

OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO: PASO CLAVE PARA LA MEJORA DEL BENEFICIO



F. JAVIER GONZÁLEZ PINDADO
Head of Operations. Performance Monitoring
Systems
TECNATOM



IRENE RAMÍREZ MARTÍNEZ
O&M Digital Solutions commercial Manager -
TecOS suite
TECNATOM



TecOS SOLCEP [Fuente: Tecnatom].

Es conocido que en la operación de las centrales nucleares prima la seguridad por encima de cualquier otra consideración, sin embargo, no podemos olvidar mantener tanto la máxima potencia eléctrica posible como el máximo beneficio económico asociado a la producción. Por ello mejorar o mantener la eficiencia, y por tanto también la potencia máxima alcanzable, es uno de los principales retos de esta era para las centrales eléctricas, y especialmente las centrales nucleares que operan habitualmente a máxima carga.

En este punto es donde tienen cabida las herramientas y modelos de monitorización del rendimiento. Estas suponen el mejor apoyo a las centrales para la identificación y cuantificación incluso de pequeñas desviaciones y para el diagnóstico de sus causas. La información suministrada por estas herramientas a los profesionales de las centrales y de los centros de monitorización sirve para tomar las mejores

decisiones en cuanto al mantenimiento de equipos y optimización de la operación.

Teniendo esto en cuenta, las centrales eléctricas que pretenden prolongar sus vidas más allá de su vida de diseño pueden aprovechar la identificación y cuantificación de las ineficiencias en los equipos para abordar con una mayor información las inversiones necesarias y el retorno que estas les pueden generar.

Como fruto de los objetivos que se esperan de una herramienta de monitorización del rendimiento, aplicables a cualquier tecnología de generación eléctrica y las características citadas en el presente artículo, en el año 2000 se desarrolló la herramienta de monitorización TecOS SOLCEP, actualmente integrada en la "suite" TecOS, set integrado de soluciones de apoyo a la operación y gestión de activos de Tecnatom, especialmente diseñado para gestionar los activos del sector energético y de generación.

La aplicación TecOS SOLCEP, que ya ha sido implementada en más de 50 plantas de diversas tecnologías, ha sido ya adaptada para la monitorización integral del rendimiento de una central PWR y de todos sus equipos. Esta se basa en el concepto implícito “Mantenimiento basado en beneficios” (BbM), como complemento de las estrategias de mantenimiento habituales. El modelo de monitorización aporta también, como novedad adicional, la funcionalidad de diagnóstico asistido de equipos, que permite identificar las causas últimas de una determinada desviación de rendimiento en condensadores, torres de refrigeración, cambiadores de calor y bombas.

Además, siguiendo las tendencias actuales de los entornos digitales y el análisis de datos, el modelo se presenta con una interfaz basada en las mejores prácticas de ingeniería de factores humanos, pudiendo ser los datos e indicadores calculados dentro de TecOS SOLCEP compartidos o transmitidos a cualquier otra aplicación dentro de una estructura informática preestablecida.

Finalmente, este artículo pretende plasmar la opinión de los autores sobre las características y funcionalidades que debe poseer una herramienta de monitorización y diagnóstico de rendimientos en el entorno digital actual. Esta opinión está basada en años de experiencia en el seguimiento y diagnóstico de las desviaciones de rendimiento en centrales de generación eléctrica y en el desarrollo de soluciones informáticas y de modelos de simulación. Por ello se va a incidir en las siguientes tres características principales:

1. Propósito de una herramienta de monitorización del rendimiento.
2. Diagnóstico asistido.
3. Entorno digital.

HERRAMIENTA MONITORIZACIÓN TecOS SOLCEP: MANTENIMIENTO BASADO EN BENEFICIOS

TecOS SOLCEP es una herramienta de *software* para monitorizar, diagnosticar y cuantificar las desviaciones de rendimiento en las centrales eléctricas. Por otra parte, su adaptación a cada unidad generadora y su alcance detallado hace de un modelo de TecOS SOLCEP un gemelo digital del estado de rendimiento de una planta de producción de energía. La metodología, definición de los indicadores y nomenclatura sigue los estándares ASME. Aunque en un principio fue creado para ser aplicado en las plantas de carbón, su alcance se ha extendido a los ciclos combinados, centrales termosolares y plantas nucleares. Los algoritmos empleados para calcular el impacto de una determinada desviación en la potencia máxima son una mezcla de modelos paramétricos obtenidos con datos reales y modelos de simulación para los subsistemas más complejos como condensadores y torres de refrigeración.

El concepto implícito en el modelo de monitorización TecOS SOLCEP es el de “Mantenimiento basado en beneficios” (BbM), como complemento de las estrategias de mantenimiento habituales: por tiempo o preventivo, por condición y predictivo. Estas tres estrategias de mantenimiento están orientadas a obtener los objetivos de seguridad y fiabilidad compartidos por todas las tecnologías de generación de

electricidad; entendiendo la seguridad como la de las personas, dentro y fuera de la planta, el medio ambiente y los equipos, en este orden. BbM está orientado a obtener el máximo beneficio económico mediante el cuidado de la eficiencia, que históricamente no ha sido una prioridad de las plantas pero que no tiene por qué ser contrario ni incompatible con los principios anteriores.

Las herramientas de monitorización, junto con la aplicación del BbM, deben agregar dos funcionalidades adicionales: primero, la ayuda en la toma de decisiones de optimización operacional, lo que es particularmente importante para las plantas que operan a cargas variables, con diferentes configuraciones y combustibles, o que paran y arrancan frecuentemente; y segundo el diagnóstico asistido, para ayudar a identificar las causas últimas de una determinada desviación.

BbM debe decirnos cuándo una acción de mantenimiento, restaurando la eficiencia de un equipo, es beneficiosa desde el punto de vista económico y nos ayudará a calcular el retorno de una determinada inversión.

Por lo tanto, la filosofía BbM, aplicado con la ayuda de herramientas de monitorización, permite, con el cálculo de los impactos económicos de cada desviación y la identificación de sus causas, la toma de las decisiones más apropiadas para contrarrestarlas y optimizar la explotación de la central.

CARACTERÍSTICA 1: PROPÓSITOS DE LAS HERRAMIENTAS DE MONITORIZACIÓN

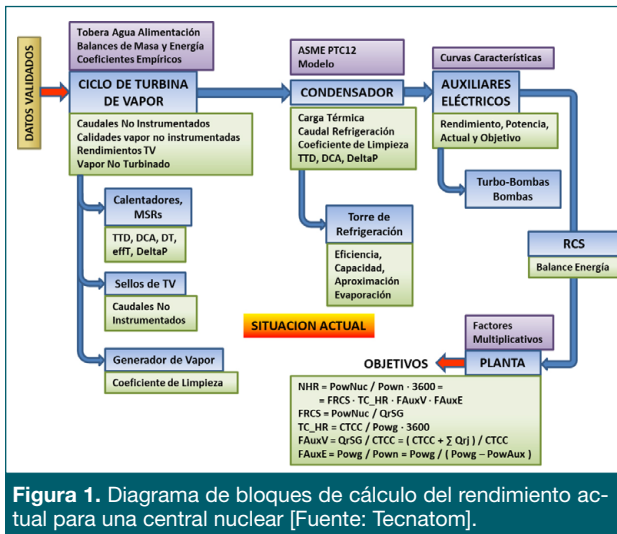
Como ya hemos dicho en este artículo, se basa en el conocimiento y experiencia de los autores, y en base a ello se identifican los tres principales propósitos de una herramienta de monitorización del rendimiento.

- **El primer propósito:** obtener una cuantificación, lo más exacta posible, de la situación actual de la planta, utilizando solo la instrumentación de proceso. Esto incluye evaluar el estado termodinámico y el caudal másico en cada punto relevante de los circuitos de proceso. Los estados termodinámicos y los flujos se obtienen utilizando balances de potencia en el eje de las turbinas junto con balances de masa y energía globales y parciales en el ciclo de Rankine y en los intercambiadores de calor.

Los estados termodinámicos y los flujos se obtienen utilizando balances de potencia en el eje de las turbinas junto con balances de masa y energía globales y parciales en el ciclo de Rankine y en los intercambiadores de calor. Este procedimiento permite obtener los valores de variables no instrumentadas como la humedad en el escape de las turbinas de vapor, y en otros puntos del ciclo en centrales nucleares.

Los flujos no instrumentados se pueden estimar a partir de la apertura de las válvulas de control y su curva característica, o bien realizando medidas de campo durante ensayos específicos.

El estado de rendimiento de la planta se representa finalmente por los indicadores clave de rendimiento (KPI) de los equipos, de los sistemas y de la planta, cuyo seguimiento facilita la alerta de desviaciones y el proceso de diagnóstico. La Figura 1 muestra la secuencia de cálculo para una central nuclear.

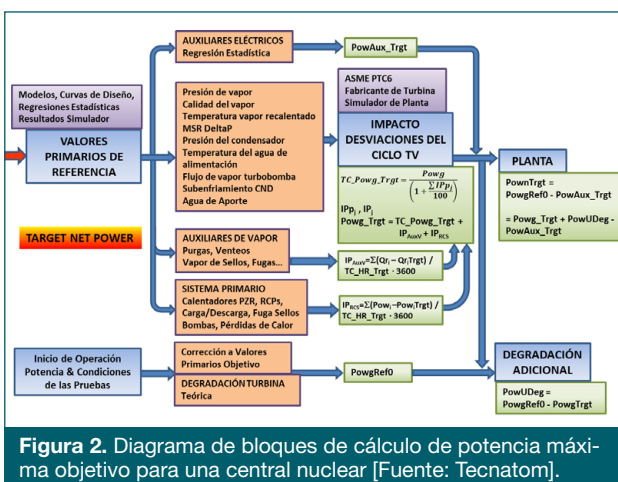


- **El segundo propósito:** determinación, de la forma más precisa posible, de los objetivos individuales de cada parámetro, equipo y sistema, cuya desviación afecte de manera significativa al consumo específico y a la potencia máxima alcanzables. Estos objetivos deben obtenerse para la condición operativa y condiciones de contorno actuales de la planta: nivel de carga o tiempo de parada, situaciones de arranque, situaciones de acoplamiento de sistemas, condiciones ambientales y combustible.

Los objetivos, para ser representativos, se deben obtener de diversas fuentes: los datos de diseño de la turbina de vapor, los balances de diseño a distintas cargas... Por otra parte, también deben considerar la degradación recuperable y no recuperable de los equipos existentes, o ser actualizados si los equipos son sustituidos por otros más eficientes.

Los valores objetivo de cualquier sistema de monitorización deberían ser actualizados tras cada mantenimiento mayor, ya que el estado de la planta tras la intervención suele reflejar los mejores valores obtenibles.

- **El tercer propósito:** cálculo de la contribución de cada sistema, componente y parámetro operacional, a la desviación del consumo específico y de la potencia máxima. Esto constituye el conjunto principal de valores para BbM. El impacto o contribución de cada una de las desviaciones se debe expresar en unidades energéticas para el



consumo específico, en MW para la potencia, y también en unidades monetarias para ambos. La Figura 2 muestra todos los parámetros primarios considerados en un modelo genérico de central nuclear.

El impacto de una sola desviación en el consumo específico y/o la potencia máxima se obtiene principalmente de la documentación técnica de los proveedores de turbinas de vapor que suelen utilizar simuladores de estado estacionario ajustados a las características de diseño de los equipos de la planta. Pero esta no es la única fuente, los simuladores debidamente validados (frente al comportamiento real de la planta y transitorios) deberían ser una de las fuentes preferenciales para obtener funciones de impacto.

La utilización de funciones de impacto paramétricas frente a la utilización directa de modelos de simulación tiene grandes ventajas frente a la utilización en tiempo real de modelos de simulación, entre las que destacan la rapidez de cálculo y la facilidad de interpretación de los resultados.

Los resultados de la herramienta de monitorización deben recopilarse en pantallas para su visualización en línea y alerta temprana de desviaciones, y en informes para resultados promedio y acumulados, utilizados con fines de contabilidad y de diagnóstico de desviaciones a medio y largo plazo. La estética y disposición de los elementos utilizados en estas pantallas deberán seguir los postulados de la ingeniería de factores humanos en cuanto a la abstracción de la información y su transmisión a los usuarios. Las Figuras 3 y 4 muestran, como ejemplo de aplicación de esta filosofía, las pantallas principales para las desviaciones del consumo específico y potencia máxima de TecOS SOLCEP.

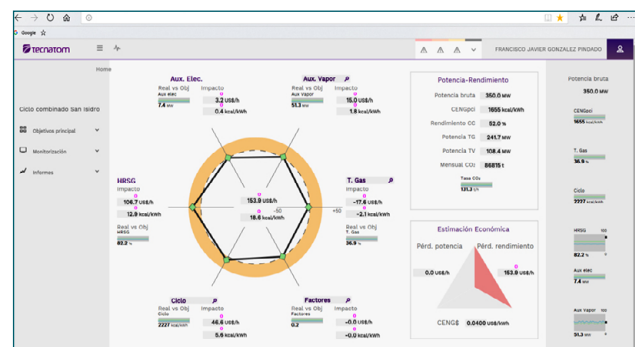
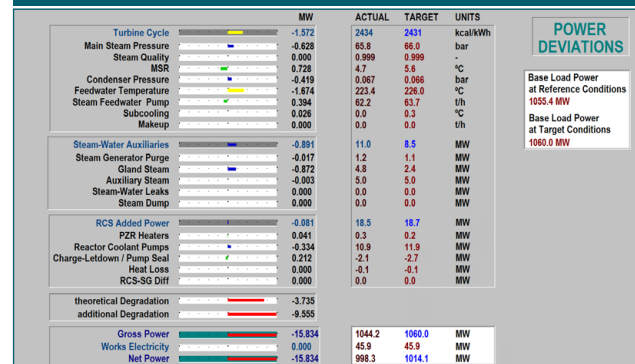


Figura 3. Pantalla de desviaciones del rendimiento [Fuente: Tecnomat].



La Figura 5 muestra la aplicación de la ingeniería de factores humanos y pantallas de alto rendimiento en una herramienta de monitorización. Como ejemplos se muestran la pantalla de proceso, que cubre toda la planta y se visualiza mediante deslizamiento, y una pantalla de alto nivel del ciclo que cubre los parámetros e indicadores de rendimiento más significativos de toda la planta. Como características más importantes cabe citar la de centrar el foco del usuario en los elementos que requieren su atención, sin sobrecargarlo con un exceso de información; y la de utilizar elementos con un alto grado de abstracción como el polígono deformable y anillo variable en tamaño y color de la Figura 3.

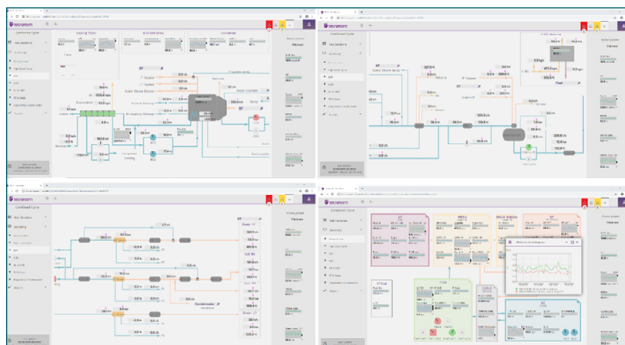


Figura 5. Pantallas de proceso: pantalla deslizante y pantalla de alto nivel [Fuente: Tecnatom].

CARACTERÍSTICA 2: OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE LA PLANTA

Una herramienta de Optimización de la Operación debe ser precisa a la hora de evaluar alternativas y hacer proyecciones de futuro, para ello se necesita recabar información no solo de las herramientas de monitorización del rendimiento, sino también de las aplicaciones de mercado que suministran proyecciones de precios y demanda de carga, y de las aplicaciones de predicción meteorológica.

Las ventajas de este intercambio de información es la utilización de valores actuales del rendimiento de los distintos equipos y sistemas, información acerca de la evolución de la degradación de determinados equipos, y las mejores predicciones en cuanto a las condiciones de contorno.

La toma de decisiones operativas o de mantenimiento basadas en los resultados de estas herramientas de optimización pueden suponer, en función de la fiabilidad de las proyecciones, importantes beneficios económicos además de una ventaja competitiva.

Las herramientas de monitorización deberían incluir dentro de su estructura elementos de optimización para equipos o sistemas individuales. En TecOS SOLCEP se han incluido varios de estos elementos de optimización de la operación que están ayudando a las plantas en la toma de decisiones. Como ejemplo se pueden citar los siguientes: número óptimo de celdas operativas en una torre de refrigeración, número óptimo de bombas de agua de circulación en marcha o selección de bombas redundantes.

La Figura 6 muestra la pantalla de ayuda para la selección del número óptimo de torres en un caso real. El modelo utiliza un sistema de simulación para el conjunto condensador-torres y una curva de impacto paramétrica para la influencia de la presión del condensador en la potencia de la turbina. El cálculo

del impacto de quitar o poner un ventilador en la torre se evalúa considerando su consumo eléctrico y calculando sucesivamente la variación de la temperatura de salida de la torre, la variación de la presión del condensador y la variación que esto provocaría en la potencia de la turbina de vapor.

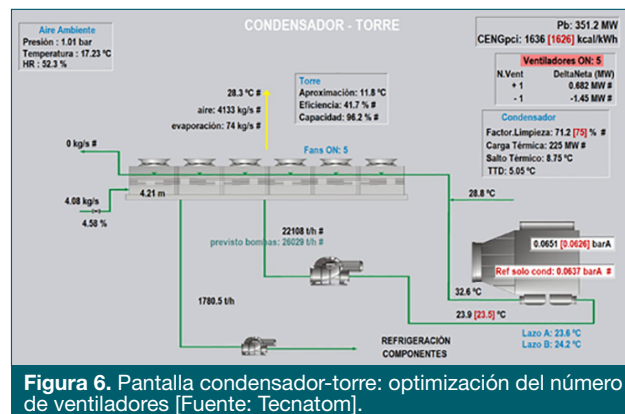


Figura 6. Pantalla condensador-torre: optimización del número de ventiladores [Fuente: Tecnatom].

Por otra parte, para dar respuesta a cuestiones relativas al comportamiento global de la planta en cuanto a la potencia máxima, es conveniente disponer adicionalmente de un simulador de estado estacionario de la planta. Este simulador debe ser una herramienta flexible que permita realizar los cálculos con diferentes opciones: condiciones de contorno actuales o de referencia (ambientales), rendimiento actual o de diseño de los equipos, y distintas configuraciones de la planta.

La Figura 7 muestra una de las pantallas de un simulador de estacionario de estas características que forma parte separada del sistema TecOS SOLCEP.

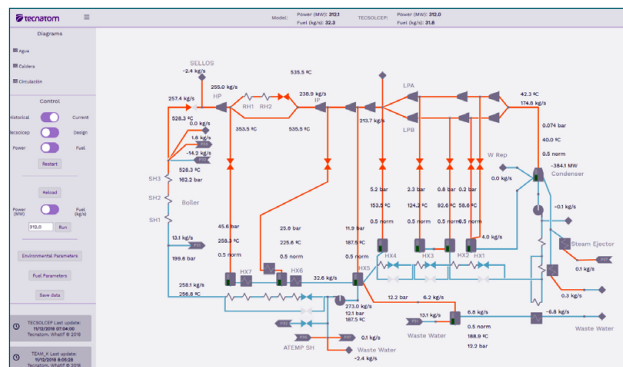


Figura 7. Simulador de estado estacionario. Optimización de la operación del ciclo de Rankine [Fuente: Tecnatom].

CARACTERÍSTICA 3: APLICACIÓN DEL DIAGNÓSTICO ASISTIDO

Una herramienta de monitorización debería incluir la funcionalidad de diagnóstico de las últimas causas de las desviaciones de rendimiento de los equipos individuales, también llamado diagnóstico asistido. Esta funcionalidad dota al usuario-ingeniero de la capacidad de identificar de forma guiada la causa raíz y de tomar decisiones en cuanto a las intervenciones de mantenimiento o reparación, o de selección de equipos redundantes. En ocasiones, las decisiones pueden estar relacionadas con la variación de la configuración operacional de la planta, o la variación de los puntos de consigna, destinadas a restaurar o minimizar el efecto de una determinada degradación o mala función.

La motivación principal de esta aplicación es la de capturar el conocimiento y la experiencia de diagnóstico de los profesionales dedicados a la monitorización de rendimientos. Por otra parte, el diagnóstico asistido de un equipo se basa en cuatro conceptos:

- los valores de la instrumentación relacionada con el equipo,
- los valores previstos para cada variable instrumentada,
- las reglas lógicas para el diagnóstico y para las verificaciones recomendadas,
- los resultados de las inspecciones y medidas de campo recomendadas.

Todos estos conceptos se combinan en la formulación de un modelo de diagnóstico particular para cada equipo, cuyos resultados se recogen en la pantalla de diagnóstico del equipo según la Figura 8.

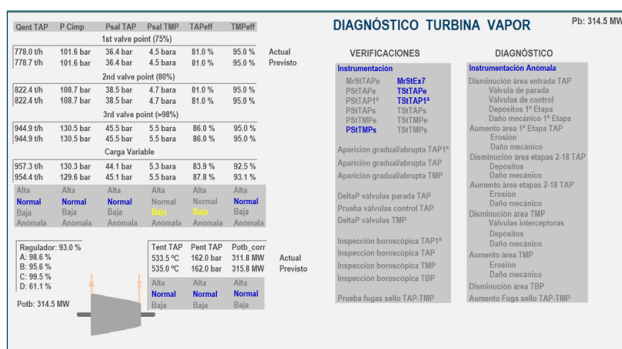


Figura 8. Pantalla de diagnóstico asistido. Turbina de vapor [Fuente: Tecnatom].

La pantalla de diagnóstico estará compuesta en general por los siguientes elementos:

- valores actuales y previstos de la instrumentación y de los indicadores derivados más relevantes,
- estado de la instrumentación basado en las desviaciones entre valores actuales y valores previstos,
- diagrama de proceso e instrumentación del equipo con los valores y situación de la instrumentación asociada al equipo,
- resultado del diagnóstico, en el que pueden aparecer varias causas posibles que expliquen las desviaciones,
- verificaciones recomendadas para centrar y confirmar el diagnóstico.

Las reglas lógicas permiten tanto identificar anomalías de la instrumentación, como relacionar las desviaciones y combinaciones de estas, con las causas que las originan. Estas reglas se han obtenido en general del documento guía “ASME PTC-PM 2010”, pero también del uso intensivo de simuladores dinámicos de las plantas y de las lecciones aprendidas de experiencias operativas reales.

Una vez consultado en línea el diagnóstico inicial de un equipo, en el que aparecen varias causas posibles para las desviaciones detectadas, o tras ser alertados por los “botones de alarma”, se debe iniciar una “sesión de diagnóstico” para avanzar en la discriminación o confirmación de las causas.

Durante una sesión de diagnóstico de un equipo se deben seguir las recomendaciones de comprobación de la instrumentación, de inspecciones, de medidas en campo, de pruebas o de realización de gráficos de tendencia. Una vez realizadas estas comprobaciones, se realimentará su resultado a la aplicación de diagnóstico. De esta manera desaparecerá la recomendación ya realizada y en el cuadro de diagnóstico podría desaparecer o confirmarse alguna de las causas posibles.

La dinámica del diagnóstico requiere la realización de todas y cada una de las recomendaciones para poder confirmar el diagnóstico. Por este motivo una sesión puede durar varias horas, o incluso días, hasta que se realicen todas las recomendaciones y se confirme el diagnóstico.

Los equipos que debe incluir una aplicación de diagnóstico asistido son los principales de una planta en los que suele existir instrumentación suficiente, a saber: intercambiadores de calor, condensador, torre de refrigeración, bombas y ventiladores, y turbina de vapor.

CONCLUSIONES

TecOS SOLCEP, es la herramienta de monitorización desarrollada por Tecnatom que posee las características citadas en este documento. Actualmente se han desarrollado modelos específicos para más de 60 plantas localizadas en varios continentes, donde 17 años de historias exitosas se han traducido en beneficios económicos todas ellas.

El uso de estos sistemas de monitorización en una flota de centrales, con su componente de estandarización de la visualización, de la operativa, y de la nomenclatura, permite la intercambiabilidad de profesionales de seguimiento y diagnóstico, y la optimización del número de especialistas necesarios en los centros de monitorización. La utilización en una flota permite también la evaluación comparativa entre unidades de la misma tecnología, y la identificación de las mejores prácticas, que pueden ser compartidas así más fácilmente entre los operadores y los técnicos.

REFERENCIAS

- [1]. ASME PTC PM-2010 (2010): Performance Monitoring Guidelines for Power Plants.
- [2]. EPRI 1020645 (2010): Plant Support Engineering: Guideline for System Monitoring by System Engineers
- [3]. ANSI/ISA-101.01 (2015): Human-Machine Interfaces
- [4]. VICENTE AND RASMUSSEN (1992): Ecological Interface Design: Theoretical Foundations.■