-modulos SM 331S ;AI8 (13Bits) 1-modulo 331-7KB01; AI2 (14Bits)
Schneider	TWDLMDA20DRT CPU extendible Twido	<ul style="list-style-type: none"> Alimentación 24 VDC 12 DI, 8 X DO (estado sólido y relé) 	1- Módulo 499TWD01100 (Modulo de comunicación Ethernet) 2 -módulos TM2AMI8HT; AI8 (10Bits) 1-Módulo TM2AMI2HT; 2 AI (12Bits)

4.2.3 CABLEADO DE SENSORES

Los sensores en la plataforma se conectaran de forma cableada al PLC que estará ubicado en un panel eléctrico con los demás dispositivos de control de la plataforma. Se recomienda que los cables sean colocados de forma subterránea con tubería de protección de PVC grado industrial, conectada a codos y tuberías de acero inoxidable en las partes expuestas a la superficie (tramo del sensor hacia la tierra y tramo de tierra hacia el gabinete contenedor de PLC).

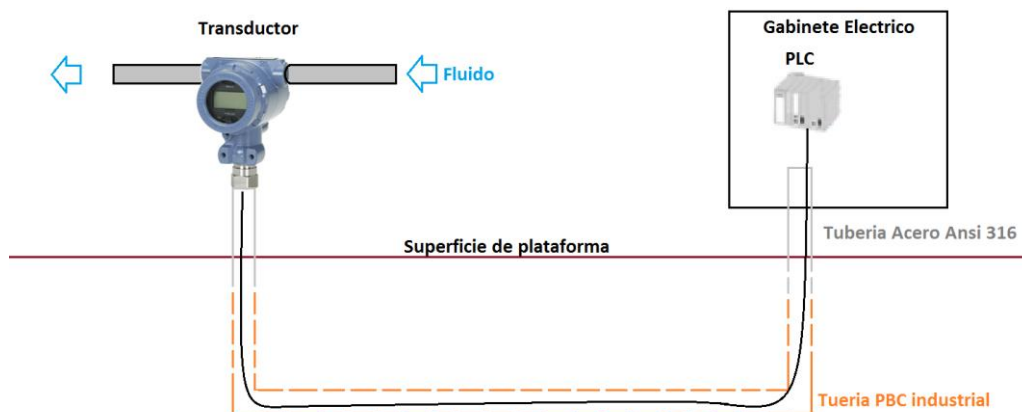


Fig. 4.2.3.1 – Cableado Subterráneo de Sensores

Datos del fabricante denotan que para obtener los mejores resultados se debe usar cable de pares trenzados apantallado. Usar un cable de 24 AWG o mayor, sin que su longitud sobrepase de 1500 metros (5000 ft) para conexiones.

Los sensores deben de tener una fuente de alimentación de corriente continua (CC) y esta debe suministrar energía con una fluctuación menor de dos por ciento. Para el cálculo de esta fuente, para la carga total de resistencia de la instalación, se debe tomar la suma de la resistencia de los conductores de la señal y la resistencia de la carga del controlador, del indicador y de las piezas asociadas a la instalación.

Tipo de cable

El tipo de cable recomendado para instrumentación y monitoreo es el tipo FTP, 1 cable 24x18 AWG + tierra, con pantalla global, material de los conductores: cobre estañado, 300 Vmax.

- **Descripción general**

El cable FTP está formado por conductores sólidos o flexibles de cobre, aislados individualmente bajo código de colores con polietileno (PE), pareados y reunidos, blindados con poliéster aluminizado y cable de dren bajo una cubierta general de policloruro de vinilo retardante a la flama (FRPVC).

- **Especificación técnica**

El Cable FTP (cable par trenzado con blindaje) está bajo especificaciones de rendimiento TIA/EIA 568-B. Con conductores de cobre electrolítico 24 AWG (0,51 mm) con aislaciones en polietileno MDPE, cinta de poliéster - drenaje cobre estañado (0,51 mm), blindaje de cinta longitudinal de aluminio, hilo de poliamida para corte de cubierta externa.

Cubierta externa: PE (polietileno) - color negro. En caso de autosuspendido con portante de acero de cuerda, diámetro 1,50 mm (formación 7 x 0,50 mm).

Conductor - Cobre: Utilizado por su alta conductividad eléctrica y buenas propiedades mecánicas, resistente a la corrosión, lo que lo hace especialmente recomendado para usarse en ambientes salinos y/o corrosivos, alta resistencia a la tracción y a la fatiga.

Aislamiento - Polietileno (PE): Ofrece excelente resistencia a la abrasión y al medio ambiente así como muy buen comportamiento frente a agentes químicos, a la humedad y luz solar (en color negro). Propaga la flama y es menos flexible que el PVC.

Cubierta - Policloruro de vinilo (PVC): Material más usado como cubierta para uso general. Proporciona buena flexibilidad, resistencia a agentes químicos y a la abrasión, no propaga la flama (anti flama).

Cubierta Grado: CM-Tendidos Horizontal 1 Piso.

EXTREMO - Doble Cubierta (PVC/PE), altamente resistente al exterior y a las fricciones mecánicas.

ESCU: - **RAD:** Recubrimiento Altamente Deslizable, - **ROHS:** Libre de Sustancias Químicas Ecológicamente Contaminantes, - **RISER:** Propiedades Antiflama, Tendido Horizontal / Vertical, 2 ó más Pisos.

Blindaje: Usualmente su objetivo es limitar el efecto de las tensiones inducidas por campos electromagnéticos que afectan en forma crítica la señal transmitida en los circuitos eléctricos o electrónicos. La efectividad del blindaje o pantalla se determina en base a la reducción tanto de las tensiones inducidas como de la radiación de la señal.

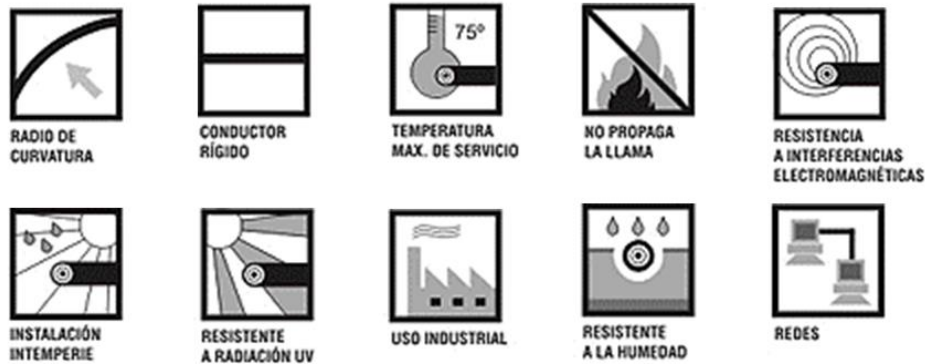


Fig. 4.2.3.2 – Características del Conductor FTP

- **Aplicaciones**

Son usados para cableado de redes de transmisión de datos, voz e imagen para velocidades hasta 100MHz. También poseen portante para tendidos entre dos puntos de fijación.

- **Normas**

UL 444 Cables para Comunicaciones

NEC Artículo 800 Cables de Comunicación para Circuitos de Voz y Datos

ANSI/TIA-568-B.2 Estándar para Componentes, Cableado Estructurado y Pares Balanceados

- **Información complementaria**

Capacitancia Nominal: 14 pF/ft

Impedancia Característica: 100 +/- 15% ohms

Velocidad de Propagación Nom.: 71%

Empaque: Carrete, Caja o Rollo



Fig. 4.2.3.3 – Conductor FTP

4.2.4 SISTEMA DE POTENCIA

Sistema de alimentación

La alimentación del sistema deberá contar con una fuente principal y una fuente de respaldo la cual en caso de una falla (o falta de energía eléctrica) tendrá que mantener al sistema funcionando como mínimo 24 horas y notificar por medio de una alarma la falla correspondiente.

La alimentación del sistema debe incluir la fuente de poder que suministre la potencia necesaria para alimentar los elementos del sistema de monitoreo conectados en áreas alejadas como las tuberías de vapor y agua geotérmica; esta fuente de poder deberá contar con un sistema de respaldo con baterías o con UPS que sea capaz de alimentar los dispositivos de campo por un período mínimo de 24 horas cuando falle la energía comercial en estado normal.

Para el presente proyecto se ha supuesto que la plataforma contará con alimentación a 240/120 VAC entregada por el distribuidor de energía eléctrica local

Todas las fuentes de poder y reguladores deben estar protegidas contra las siguientes condiciones:

- Sobre voltaje a la entrada y la salida.
- Transientes de la alimentación de 120 VAC.
- Cargas de corto circuito.

Bajo condiciones de falla, la fuente de poder y su regulador no deberán exceder los voltajes especificados en sus terminales de salida.

La potencia para energizar los dispositivos de detección (sensores) y monitoreo instalados en campo, ya sean análogos o digitales, deberá ser suministrada por la unidad central y alimentada de la fuente de 24 VDC integrada en el gabinete potencia.

Tablero de control

Los tableros que alojarán los módulos de entrada y salida deben ser aptos según la clasificación de área del sitio de instalación y contar con un grado de protección mínimo nema 4X para el caso de tableros exteriores y Nema 12 para gabinetes para uso en interior.

La clasificación NEMA (National Electrical Manufacturers Association) es un conjunto de estándares creado, como su nombre lo indica, por la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (E.U.). Los estándares más comúnmente encontrados en las especificaciones de los equipos son los siguientes:

NEMA 4. Sellado contra el agua y polvo. Los gabinetes tipo 4 están diseñados especialmente para su uso en interiores y exteriores, protegiendo el equipo contra salpicaduras de agua, filtraciones de agua, agua que caiga sobre ellos y condensación externa severa. Son resistentes al granizo pero no a prueba de granizo (hielo). Deben tener ejes para conductos para conexión sellada contra agua a la entrada de los conductos y medios de montaje externos a la cavidad para el equipo.

NEMA 4X. Sellado contra agua y resistente a la corrosión. Los gabinetes tipo 4X tienen las mismas características que los tipo 4, además de ser resistentes a la corrosión.

NEMA 12. Uso industrial. Un gabinete diseñado para usarse en industrias en las que se desea excluir materiales tales como polvo, pelusa, fibras y filtraciones de aceite o líquido enfriador.

Los gabinetes deberán incluir los módulos que se requieran con sus respectivas borneras para conexión. Los módulos de entrada y salida deberán proveer la facilidad de recibir y transmitir señales del sistema y reportar el estado general y de sus canales al controlador principal, a través de un puerto de comunicaciones inalámbrico compatible con la red de campo dispuesta en el controlador principal del sistema. Los módulos de entrada-salida deben contar como mínimo con los diagnósticos y protecciones por canal: diagnóstico y protección de corto circuito y/o sobre corriente.

El tablero de control local contara con una estación de interfaz HMI (por sus siglas en inglés) de pantalla táctil la cual indicará al operador las mediciones realizadas por los sensores así como también el comportamiento en tiempo real de las condiciones físicas del sensor (falla, correcto funcionamiento, etc.) y deberá entregar lecturas de diagnóstico de todo el sistema.

La HMI contará con un ambiente amigable para fácil visualización de históricos, deberá permitir la generación de gráficos con las variaciones de los parámetros medidos, es decir, diseñada para la visualización en tiempo real de la medición o señal generada desde los sensores en todo el sistema. También se tiene que registrar en los históricos el acceso de los usuarios a la configuración del sistema.

El sistema debe poseer niveles de protección (Password) para prevenir modificaciones no autorizadas en su configuración en al menos 4 niveles:

- Solo lectura: No puede cambiar parámetros, solo visualización de mediciones.
- Nivel de operador: Acceso para leer despliegues y ajustar parámetros de proceso.
- Nivel de técnico: Acceso a todas las funciones de operador orientadas a funciones de ingeniería como configuración de sensores, etc.
- Nivel de ingeniería: Acceso total al sistema.

El tablero de control contará también con indicadores de eventos como: falla de integridad del sistema, falla de voltaje de alimentación, dispositivo removido, configuración inválida, calibración activa, dispositivo fuera de línea, etc.

4.3 INGENIERÍA CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE DATOS

Para la transmisión de datos obtenidos por los sensores de la plataforma se tendrá un concentrador de señales (PLC), donde se conectaran los cables de todas las señales de los sensores que se desea monitorear.

El concentrador de señales (explicado en el apartado 4.1.2 “*Concentrador de señales de sensores*”) servirá como elemento de transformación de las señales de señales análogas de los sensores hacia un protocolo industrial.

Para el caso de estudio se recomienda dispositivos con topología de comunicación Ethernet industrial por su fácil instalación y adaptación a las redes existentes. Sin embargo cabe resaltar que los dispositivos de transmisión de datos propuestos tienen la apertura de utilizar otros protocolos industriales para su implementación como los protocolos que utilizan comunicación por puertos RS232/422/485 y puerto MPI.

Los datos obtenidos por el concentrador serán transmitidos a una nube informática, por medio de comunicación GPRS/3G/4G con acceso a internet, donde se podrán conectar a su vez otros dispositivos para realizar consultas de la información o establecer una conexión VPN con el PLC que servirá como concentrador de señales ubicado en la plataforma.

Esta gestión y acceso de los datos en la nube y conexiones VPN se aprovechará para tener sistemas de almacenamiento y procesamiento de datos, servicios especiales como notificaciones de alarmas por medio de email o vía SMS, consultas de los datos por medio de interfaces gráficas a través de servidores WEB e incorporación de sistemas SCADA con la adición de un equipo administrador de múltiples conexiones VPN.

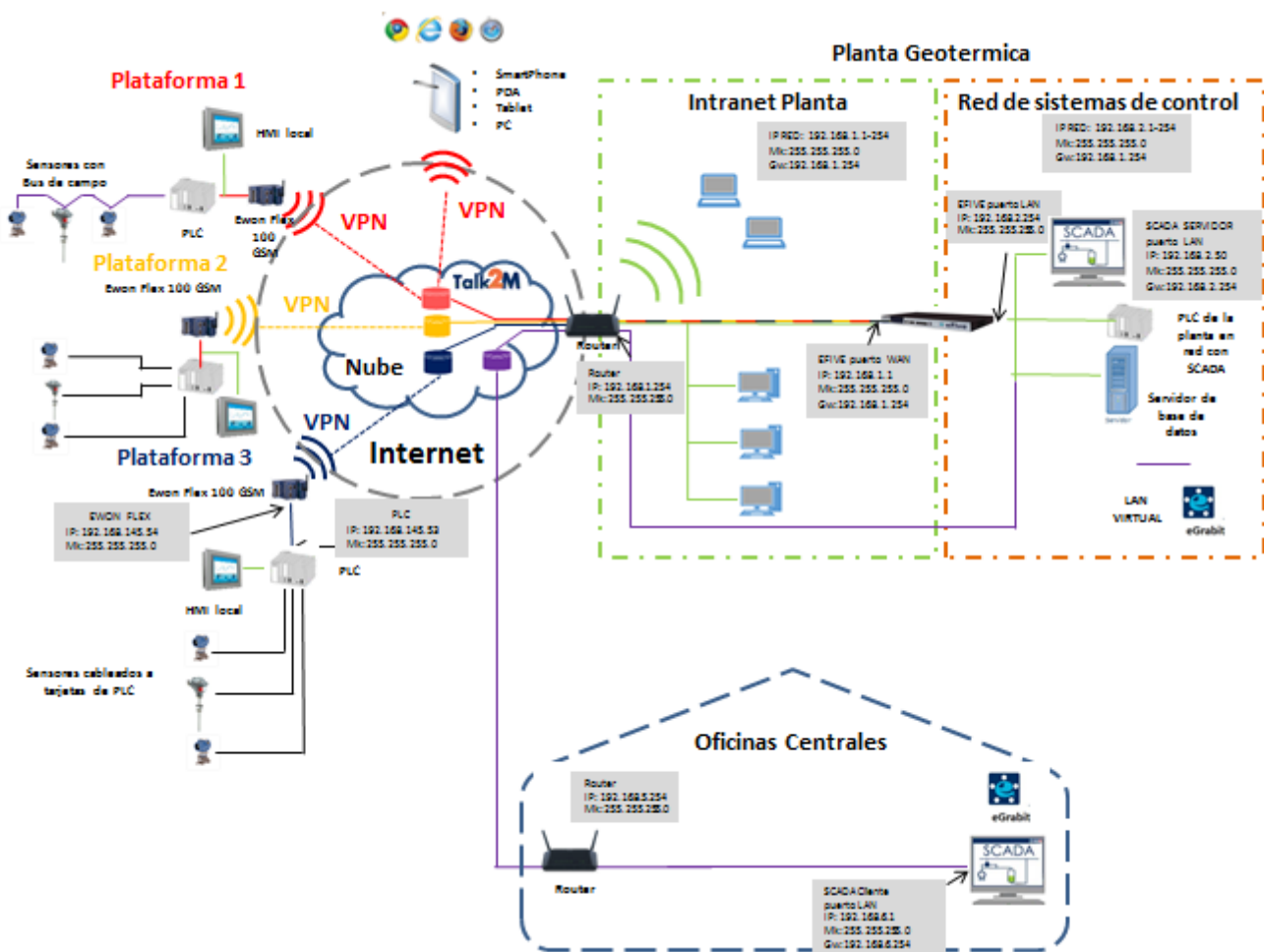


Fig. 4.3.1 – Topología del Sistema de Transmisión de Datos

4.3.1 TRANSMISIÓN DE DATOS INALÁMBRICA DESDE LA PLATAFORMA

Para la transmisión inalámbrica de los datos en la plataforma hacia el objeto remoto se han analizado diferentes tecnologías y marcas, de las cuales se ha tomado como base para la topología de red, los dispositivos Flexy 201 de la marca eWON, puesto que estos tienen prestaciones que serán de utilidad para la aplicación.

Entre las prestaciones de esta tecnología tenemos:

- **Red Privada Virtual con conexión segura para acceso remoto**

El eWON Flexy incorpora capacidades de VPN y compatibilidad con Talk2M y eFive. Esto permite acceso remoto de alta seguridad para el control remoto, solución de problemas y ajuste de las aplicaciones. El Flexy 200 a diferencia de sus predecesores añade capacidades de enrutamiento que permite el acceso remoto a cualquier dispositivo de serie o Ethernet que está en la red detrás del eWON Flexy. Lo que permite el mantenimiento remoto PLC, incorporación de cámaras IP remotas, monitorización remota de HMI, etc.

- **Adquisición de datos**

El eWON Flexy es capaz de realizar la adquisición de datos local a través de puerto serial o Ethernet. Los datos registrados en el proceso de adquisición están enlazados con etiquetas asociadas con puertos I / O. El eWON Flexy es capaz de realizar la adquisición de datos con los siguientes protocolos: Modbus RTU, Modbus TCP, Uni-Telway, EtherNet / IP, DF1, ALETAS TCP, ALETAS Hostlink, ISO TCP, PPI, MPI, Profibus, Mitsubishi FX, Hitachi EH, ASCII

- **Administrador de alarmas y notificaciones**

El eWON Flexy proporciona soporte completo para activación de alarma, reconocimiento, estatus y trazabilidad. Umbrales de alarma y parámetros (retardo de activación, valor de la banda muerta) que se puede establecer para cada variable monitoreada.

Las notificaciones de alarmas se pueden realizar por medio de correo electrónico o SMS.

- **Registro de datos**

El dispositivo es capaz de registrar los datos de forma continua o cada vez que exista cambio (depende de la configuración del dispositivo) para cada variable monitoreada. eWON Flexy almacena los datos junto con etiquetas de tiempo en el que han sido tomados, en su base de datos interna (más de 1.000.000 variables con marcas de tiempo), para el análisis estadístico y revisión posterior (registro histórico) o para analizar recientes tendencias (el registro en tiempo real).

Los archivos de registro de datos puede ser fácilmente recuperada por FTP, HTTP o como un e-mail como archivo adjunto.

- **Servidor WEB**

El eWON Flexy tiene un servidor web integrado para fines de configuración y monitoreo. El eWON Flexy proporciona una plataforma grafica HMI, visible donde exista cualquier interfaz de navegador Web estándar.

- **Modular**

El dispositivo se puede expandir con tarjetas de comunicación y/o tarjetas de expansión de entrada/salida. Esto permite comunicaciones con otros dispositivos que se puedan incorporar en un futuro.

Programas, servicios y dispositivos relacionados con dispositivos eWON Flexy

La tecnología eWon cuenta con diferentes programas y equipos para cada aplicación, un resumen de los equipos y aplicaciones relacionadas con los eWON Flexy se muestra en la figura 4.2.1.1 y la tabla 4.2.1.1

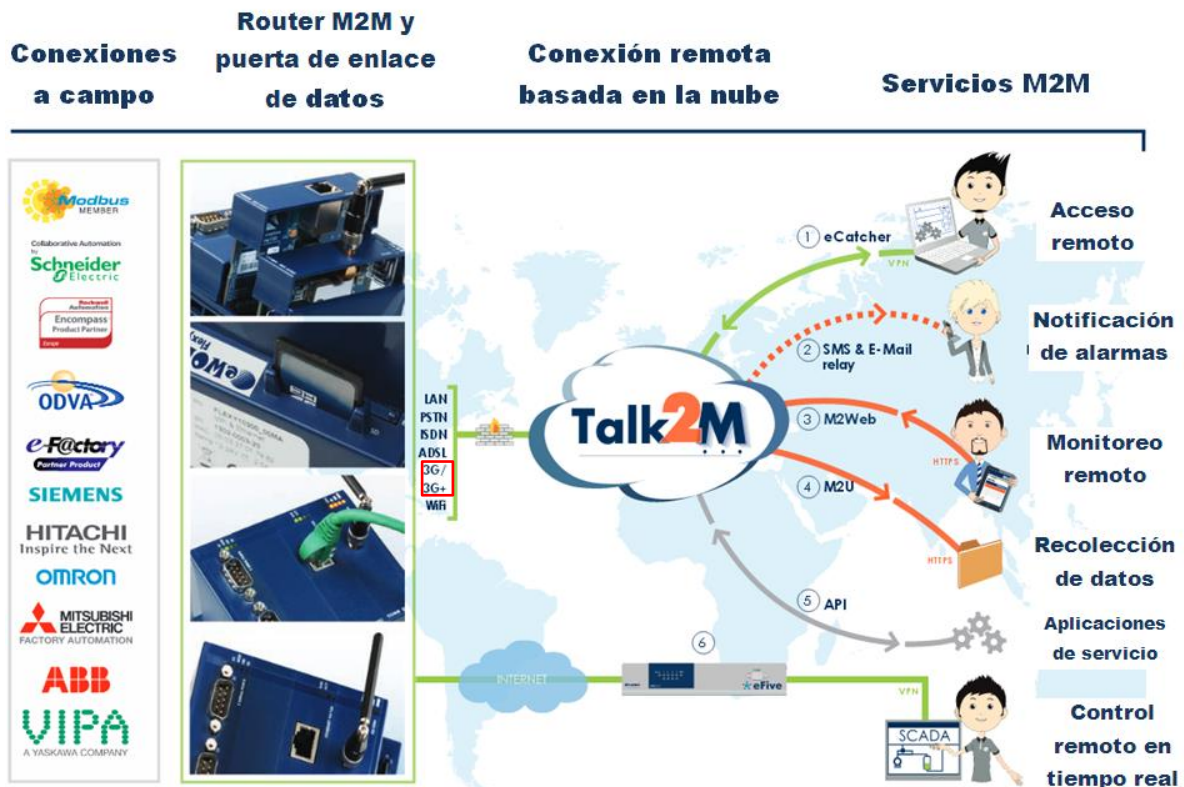


Fig. 4.3.1.1 – Programas, Servicios y Dispositivos Relacionados con Dispositivos eWON Flexy

Tabla 4.3.1.1 – Servicios eWON Flexy

N°	Servicio	Software/Dispositivo	Descripción
1	Acceso remoto "bajo demanda"	Ecatcher	Conexión VPN segura para llegar a cualquier serie o dispositivos Ethernet: proyectos de subida, aumento uso remoto de un HMI, depurar el PLC programa y, si es necesario, descarga nueva ajustes o programa.
2	SMS e E-MAIL de alarma	Servidor STTP Talk2m	Con el dispositivo el usuario puede recibir alertas por SMS y/o recibir correos electrónicos a través de Talk2M Servidor SMTP.
3	Monitoreo remoto desde móvil	M2WEB	Utilizando web móvil es posible monitorear desde un iPad, iPhone o cualquier dispositivo con Android

4	Recopilación de datos a distancia	M2U	Enlace HTTPS seguro para recuperar datos
5	Aplicaciones de servicio	API M2Web HTTPS	<p>Permite peticiones HTTPS apátridas a la distancia dispositivo conectado a Talk2M, desde la web utilizando una computadora</p> <p>El API M2Web HTTPS permite:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Enviar comandos a un sitio remoto - Diseño de aplicaciones móviles para el monitoreo remoto - Acceso a servicios web remotos - Recopilación de datos del sitio remoto
6	Control a distancia en tiempo real	eFive	Con la incorporación del dispositivo Efive el Ewon Flexy utiliza un servidor VPN y firewall para permanecer permanente en conexiones, EFive hace el puente entre el PLC remoto y el SCADA. El Efive permite conexiones a múltiples Ewon Flexy al mismo tiempo.

4.3.2 RECEPCIÓN DE DATOS EN LA PLANTA

Para la recepción de datos en la planta se contara con un eFive 100, este es un elemento gestor de redes VPN de la misma marca que los módems GPRS (eWON). Este elemento servirá como concentrador de todas las conexiones VPN realizadas por medio de internet hacia los eWON Flexy ubicadas en cada una de las plataformas , pudiendo así conectar a una sola red todos los PLCs de las plataformas conectados a estos.

En la red creada en la planta por medio del eFive 100 se conectará una computadora con un software SCADA Servidor para el monitoreo simultaneo de todas las plataformas.

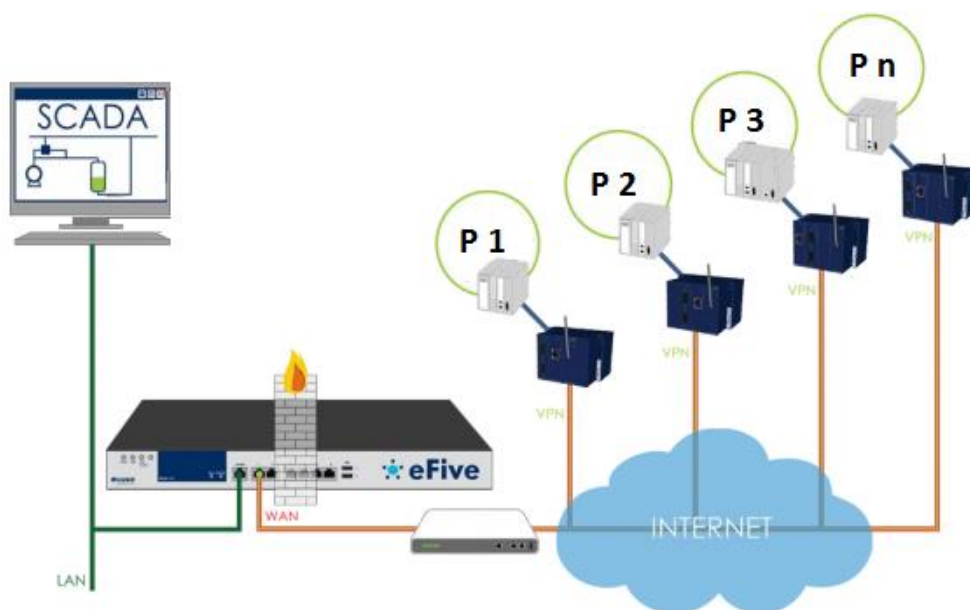


Fig. 4.3.2.1 – Recepción de Datos en la Planta Geotérmica

Una vez establecida la conexión entre el eFive 100 y los Ewon Flexy ubicados en la plataforma el sistema SCADA se direccionará hacia los PLCs con la dirección IP local de cada PLC como se muestra en la siguiente figura 4.3.2.2

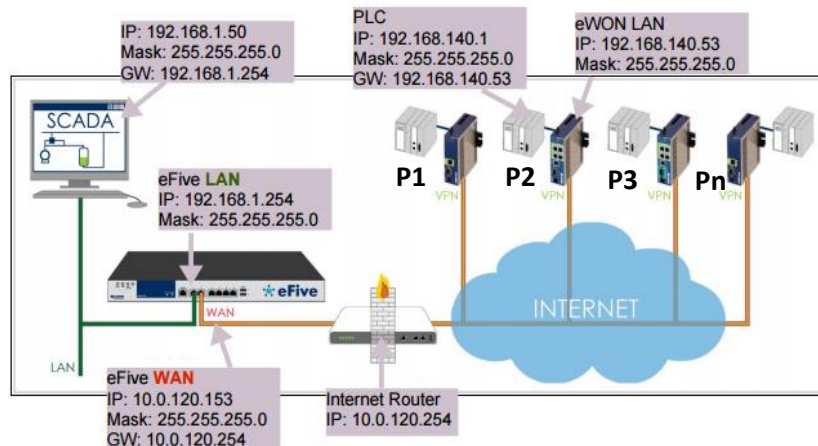


Fig. 4.3.2.2 – Recepción de Datos en la Planta Geotérmica con Dirección IP

El PC SCADA Para comunicarse al PLC detrás del eWON en la plataforma 2(P2), sólo tiene que utilizar la IP local dirección del PLC (192.168.140.1).

Esta propiedad hace que la implementación de la red sea fácil y se pueda incorporar de la misma manera a sistemas de monitoreo y control ya existentes. (Ejemplo sistemas DCS)

Con la incorporación del eFive 100 se podrán conectar hasta 200 conexiones VPN al mismo tiempo, esto da la posibilidad de expansión del sistema en un futuro solo reconfigurando la cantidad de conexiones y direcciones establecidas sin necesidad de modificaciones de hardware.

4.3.3 SISTEMA DE MONITOREO

El monitoreo de las variables en tiempo real podrá ser llevado por medio de 3 sistemas diferentes:

- Monitoreo local
- Monitoreo remoto fijo por medio de software SCADA
- Monitoreo remoto puntual por medio de SCADA-WEB

Monitoreo local

Se implementara una pantalla HMI en el panel de control ubicado en cada una de las plataformas, esta pantalla al igual que el sistema de transmisión de datos, se conectará al PLC en la misma red, donde se adquirirán los datos obtenidos por los sensores y se mostraran en un ambiente gráfico, también indicará alarmas del sistema, mostrara tendencias y comportamiento de las variables en forma de gráficos. La pantalla servirá para obtener de manera rápida los datos de los sensores y realizar operaciones de control en caso de que se cuente con actuadores conectados al PLC (en futuras expansiones).

Monitoreo remoto fijo por medio de software SCADA

Se propone un sistema de monitoreo SCADA para visualizar en una sola pantalla los parámetros de los sensores de todos los pozos geotérmicos, a su vez los cálculos de las entalpías y flujos bifásicos de vapor en tubería. Utilizando librerías de programas especializados con tablas de vapor.

El sistema SCADA propuesto tendrá una topología Cliente/Servidor, donde el SCADA servidor estará ubicado en la planta geotérmica y el cliente será una estación remota ubicada en las oficinas centrales donde se podrá visualizar solo los datos que permita el sistema SCADA Servidor. También se gestionará el almacenamiento de los datos en un servidor de base de datos. Para futuras operaciones con estos.

Para establecer la conexión remota entre los SCADA (cliente y servidor) será necesario instalar en la PC Cliente el software eGabit, el cual servirá para crear una conexión VPN por medio de internet al servidor eFive ubicado en la planta, generando una sola red lógica entre la PC SCADA servidor y la PC SCADA cliente.

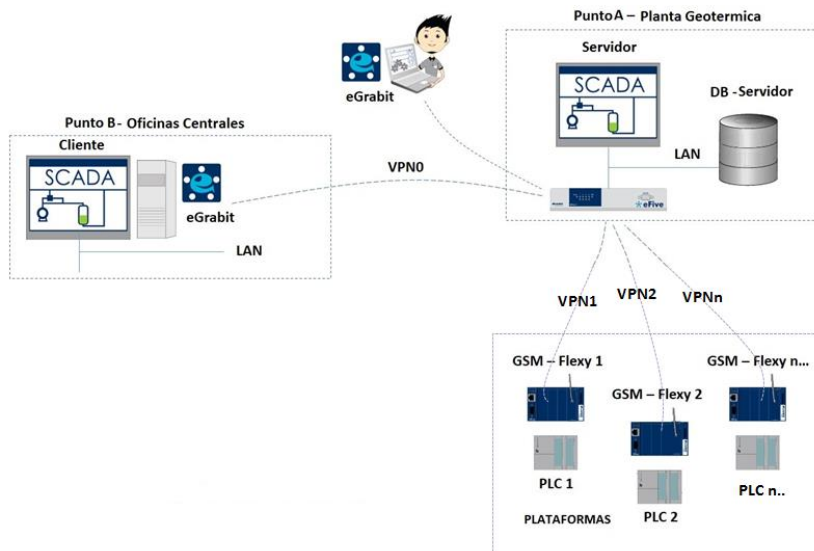


Fig. 4.3.3.1 – Monitoreo Remoto Fijo por Medio de Software SCADA

eGabit es un software que permite gestionar una conexión VPN-cliente entre un servidor eFive (solo uno a la vez) y una PC. La aplicación se ejecuta en la PC (Cliente) para establecer la conexión.

El software crea una nueva instancia en las conexiones de red de Windows. Esta instancia es un adaptador virtual que se activa cuando eGabit solicita establecer una conexión de cliente con el servidor VPN.

eGabit puede manejar 2 tipos de conexión de interés para la aplicación:

- **Conexión con un servidor eFive**

El eFive es útil para reagrupar eWONs y los dispositivos situados detrás y obtener así acceso para un SCADA o cualquier otro sistema de monitoreo en la red remota.

- **Conexión con una VPN directa a dispositivos eWONs**

Este método le permitirá conectarse a eWONs través de un túnel VPN y de una manera segura.

Monitoreo remoto puntual por medio de SCADA-WEB

En este tipo de monitoreo el modem eWON Flexy funciona como servidor WEB es por eso que la presentación de los datos es puntual (a solo un eWON Flexy a la vez).

En aplicaciones del manejo y control de un campo geotérmico pueda ser de gran utilidad para el monitoreo en las pruebas de producción de una plataforma específica, o a consultas puntuales del comportamiento de los pozos de una plataforma de forma rápida.

El SCADA WEB utiliza la nube Talk2M para realizar las conexiones con los dispositivos, es por esto que con la implementación de este sistema podrá ser posible el monitoreo de forma remota desde cualquier dispositivo que cuente con acceso a internet y una aplicación de acceso web, desde cualquier parte del mundo, como pueden ser Smartphone y Tablet con sistema operativo Android o IOS, computadoras, entre otros.

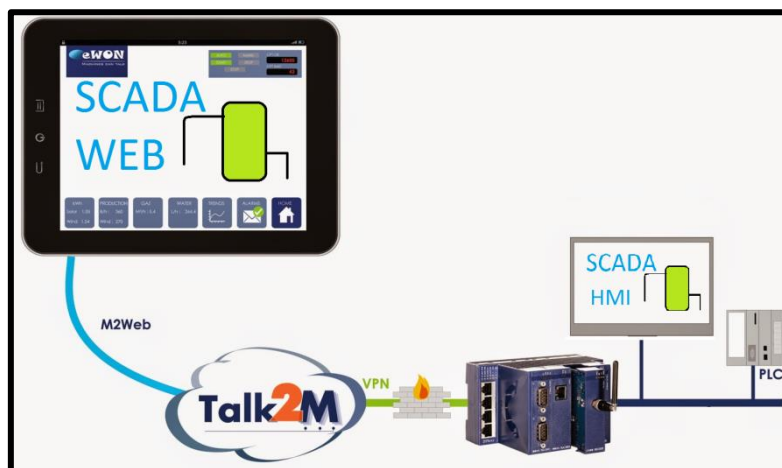


Fig. 4.3.3.2 – Monitoreo Remoto por Medio de SCADA-WEB

4.3.4 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN


La velocidad de trasmisión de datos dependerá tanto de la calidad de la señal GSM (GPRS/3G/4G) que se tenga en la zona y el servicio contratado, así como la capacidad en velocidades de transmisión de los equipos a implementar.

Las características técnicas de los equipos que restringirá la velocidad de transmisión de datos en el medio inalámbrico se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 4.3.4.1 – Características técnicas transmisor GSM

Características Técnicas Transmisor GSM	
	
Marca	eWON
Modelo	Fexy 201
Características	Router WAN/LAN/Serial
Puertos	Switch 4x Ethernet LAN 10/100Mb
Protocolos de comunicación	MODBUS / RTU, Modbus / TCP, Unitelway, DF1, PPI, MPI (S7), PROFIBUS (S7), ALETAS Hostlink, ALETAS TCP, EtherNet / IP , ISO TCP, Mitsubishi FX, Hitachi EH, ASCII. Almacenado en 2500 variables internas
Capacidad de almacenamiento	996.147 registros con etiqueta de tiempo
Voltaje de alimentación	12-24 V DC
Temperatura de operación	-25°C a + 70°C
Observaciones	<p>Se le añadirá una tarjeta de expansión 3G+ GSM (modelo FLB3202)</p> <p>modem Pentabanda UMTS/HSUPA</p> <p>Velocidad de transmisión: Hasta 7.3 Mbit/s para descarga, y 2 Mbit/s para de subida de datos.</p>

Tabla 4.3.4.2 – Características técnicas concentrador VPN

Características Técnicas concentrador de conexiones VPN	
	
Marca	eWON
Modelo	eFIVE 100
Número de máximo de conexiones Posibles	200
Velocidad máxima de	55 Mbps

conexiones VPN	
Tipo de montaje	Rack, 1U
Voltaje de alimentación	230 VAC, 3 A max.
Interface Ethernet	6 x 10/100/1000 Mbps (RJ45)
Interface Serial	1 x RS232 (RJ45) para acceso a consola
Tipo de disco Duro	Disco de estado sólido SSD
Tipo de enfriamiento	Ventilador
Certificaciones	FCC/CE/ROHS
Temperatura de operación	0 a 45°C 32°F a 113°F
Encriptación VPN	DES, 3DES, AES, 128/192/256-bit

La velocidad de transferencia total del sistema también dependerá del servicio y tecnología de datos utilizada. A continuación se presentan las diferentes tecnologías y servicios de datos móviles existentes.

Tabla 4.3.4.3 – Velocidades de transmisión GSM

Velocidades de transmisión tecnología GSM					
TIPO DE TECNOLOGIA		Comprobado (Promedio)		Teórico (Máximo)	
Clasificación	Nombre	Descarga	Subida	Descarga	Subida
2.5G	GPRS	32-48Kbps	15Kbps	114Kbps	20Kbps
2.75G	EDGE	175Kbps	30Kbps	384Kbps	60Kbps
3G	UMTS	226Kbps	30Kbps	384Kbps	64Kbps
	W_CDMA	800Kbps	60Kbps	2Mbps	153Kbps
	EV-DO rev.A	1Mps	500Kbps	3.1Mbps	1.8Mbps
	HSPA 3.6	650Kbps	260Kbps	3.6Mbps	348Kbps
	HSPA 7.2	1.4Mbps	700Kbps	7.2Mbps	2Mbps
Pre-4G	WiMAX	3-6Mbps	1Mps	100Mbps+	56Mbps
	LTE	5-12Mbps	2-5Mbps	100Mbps+	50Mbps
	HSPA+	.	.	56Mbps	22Mbps
	HSPA 14	2Mbs	700Kbps	14Mbps	5.7Mbps
4G	WiMAX 2	.	.	100Mbps	60Mbps
	LTE advance	.	.	100Mbps	.

Es de tomar en cuenta que la velocidad máxima de transferencia de datos está limitada por la velocidad máxima alcanzada por los equipos de transmisión siendo esta de 7.3 Mbit/s para la descarga, y de 2 Mbit/s para de subida.

Con base a todos los equipos y topología de red descrita en este documento; podemos aseverar que el sistema será capaz de transmitir hasta un máximo de 199 dispositivos remotos (200 conexiones VPN posibles por el eFive menos la conexión VPN al sistema SCADA cliente), la fiabilidad de la transmisión dependerá de la calidad de recepción de señal y el buen servicio GSM otorgado por el o los proveedores. El sistema de monitoreo podrá ser expandible sin que afecte el funcionamiento previo de este, solo añadiendo más modem eFlexy en las plataformas nuevas, programando el enlace de estos con el eFive y posteriormente añadirlo al SCADA.

Junto con los equipos actualmente propuestos se puede llevar un buen control de la información y gestionar acciones adecuadas, análisis con datos específicos, formación de modelos del comportamiento de los pozos con mayor precisión (ya que se contara con mayor número de datos), recibir alarmas y con estas realizar acciones inmediatas, tener un registro de respaldo, entre otros beneficios.

Cabe resaltar que este tipo de topología en la actualidad está enfocada para el monitoreo y se debe analizar detenidamente la implementación de esta tecnología para aplicaciones de control a distancia, por factores de fiabilidad de señal, sin embargo con la topología sugerida es posible la implementación de un control automático local utilizando el PLC propuesto en cada plataforma, añadiendo tarjetas de expansión.

5.0 – Conclusiones y recomendaciones

5.1 CONCLUSIONES

- Tener un panorama claro de los requisitos del sistema de una plataforma productora de vapor geotérmico y de las necesidades del personal de ingeniería, mantenimiento y operaciones es fundamental para determinar la tecnología de automatización que mejor se ajuste a esas necesidades.
- El sistema HMI propuesto se puede definir como una consola en la sala de control central o en el control local de la plataforma mostrando la imagen completa del proceso y permitiendo al operador monitorear los parámetros requeridos (presentar gráficas, configurar el sistema, etc.) dentro de la operación de los sistemas de la planta.
- Con la ayuda de los avances tecnológicos (DCS, SCADA, HMI, etc.) es posible en la actualidad tener un panorama completo y constante en tiempo real del monitoreo de parámetros geotérmicos en una plataforma de producción, lo cual permite mejorar la calidad de las mediciones actuales así como también mejorar el análisis técnico del sistema.
- Los sistemas inalámbricos como un reemplazo potencial para la actual generación de redes cableadas presentan soluciones para muchos de los inconvenientes que estas presentan, tales como: Flexibilidad de implementación, distancia de transmisión, pérdida de información por daños o vandalismo del medio físico de transmisión, etc.
- Entre las diferentes tecnologías de transmisión inalámbrica la del tipo GPRS/3G/4G presenta mayores distancias de transmisión ya que utiliza red de datos celular para conectarse a servidores de internet pudiendo establecer conexiones a nivel mundial presentando una gran ventaja con respecto a las otras, siendo una de sus desventajas un mayor costo de operación con respecto a las otras tecnologías.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda integrar un sistema de generación de energía eléctrica renovable modular como la solar fotovoltaica para la alimentación de los componentes del sistema en plataformas que no cuenten con suministro de energía eléctrica, debido a que el consumo eléctrico de estos instrumentos no es significativo.
- Se recomienda un estudio de calidad de señal GPRS/3G/4G en las zonas de implementación para evaluar la factibilidad del sistema.
- Se recomienda ampliar este estudio considerando un sistema de control, además de incluir el costo del montaje de un sistema como el estudiado.
- Se recomienda el análisis de la implementación de aplicaciones móviles para monitoreo de parámetros en tiempo real como en el caso de plataformas de perforación en donde se pueden monitorear el consumo de agua, emanaciones de H₂S, etc.

6.0 Referencias Bibliográficas

6.1 PUBLICACIONES

- DiPippo, R., 2005: *“Geothermal power plants: Principles, Applications and case studies”*, Elsevier Ltd. Kidlington, Inglaterra.
- Forero Gómez, Brigitte Catalina, 2011, Tesis: *“Caracterización del sistema de control distribuido DCS Honeywell Experion de la unidad de central del norte de la gerencia refinería de Barrancabermeja de Ecopetrol S.A.”*, Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia
- Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 2008, *“Manual de Geotermia”*, Madrid, España
- Olga garcía Galende, *“Equipo y Sistemas de Transmisión”*, Redes inalámbricas IEEE 802.11, EUITIO
- Carlos Varela Luis Domínguez, *“Redes Inalámbricas”*, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, Universidad de Valladolid 2002
- Carlos Bordóns Alba, *“Tecnología del Control Sensores Acondicionamiento de señal Actuadores”*, Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática Septiembre 2000
- Antonio Robles Álvarez, *“Introducción a la automatización de procesos”*, Regulación Automática II
- José Luis Henríquez Miranda y Luis Alonso Aguirre López, *“Piping design: the fundamentals”*, LaGeo S.A. de C.V. EL SALVADOR
- Sverrir Thorhallsson, *“Geothermal well operation and maintenance”*, Íslenskar orkurannsóknir (Iceland Geosurvey), Engineering Dept. Grensásvegur 9,
- Manuel Andrés Vargas Evans, *“Sistema de monitoreo y control remoto para una central micro-hidráulica”*, memoria para optar al título de ingeniero civil electricista, Santiago de Chile agosto 2008

6.2 DOCUMENTOS TÉCNICOS

- *NEMA Enclosure Types from NEMA 250-200*
- *Ewon eFive 100 User manual*
- *Ewon eFive 100 Datasheet*
- *Ewon Flexy 200 Datasheet*
- *Ewon Flexy 200 User manual*
- *eFive - Establish a VPN client connection from my PC | KB-0099-00 rev 1.0*
- *Rosemount Annubar Flowmeter Series 3051SFA Data Sheet*
- *Rosemount 3095 MultiVariable Mass Flow Transmitter and Flowmeters Data Sheet*
- *Rosemount 3051S Series of Instrumentation Scalable pressure, flow, and level solutions Data Sheet*
- *Rosemount 644 Temperature Transmitter Data Sheet*
- *Progea Movicon Web Client Reference Guide versión 11.3 edición 2012*

6.3 PÁGINAS DE INTERNET

- http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~23005153/d_tecnologia/bajables/2%20bachillerato/TRANSDUCTORES,%20SENSORES%20Y%20CAPTADORES.pdf, revisión 7 octubre 2015
- http://www.instrusensores.com/index.php?option=com_content&view=article&id=78&Itemid=147 revisión 7 octubre 2015
- <http://www.unet.edu.ve/~ielectro/sensores.pdf> revisión 8 octubre 2015
- <http://materias.fi.uba.ar/7609/material/S0304MedicionPresion1.pdf> ,revisión 8 de octubre 2015
- <http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf> revisión 10 octubre 2015 revisión de 8 octubre 2015
- http://www.vipa.es/uploads/tx_sbdownloader/2012_12_VIPA_Broschuere_300S_ENG_web_01.pdf, revisión 22 de octubre 2015

- <http://w3.siemens.com/mcems/human-machine-interface/en/visualization-software/scada/wincc-options/wincc-server/pages/default.aspx>, revisión 23 de octubre 2015
- <http://ewon.biz/support/product/egrabit-getting-started/getting-started-5>, revisión 23 octubre 2015