

**IV CONFERENCIA VENEZOLANA
DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL
Y SISTEMAS EXPERTOS**

CARACAS, JULIO 1991

DIANA

**SISTEMA EXPERTO PARA EL DIAGNOSTICO DE
FALLAS EN MINIPLANTAS COMPRESORAS DE GAS**

Rafael Ramírez, Daniel Martínez, Luis Lugo, Mike Backhurst.

PALABRAS CLAVES:

- Sistema Experto
- Diagnóstico de Fallas
- Inteligencia Artificial Aplicada
- Miniplantas de Compresión de Gas
- Sistema Experto Aplicado a Mantenimiento

RESUMEN

DIANA es un sistema experto que tiene como objetivo apoyar al personal de mantenimiento y operación de las miniplantas en la labor de diagnóstico y corrección de fallas. El sistema proporciona asesoría experta en relación con las fallas asociadas a 63 alarmas, secuencia de arranque y desviaciones en el comportamiento esperado de los equipos mayores.

En Lagoven S.A. existen en la actualidad 13 miniplantas, distribuidas en el lago de Maracaibo. Estas miniplantas, junto con las plantas de conservación, son las encargadas de comprimir el gas que se obtiene del crudo extraído de los yacimientos. Este gas, una vez comprimido, es liberado para su uso como gas de levantamiento artificial, para la generación de electricidad, y como gas combustible en las refinerías y en las plantas petroquímicas.

Con la incorporación de *DIANA* se espera optimar la labor de mantenimiento disminuyendo el tiempo requerido para efectuar un diagnóstico preciso de las fallas, reduciendo los tiempos de paro y disminuyendo el número de arranques necesarios para reestablecer las condiciones operativas de la miniplanta después de una falla en las mismas; todo esto enmarcado dentro de una política de mejoramiento constante de la calidad del trabajo.

I. INTRODUCCION

Desde tiempos remotos el hombre ha venido creando herramientas cada vez más poderosas para multiplicar sus habilidades y sus limitadas capacidades físicas; sin embargo, las herramientas de trabajo desarrolladas hasta hace poco siempre se habían caracterizado por seguir el mismo patrón de apoyo al hombre en la realización de tareas que requieren cierto esfuerzo físico o habilidad manual. En estos últimos años, sin embargo, se ha dado un salto tecnológico muy significativo con el desarrollo y la comercialización de productos basados en la Inteligencia Artificial. Entre estos productos, los que mayor impacto han causado a nivel de reducción de costos e incremento de productividad son los denominados sistemas expertos o sistemas basados en conocimiento (*Knowledge Based Systems*).

Con el surgimiento de la tecnología de los sistemas expertos se ha logrado poner al alcance de la industria y del comercio, herramientas que en lugar de automatizar el esfuerzo físico, buscan multiplicar la capacidad de razonamiento del hombre, preservando en medios automatizados el recurso más valioso con que cuenta toda organización: la experiencia y el conocimiento del negocio.

En Lagoven S.A., conscientes de la importancia estratégica que reviste esta tecnología se ha dado inicio a algunos proyectos en esta área. Entre estos proyectos cabe destacar el desarrollo de *DIANA* (*DIAGNóstico Automatizado*), un sistema experto para el diagnóstico de fallas en miniplantas de compresión de gas.

El presente trabajo resume los aspectos técnicos y metodológicos relacionados con el desarrollo de esta aplicación, la aplicabilidad de esta tecnología en nuestras operaciones y la experiencia ganada en la organización de un proyecto de esta naturaleza.

II. FUNCION DE LAS MINIPLANTAS EN EL CONTEXTO OPERATIVO DE LAGOVEN

La función básica de esta empresa es la producción de crudo, tanto para la exportación como para el consumo interno. La capacidad instalada de producción que posee actualmente Lagoven representa el 45% de la capacidad instalada nacional, lo que la sitúa como la primera productora de petróleo del país. Dentro de este contexto, las miniplantas son las responsables del 25% de la producción.

Para entender mejor el rol que juegan las miniplantas dentro del proceso productivo Lagoven, es necesario revisar algunos aspectos técnicos relacionados con la producción de crudo y gas.

El crudo extraído de los yacimientos es enviado a las estaciones de flujo, en donde se somete a diversos procesos para separar el gas asociado. Este gas (el cual es una mezcla de gas asociado y gas reciclado usado en la producción por "gas-lift"), es enviado, a través de un vasto sistema de líneas, a las plantas y miniplantas de conservación, en donde se efectúa la compresión y la extracción de LPG (gas líquido del petróleo).

Lagoven posee tres tipos de plantas de compresión de gas:

Las viejas plantas de conservación, las cuales usan una serie de compresores, accionada por una turbina industrial a gas. Estas plantas tienen una alta capacidad de compresión y las mismas tienen personal asignado en sitio las 24 horas del día. Actualmente existen cuatro de estas plantas en el lago.

Las nuevas plantas modulares, las cuales tienen dos o más unidades con sus compresores montados en línea junto con la turbina y el generador de gas. Estas plantas tienen personal asignado permanentemente en sitio y su capacidad de compresión es inferior al de las grandes plantas. Lagoven dispone de tres de estas plantas en la actualidad.

Por último tenemos las miniplantas, las cuales poseen dos o tres compresores montados en línea en conjunto con la turbina de potencia y el generador de gas, el cual es un derivado de aviación. Estas miniplantas tienen una capacidad de compresión inferior a las plantas modulares, sin embargo el número de miniplantas instaladas es superior a los tipos de plantas anteriores (13 en total) y las mismas no poseen personal asignado permanentemente en sitio.

La importancia de estas miniplantas radica en que el gas que comprimen es usado fundamentalmente para la recuperación de crudo mediante levantamiento artificial "gas-lift", de allí que las mismas deban operar continuamente, excepto cuando haya algún paro programado.

III. DESCRIPCION DE LAS MINIPLANTAS

Las miniplantas están constituidas por un conjunto de sistemas entre los cuales podemos mencionar:

- a.- Sistema Motor Principal.
- b.- Compresores.
- c.- Sistema de Gas Combustible.
- d.- Drenaje de Condensados.
- e.- Agua de Enfriamiento.
- f.- Aire de Instrumentos y Servicios.
- g.- Control Anti-Surge.
- h.- Sistema de Lubricación.
- i.- Sistema de Aceite de Sello.
- j.- Control de Velocidad, etc.

El sistema motor principal es el corazón de la miniplanta. Este sistema le proporciona la energía necesaria a los compresores para que puedan realizar su trabajo de compresión del gas natural (ver Figura 1). El mismo está constituido por una cámara de succión, un generador a gas, un generador a gas (turbina de acción) y una turbina de potencia (turbina de reacción).

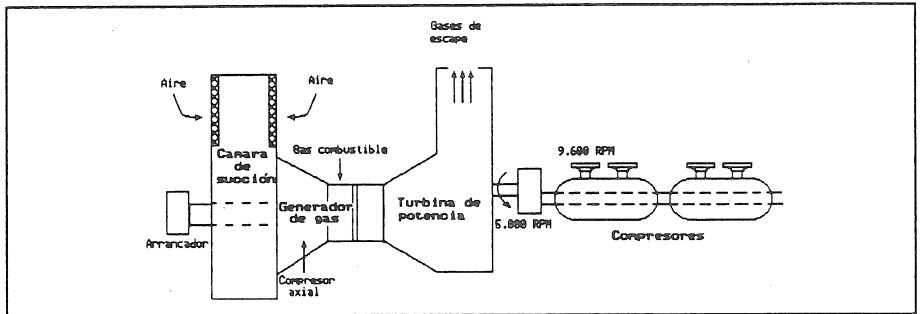


Figura 1. Sistema Motor de la Miniplanta

La cámara toma el aire del medio ambiente y lo filtra. Este aire limpio es succionado posteriormente por el generador a gas. Aquí en el generador, el cual es un derivado de aviación (jet), se hace pasar el aire por un compresor axial, se mezcla con gas combustible y se quema en los combustores. La fuerza expansiva del gas caliente (1.150 °F) producido por el jet hace girar la turbina de potencia a una velocidad promedio de 5.000 RPM. Finalmente, la turbina de potencia está acoplada al tren de compresores mediante una caja de engranajes, la cual multiplica la velocidad proporcionada por la turbina de potencia llevándola a 9.600 RPM aproximadamente.

Al presentarse una condición operacional que ponga en peligro los equipos mayores, fundamentalmente los equipos del sistema motor principal, inmediatamente los sistemas de vigilancia inician la secuencia de paro de la miniplanta. Hacia tierra es enviada una señal por el sistema de telemetría indicando que ha ocurrido un paro en determinada miniplanta, sin especificar las razones del mismo. En el panel de alarmas del cuarto de control queda encendida (destellando) la luz indicadora de la alarma que causó el paro.

IV. DIAGNOSTICO Y CORRECCION DE FALLAS

En las miniplantas no existe personal permanente en el sitio. El trabajo de mantenimiento es realizado por tres cuadrillas a cada una de las cuales se les asigna determinadas miniplantas para su inspección. Estas cuadrillas están conformadas por un electricista, un instrumentista y un operador. La complejidad de los sistemas existentes en la miniplanta y las múltiples interrelaciones entre los mismos, hace que la labor de diagnóstico exija un amplio conocimiento y experiencia en la miniplanta para que la misma sea efectiva. Así, por ejemplo, una falla causada por la alarma de "sobrevelocidad de la turbina de potencia paro electrónico" puede ser ocasionada por instrumentos de control (caja EGM, válvula Woodward, SPEC200, monitor

de velocidad), problemas mecánicos (pickup magnéticos, mecanismo de sobrevelocidad, válvula mariposa), problemas eléctricos (relés 12TX y 12T1X, problemas en el cableado), problemas electrónicos (tarjeta del panel de alarmas), etc. Si consideramos que en la miniplanta existen 63 alarmas diferentes, podremos tener una idea de la variedad del conocimiento requerido en el diagnóstico de fallas. Ahora bien, mucho de este conocimiento es de carácter heurístico: reglas del buen juicio adquiridas con los muchos años de trabajo ininterrumpido en las miniplantas. El resto es información que está dispersa en diferentes manuales técnicos y planos, tanto eléctricos como de instalación, los cuales usualmente no están a la disposición del personal de mantenimiento en la miniplanta.

Por otro lado, aparte del posible impacto en la producción de crudo, una falla repetitiva en la miniplanta trae como consecuencia que sea necesario efectuar varios arranques de la misma. Cada arranque de estos impone sobre los equipos mayores, especialmente el generador de gas y la turbina de potencia, una sobrecarga por choque térmico, lo cual hace que disminuya su vida útil. La primera etapa de la turbina de potencia, por ejemplo, tiene una vida útil estimada equivalente a unos 500 arranques. Después de este período es necesario efectuar reparaciones mayores en la misma lo cual resulta bastante costoso debido al reemplazo de componentes importados y al tiempo de paro de la miniplanta.

V. GENESIS DE DIANA

A finales del año 1988, la organización de Computación y Sistemas de Lagoen decide llevar adelante un proyecto de desarrollo de un prototipo en el área de sistemas expertos, con el objeto de evaluar la factibilidad de aplicación de este tipo de tecnología en las operaciones de la empresa. Después de efectuar una serie de entrevistas a los supervisores de las diferentes áreas operacionales de la empresa, se lograron detectar varias aplicaciones potenciales. Entre todas estas surgen las miniplantas como el área idónea para iniciar un proyecto piloto de sistema experto.

Las razones para la selección de las miniplantas para el desarrollo de un sistema experto fueron las siguientes:

1. La tarea de diagnóstico es realizada por un equipo de trabajo multidisciplinario. Esta situación dificultaba el desarrollo de un procedimiento estándar para el diagnóstico de fallas.
2. La pericia se requiere en diversos sitios. Existen 13 miniplantas localizadas en diferentes áreas del lago.
3. Las miniplantas operan las 24 horas del día.
4. La experiencia promedio del personal que labora directamente en los recorridos de inspección de las miniplantas es relativamente bajo (3.5 años). Se dispone de personal con vasta experiencia; sin embargo, su número es insuficiente para cubrir las necesidades existentes.

5. Existe un alto beneficio económico en la reducción del tiempo de paro de las miniplantas. Aparte de los ahorros generados por el mantenimiento de los niveles de producción programados, la reducción de los costos de mantenimiento por sí sola justifica el costo de incorporar nuevas tecnologías que alarguen la vida útil del equipo rotativo instalado en las miniplantas. El reemplazo total de una turbina de potencia le cuesta a Lagoven un monto en el orden de 62.5 MMBS. Una reparación mayor puede costar entre 12.5 y 42.5 MMBS.

Por todas estas razones se decidió llevar adelante el proyecto de un sistema experto que le ayudara al personal de mantenimiento a optimizar la labor de diagnóstico y corrección de fallas. Para ello se desarrolló inicialmente un prototipo del sistema.

VI. DESARROLLO DEL PROTOTIPO

Como alcance del prototipo se seleccionaron las alarmas correspondientes al control de velocidad de la miniplanta (8 alarmas en total), lo cual era una muestra representativa del conjunto de alarmas. Para el desarrollo del prototipo se utilizó un "shell" (software para el desarrollo de sistemas expertos) sencillo y de bajo costo[1].

Previo al inicio del proyecto se conformó un equipo de trabajo integrado por dos ingenieros del conocimiento y tres expertos pertenecientes a las organizaciones de Mantenimiento y Construcción, Servicios Eléctricos y Plantas de Conservación respectivamente. De esta manera se integró en el proyecto a un representante de cada una de las organizaciones involucradas en la inspección y el mantenimiento de las miniplantas.

A medida que se obtuvieron los primeros resultados con la codificación de la base del conocimiento se pudo detectar la necesidad de soportar el conocimiento del sistema con información de tipo gráfico. De esta manera el usuario estaría en capacidad de reconocer inmediatamente los equipos a revisar y determinar su exacta ubicación dentro de la miniplanta, agilizando así la labor de diagnóstico.

Durante el desarrollo del prototipo se utilizó un microcomputador portátil. Esto facilitó implantar una forma de trabajo en la cual el conocimiento aportado por los expertos en una determinada sesión de trabajo ya estaba disponible en el microcomputador para la siguiente sesión. La interacción inmediata de los expertos con el prototipo permitió obtener un "feedback" oportuno y mejorar el conocimiento aportado en las sesiones anteriores.

Este método de trabajo, el cual se conoce con el nombre de "rapid prototyping", ayudó a mantener el interés y la motivación de los expertos, elemento de suma importancia para el éxito de un proyecto de esta naturaleza.

Como fuente para el desarrollo de los gráficos se usaron los planos eléctricos y los diagramas esquemáticos existentes en los manuales de los equipos.

Una vez completado el desarrollo del prototipo se hizo una serie de presentaciones del mismo a los niveles supervisorios con el objeto de divulgar la tecnología y obtener aprobación para continuar con el desarrollo del sistema.

VII. DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO

Para el desarrollo del sistema se seleccionó una herramienta con capacidad para representar el conocimiento mediante reglas y encuadres (frames) y con facilidades para incorporar gráficos e imágenes activas.

A. Metodología de Trabajo

En esta fase del proyecto se continuó usando la metodología de "rapid prototyping", con la variante de efectuar una revisión más completa de los árboles de inferencias antes de codificarlos en el sistema. El análisis de cada alarma se iniciaba haciendo una tormenta de ideas, a objeto de determinar todos los posibles orígenes de la falla en cuestión. Estos orígenes o causas de la falla eran posteriormente clasificados considerando aspectos tales como:

1. Probabilidad de ocurrencia de la falla.
2. Tiempo requerido para efectuar la inspección del equipo.
3. Posibilidad de hacer inspección visual.
4. Necesidad de utilizar equipo sofisticado para el diagnóstico.

De esta manera se organizó, para cada alarma, la secuencia óptima de verificación de los equipos, aquella que permitiera detectar el origen de las fallas con un mínimo de costo y tiempo.

Uno de los primeros hechos que se trata de determinar en cada una de las alarmas es si la misma fue real o fue provocada por una falla en los sistemas de vigilancia de la miniplanta. Así, por ejemplo, al iniciar una consulta de la alarma "Sobrevelocidad de la Turbina de Potencia", el sistema le pide al operador que revise, en el cuarto de control, el registrador de la velocidad de la turbina, a fin de determinar si hubo alguna desviación de la velocidad por encima de lo normal. Para ello el sistema le proporciona al operador una velocidad de referencia.

Una vez desarrollados y revisados los árboles de inferencia, se procedió a evaluar los requerimientos de información gráfica. A diferencia del prototipo, en el cual se utilizaron los manuales de los equipos para obtener los gráficos, durante el desarrollo del sistema experto se recopiló directamente esta información en las miniplantas. Para ello se tomaron fotografías de los equipos e instrumentos siendo estos desarrollados e incorporados posteriormente en el sistema haciendo uso de un paquete de software de graficación[2].

B. Incorporación de Funciones Ad-Hoc

Muchos de los equipos de la miniplanta, especialmente los instrumentos de control requieren, para su verificación, de un procedimiento detallado de chequeo y calibración. Así por ejemplo, la verificación de la caja EGM, la cual es un instrumento que toma parte en el control de velocidad de las turbinas, requiere

de un procedimiento de calibración de unos doce pasos, los cuales, en muchos casos, es necesario repetir hasta lograr que el instrumento funcione en la forma esperada. Si esta información estuviera incorporada directamente en las reglas del sistema la base del conocimiento se hubiese complicado debido a la necesidad de incorporar lazos de control. Por otro lado, el usuario hubiese tenido que interactuar mucho más con el sistema, al efectuar procedimientos de calibración. La solución a este problema consistió en incorporar a la base de conocimientos una función o subrutina en LISP (Lenguaje de Programación), la cual se encarga de mostrar la secuencia de gráficos asociada con los procedimientos. De esta manera el usuario puede ir hacia adelante o hacia atrás en el procedimiento según su necesidad particular de información, sin obligarlo a interactuar muchas veces con el sistema.

El "shell" utilizado permite incorporar a la base de conocimientos funciones desarrolladas en casa, aumentando de esta manera la potencialidad y flexibilidad del sistema[3]-[4].

VIII. ESTRUCTURA DE LA BASE DEL CONOCIMIENTO

El sistema *DIANA* está conformado por tres grandes módulos:

- 1.- Alarmas de paro y auxiliares,
- 2.- Secuencia de arranque de la miniplanta y,
- 3.- Evaluación de parámetros de operación.

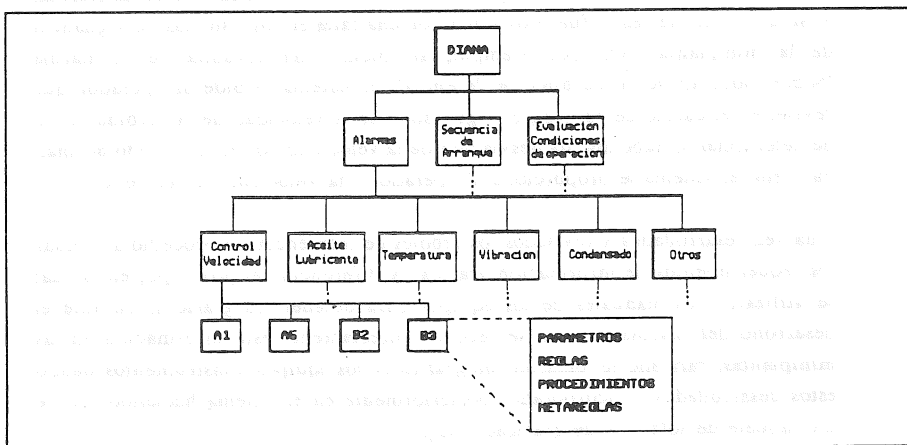


Figura 2. Esquema jerárquico de encuadres

El Módulo de Alarmas tiene por objeto apoyar el diagnóstico una vez que la miniplanta se ha parado debido a una falla o cuando existe alguna anomalía evidente que debe ser atendida, sin que por ello se haya llegado a parar la miniplanta. La secuencia de arranque brinda apoyo en el diagnóstico de las fallas que se pueden presentar durante las diferentes etapas por las que tiene que pasar la miniplanta desde que se pulsa el botón de arranque hasta

que empieza a comprimir gas. La evaluación de parámetros de operación permite hacer un análisis, en cualquier momento, del comportamiento de los parámetros para determinar posibles desviaciones o degradaciones del comportamiento esperado de los equipos durante la operación normal de la miniplanta.

El conocimiento en el sistema experto ha sido estructurado mediante encuadres (frames), reglas de producción, parámetros y meta-reglas.

A. Encuadres

Los encuadres permiten dividir y estructurar la base del conocimiento en forma jerárquica, especie de módulos de programas. En *DIANA*, a cada una de las alarmas se le asoció un encuadre particular. Posteriormente todas aquellas alarmas relacionadas entre sí fueron agrupadas a su vez dentro de un encuadre común, así, por ejemplo, todas las alarmas asociadas con velocidad fueron agrupadas bajo un encuadre común denominado "velocidad" (Ver Figura 2). De igual manera se hizo con las alarmas de temperatura, vibración, aceite lubricante, etc. Esta organización del sistema permitió definir parámetros comunes a diferentes encuadres una sola vez, reduciendo de esta manera la posibilidad de inconsistencias en la base del conocimiento.

B. Parámetros

Los parámetros, por su parte, son estructuras que identifican o contienen trozos de información que el sistema experto usa para llegar a una conclusión. Así, por ejemplo, la *PRESION_DE_SUCCION* es uno de los parámetros usado por *DIANA* para tratar de determinar las causas de una sobrevelocidad en la turbina de potencia.

C. Reglas de Producción

Las reglas de producción, o simplemente reglas como también se les conoce, son lo que podríamos denominar las moléculas del conocimiento. Cada regla en la base de conocimiento consiste de una premisa (IF) y de una conclusión (THEN). La parte "IF" lista una serie ordenada de condiciones asociadas con los diferentes parámetros o elementos de la miniplanta que deben ser verificadas por el usuario. La parte "THEN" tiene las conclusiones y recomendaciones que especifican las tareas que debe emprender el usuario para corregir la falla que presenta la miniplanta.

La base de conocimientos de *DIANA* contiene alrededor de 1400 reglas de producción en estos momentos.

D. Meta-reglas

Por último, las meta-reglas son reglas que permiten incorporar cierta información de control para optimizar la ejecución del sistema. Las mismas son de particular utilidad en el caso de tener grandes bases de conocimiento y sea necesario mejor

la eficiencia de las mismas. En el caso de *DIANA*, las mismas fueron utilizadas basicamente para ejecutar las funciones desarrolladas en lenguaje LISP que muestran los procedimientos de verificación de los equipos.

IX. INTERFASE CON EL USUARIO

La interacción del usuario con el sistema es muy amigable. Para lograr esto se le incorporó al sistema una gran cantidad de gráficos a color con los equipos de la miniplanta. Así, por ejemplo, al empezar un sesión de trabajo, el sistema le muestra al operador el gráfico del panel de alarmas que existe en el cuarto de control. El usuario puede en este momento seleccionar la alarma con la que desea trabajar colocando el cursor sobre la alarma correspondiente en dicho gráfico.

El uso de estos gráficos ha demostrado ser de gran utilidad, especialmente cuando los equipos a verificar son difíciles de ubicar dentro de la miniplanta o cuando la verificación se tenga que hacer sobre algún dispositivo interno de los equipos. En este último caso los gráficos tipo "corte" facilitaron mucho la explicación del procedimiento a seguir.

Durante la interacción con *DIANA*, el usuario está en capacidad de modificar la línea de razonamiento para probar diferentes alternativas en un momento dado sin necesidad de suministrarle nuevamente todos los parámetros al sistema. Para ello el usuario solamente tiene que variar aquellos parámetros que desea probar agilizando de esta manera el proceso de consult: El sistema.

Por último, los mensajes del sistema fueron traducidos del inglés al español, para facilitar el uso de *DIANA* por parte del personal de mantenimiento de las miniplantas.

X. IMPLANTACION DEL SISTEMA EXPERTO

Para la implantación del sistema se evaluaron las siguientes alternativas:

- 1.- Microcomputador en tierra.
- 2.- Microcomputador portátil.
- 3.- Microcomputador en la miniplanta.

La primera alternativa implica la instalación de una microcomputadora convencional en las oficinas de los supervisores. En caso de una falla en la miniplanta se establece contacto por radio con el supervisor de guardia quien desde tierra guía el diagnóstico haciendo uso del sistema.

En la segunda alternativa se le asigna a cada cuadrilla una microcomputadora portátil con el sistema experto. En este caso, el personal tiene acceso directo al sistema.

La tercera alternativa implica la instalación de un microcomputador industrial en cada una de las miniplantas. Estos microcomputadores industriales son máquinas compatibles con los microcomputadores personales pero diseñados para operar en condiciones ambientales extremas.

La estrategia de implantación finalmente acordada consiste en la implantación del sistema en dos fases. En una primera fase se ha instalado el sistema en tierra. De esta manera el supervisor de guardia dispone de una herramienta de apoyo cuando así lo requiera. Además el personal de mantenimiento se irá entrenando en el uso del sistema. Para este año esta prevista la completación de la segunda fase, la cual contempla la instalación del sistema en micros industriales en las miniplantas y el desarrollo de un módulo de diagnóstico en tiempo real en tierra acoplado al sistema SCADA. El módulo "standalone" de DIANA continuará apoyando al personal de mantenimiento en el diagnóstico de aquellos equipos que no estén acoplados al sistema SCADA, mientras que el módulo en tiempo real permitirá evaluar el comportamiento en el tiempo de los parametros de operación de la miniplanta, con el objeto de detectar en forma oportuna desviaciones en el comportamiento de los equipos mayores: compresores, turbina de potencia y generador de gas.

XI. BENEFICIOS DEL SISTEMA

Entre los beneficios esperados de *DIANA* tenemos:

- 1.- Reducción del tiempo de paro y de los arranques de las miniplantas.
- 2.- Disminución de las reparaciones de los equipos mayores.
- 3.- Mayor flexibilidad del sistema de gas lift.
- 4.- Mantenimiento de la experticia en la organización.
- 5.- Entrenamiento acelerado del nuevo personal.
- 6.- Mejor uso del tiempo de los expertos.
- 7.- Mantenimiento de una historia confiable de fallas.
- 8.- Mejoramiento constante en la calidad del trabajo.

XII. CONCLUSIONES

1. El uso de un sistema experto en áreas que requieren un conocimiento multidisciplinario es de suma utilidad para estandarizar los procedimientos de diagnóstico y corrección de fallas.
2. La metodología de "rapid prototyping" o desarrollo incremental es muy apropiada para facilitar la comunicación con los expertos y para obtener un feedback oportuno de los mismos. Esto ayuda además a mantener la motivación de los expertos y a lograr una participación más activa de los mismos en el desarrollo del sistema.

XIII. RECOMENDACIONES

1. antes de iniciar un proyecto mayor en el área de sistemas expertos, es conveniente desarrollar un prototipo para determinar la factibilidad y los alcances del mismo y cual es el hardware y el software más apropiados para el desarrollo del sistema.
2. Para el desarrollo del prototipo es recomendable usar un shell sencillo y de bajo costo especialmente cuando se vaya a desarrollar un primer sistema experto en la organización y no exista experiencia previa en la materia.
3. Es recomendable diseñar una interfase de usuario lo más amigable posible; preferiblemente de tipo gráfico.
4. Antes de iniciar un proyecto de sistema experto es conveniente hacer un estudio para determinar las áreas potenciales con mayor rentabilidad y probabilidad de éxito en la aplicación de esta tecnología dentro de la empresa.
5. Es conveniente utilizar herramientas que permitan la integración a los sistemas de información existentes y la conexión a sistemas de adquisición de datos en tiempo real.

XIV. ANEXOS

DIAGNOSTICO DE FALLAS EN MINIPLANTAS COOPER-BESSEMER V1.0

**INDIQUE CUAL ES LA ALARMA QUE
ESTA DESTELLANDO...**

(Coloque el cursor sobre la alarma y presione ENTER)

A1	A2	A3	A4	A5+	A6	A7	A8	A9
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9

Figura 3

Inicio de una consulta en *DIANA*.

DIAGNOSTICO DE FALLAS EN MINIPLANTAS COOPER-BESSEMER V1.0

¿DESEA TRABAJAR CON LA ALARMA A5 ?
(SOBREVELOCIDAD TURBINA DE POTENCIA PARO ELECTRONICO)

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9

PARADA5

Ingreso S para SI: N para NO

Figura 4

Pantalla de Confirmación.

DIAGNOSTICO DE FALLAS EN MINIPLANTAS COOPER-BESSEMER V1.0

REVISE EL TRAZO F EN EL REGISTRO A2 DEL MOD-30 Y VERIFIQUE SI HUBO AUMENTO DE VELOCIDAD FUERA DE LA OPERACION NORMAL...

MOD30A23

¿ FUE REAL LA SOBREVELOCIDAD ?

SI NO

Figura 5
Revisión de Parámetro de Operación.

DIAGNOSTICO DE FALLAS EN MINIPLANTAS COOPER-BESSEMER V1.0

ES COMUN PARO ELECTRICO CON EL MECANICO..?

SI NO

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9

Figura 6
Verificación de Alarma Asociada.

DIAGNOSTICO DE FALLAS EN MINIPLANTAS COOPER-BESSEMER V1.0

REVISE EL CONTACTO 14T0 EN EL MECANISMO DE SOBREVELOCIDAD..



Pulse la tecla "+" para seguir el procedimiento...

PRO14T0

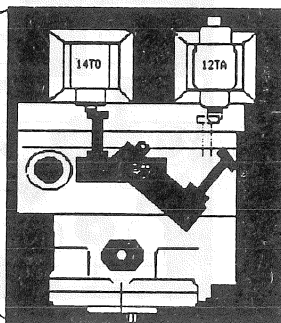
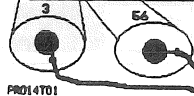
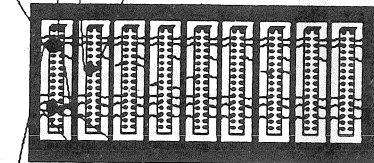


Figura 7

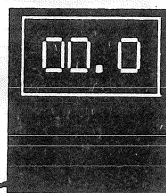
Diagnóstico de Dispositivo de Control.

DIAGNOSTICO DE FALLAS EN MINIPLANTAS COOPER-BESSEMER V1.0



PRO14T01

1. Haga puente entre los terminales 4 y 117 para quitar el bloqueo al contacto 14T0.
2. Coloque un voltímetro entre los terminales 3 y 56 para 0 Vdc.



PULSE "+" PARA AVANZAR "-" PARA REGRESAR

1/2

Figura 8

Procedimiento de Revisión (Paso 1).

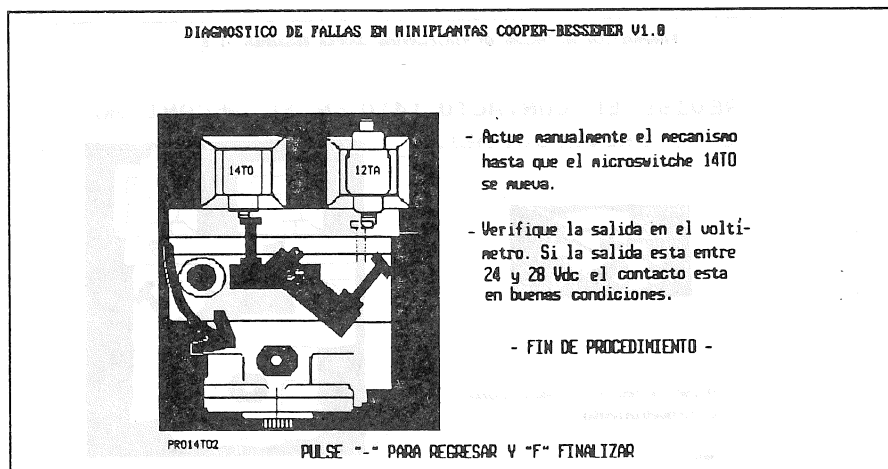


Figura 9
Procedimiento de Revisión (paso 2).

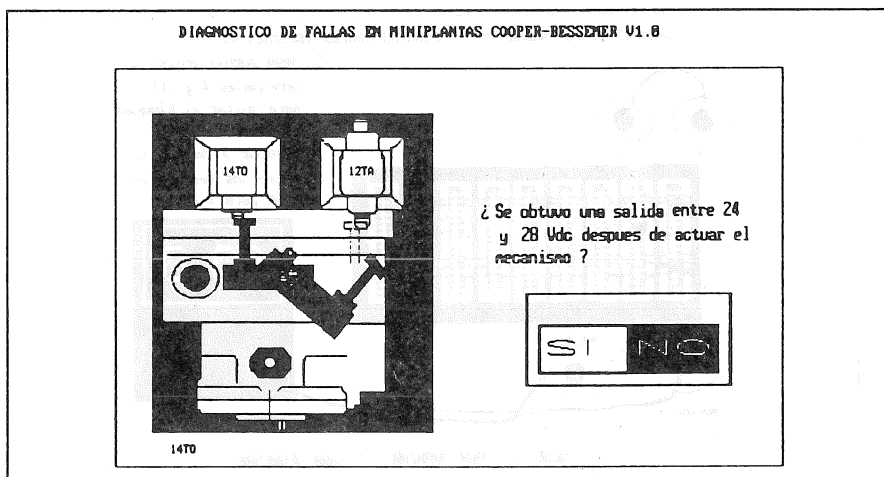


Figura 10
Confirmación de Diagnóstico.

RECOMENDACION :

Se ha determinado que la causa del paro es una falla en el microswitch de contacto 1410 en el mecanismo de sobrevelocidad. Proceda a su reemplazo....

Las características del microswitch son las siguientes:

- Limited switch Square D
- Class 9007
- Type C0616

c1470

Presione ENTER para continuar.

Figura 11

Fin de Consulta en *DIANA*.

REFERENCIAS

- 1.- Level Five Research, Inc., Insight II Plus Reference Manual.
- 2.- ZSoft Corporation, Pc Paintbrush Reference Manual, Marietta, Georgia 30067.
- 3.- Texas Instruments Inc., Personal Consultant Plus Refence Manual, Publishing Center, Data Systems Group, Austin, Texas 1988: Chapter 2, p.3.
- 4.- Texas Instruments Inc., PC Scheme: A simple, modern LISP, Austin, Texas, 1987.
- 5.- Paul Harmon, Rex Maus, William Morrissey, Expert Systems Tools and Applications, John Wiley & Sons Inc., New York, 1988.
- 6.- Karen L. Mc Graw, Karan Harbison-Briggs, Prentice Hall, Englewood cliffs, Knowledge Acquisition Principles and Guidelines, New Jersey, 1989.
- 7.- John Walters, Norman Nielsen, Crafting Knowledge Based Systems: Expert Systems made realistic, John Wiley & Sons Inc., New York 1988.
- 8.- Edward Feigenbaum, Pamela Mc Corduck, H. Penny Nii, The Rise of the Expert Company, Times Books, New York, 1988.