



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

Trabajo de Diploma

En opción al Título de Ingeniero Eléctrico

TÍTULO: Sistema SCADA para diagnóstico de motores en la planta de horno de la empresa Cmdt. Ernesto Che Guevara.

Autor: Daniel Alejandro Pelegrín Góngora

Tutores: Dr. Luis Delfín Rojas Purón

M.Sc. Diego Rodríguez Álvarez

Ing. Ana Rosa Márquez Guerra

Ing. Elieski Cruz Martínez

Curso, 2009-2010
“Año 52 de la Revolución”



DECLARACIÓN DE AUTORÍA.

Yo, Daniel Alejandro Pelegrín Góngora, autor del trabajo de diploma “Sistema SCADA para diagnóstico de motores en la planta de horno de la empresa Cmdte Ernesto Che Guevara” certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes, educativos e investigativos.

Daniel Alejandro Pelegrín Góngora
(Diplomante)

Ing. Elieski Cruz Martínez
(Tutor)

Ing. Ana Rosa Márquez Guerra
(Tutor)

Dr. Luis Delfín Rojas Purón
(Tutor)



Pensamiento



*“Para ser exitoso no tienes que hacer cosas extraordinarias,
haz cosas ordinarias extraordinariamente bien”.*

Ernesto Guevara de la Serna.



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas aquellas personas que contribuyeron en mi formación como ingeniero y en especial a mis padres y tíos.



AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que de una forma u otra me han ayudado en la realización de este trabajo.

Primeramente a mis tutores Elieski, Ana Rosa, Diego y Rojas por guiarme en esta tarea, orientarme siempre que lo necesité y que hicieron suya esta investigación.

De manera especial a mis padres los cuales han sido propulsores de mi educación, a mis familiares y a todos aquellos que de una manera u otra tuvieron que ver con la realización de este trabajo.

A mis tíos, casi padres, Rubén y Madelaine por acogerme como si fuera su hijo durante estos últimos cinco años. También mi primo Lester que más que un primo fue un hermano para mí.

A mis compañeros de universidad por los momentos que compartimos en el transcurso de nuestra formación.

A los trabajadores de la empresa Cmdt. Ernesto Che Guevara principalmente a Diego por sus horas dedicadas a la realización de este trabajo.

A la Revolución por ser esta una de las muchísimas oportunidades que me ha dado a favor de mi crecimiento profesional y humano.

A todos Gracias



Resumen

El presente trabajo tiene como finalidad elaborar un supervisor para el diagnóstico de fallas en motores eléctricos en la planta de Hornos en la empresa Cmdt. Ernesto Che Guevara.

Para el cual se hizo necesario realizar un estudio de las principales averías que presentan los motores en general y las particular de la instalación. Se nos hizo imprescindible realizar las mediciones con un sistema que tomara los datos de forma continua, para predecir las fallas en un tiempo menor. Por lo que se desarrolló un estudio de mercado para una correcta selección del equipamiento que se encargará de realizar las mediciones. Como resultado se llegó a la selección del sistema online VIBRONET Signalmaster de la firma PRÜFTECHNIK por reunir las condiciones necesarias para el diagnóstico. Posteriormente se caracterizó el equipamiento. Una vez obtenidos todos los aspectos anteriores se pudo conformar un supervisor usando CITECT SCADA, configurando los valores de alarmas regidos por las normas estandarizadas. La estructura de la interfaces se basa en varios bloques de adquisición de datos usando terminales de protocolo existente en la planta. Por último se hizo una evaluación técnico económico del trabajo para determinar la factibilidad de la propuesta.



Abstract

The present work has as purpose to elaborate a supervisor for the diagnosis of flaws in electric motors in the plant of Ovens in the company Cmdt. Ernesto Che Guevara.

For which became necessary to carry out a study of the main mishaps that present the motors in general and those peculiar of the installation. We were made indispensable to carry out the mensurations with a system that took the data in a continuous way, to predict the flaws at one time smaller. For that reason, has been development a market study for a correct selection of the equipment that will take charge of carrying out the mensurations. As a result has been arrives to the selection of the online system VIBRONET Signalmaster of the signature PRÜFTECHNIK to gather the necessary conditions for the diagnosis. Later on the equipment was characterized. Once obtained all the previous aspects a supervisor could conform to using CITECT SCADA, configuring the values of alarms governed by the standardized norms. The structure of the interfaces is based on several blocks of acquisition of data using terminals of existent protocol in the plant. Lastly an evaluation economic technician of the work was made to determine the feasibility of the proposal.



Tabla de contenido

Introducción General	1
Capítulo I: Marco teórico conceptual.	3
1.1 Introducción.....	3
1.2 Descripción del proceso productivo de la planta	3
1.3 Mantenimiento y diagnóstico.....	5
1.4 Caracterización del proceso de supervisión.....	9
1.5 Principales fallas y averías en motores eléctricos.....	10
1.6 Averías más comunes detectadas en los distintos mecanismos de la Planta. 20	
1.7 Estado del arte de supervisores para el diagnóstico de motores eléctricos	21
1.8 Conclusiones parciales	22
Capítulo II: Selección del equipamiento y propuesta de puesta en práctica.....	23
2.1 Introducción.....	23
2.2 Algoritmos de supervisión para diagnósticos	24
2.3 Normativas para establecer el límite admisible de fallas.....	24
2.4 Propuesta de mantenimiento predictivo por Sistemas On-line para el diagnóstico de fallas y comparación de esta con el sistema de mantenimiento actual 28	



2.5	Estudio de mercado	29
2.6	Caracterización del equipamiento seleccionado	31
2.7	Fundamentos de SCADA	42
2.8	El sistema SCADA Citect	45
2.9	Conclusiones parciales	55
Capítulo III: Evaluación técnico económica del trabajo		57
3.1	Introducción.....	57
3.2	Costo por reparaciones.	57
3.3	Costo de las Ton de Ni+Co Perdidas	58
3.4	Pérdidas promedio Anuales por masa de Ni+Co no enviada a Lix.....	58
3.5	Gastos de inversiones.....	59
3.6	Conclusiones parciales.	60
En este capítulo se alcanzó apreciar los grandes costos causados por las constantes averías en los motores de la planta de hornos en estos últimos cuatros años. . 60		
Conclusiones Generales		61
Bibliografía		63
Anexos		1



Introducción General

El motor de inducción es uno de los equipos eléctricos de mayor aplicación en el ámbito industrial. Muchos de estos motores se utilizan en la industria minera, en donde una falla repentina puede tener graves consecuencias, por lo que resulta necesario asegurar su continuidad operativa mediante la detección oportuna de fallas incipientes originadas por los esfuerzos eléctricos, mecánicos y térmicos. Conocer a tiempo anticipado una falla permite planear retirar el motor con fines de mantenimiento y reducir pérdidas de producción.

La planta hornos de Reducción cuenta con accionamientos eléctricos de alta incidencia en la estabilidad operativa, la eficiencia y nivel productivo de la Planta.

Estos accionamientos por el rigor del régimen operativo presentan una alta tasa de averías, con un comportamiento aleatorio y de difícil predicción, no pudiendo establecerse un control por la tradicional técnica del mantenimiento predictivo. Este tipo de comportamiento trae averías de forma impredecibles y como consecuencia pérdidas altas en tiempo fuera de operación de los equipos, un gran esfuerzo de las fuerzas productivas y pérdidas económicas considerables.

Después de un análisis consecuente de este comportamiento se sugería que la única forma viable es implementar un sistema de mantenimiento predictivo on-line, que consiste en conocer de forma continua en el tiempo el estado del accionamiento y con un software evaluar las causas que provoca el deterioro progresivo y poder tomar medidas en el momento adecuado. De esta forma se evitan las paradas sorpresivas y sus catastróficas consecuencias. También por el conocimiento preciso de las causas y actuación sobre ellas se disminuye en número de paradas.

En la actualidad la monitorización de la salud de cualquier motor eléctrico industrial, es una de las claves para aumentar la disponibilidad, fiabilidad y seguridad de los sistemas y procesos industriales. Concretamente, los sistemas supervisores, es uno de los procedimientos más comúnmente utilizados para la monitorización de diagnóstico de motores. Las herramientas de supervisión permiten cuantificar el grado de desviación o la degradación de las condiciones de funcionamiento normal previstas.



Las actuales exigencias de calidad consideran cada vez más necesaria la utilización de sistemas de monitoreo y detección de fallas, de modo de no interrumpir la producción. Los motores eléctricos de inducción son los responsables, en muchos casos, del correcto funcionamiento del sistema productivo.

Problema

Inexistencia de un monitoreo on-line en los motores eléctricos de la planta de hornos de la empresa Cmdt. Ernesto Che Guevara que permita supervisar el estado físico de estos para la realización de tareas de diagnóstico.

Hipótesis

Mediante la caracterización de los motores en la planta de hornos, es posible entonces elaborar un SCADA para tareas de diagnóstico mediante el monitoreo on-line de motores eléctricos en la planta.

Objetivo

Elaborar un sistema supervisor para el monitoreo de los motores eléctricos usando el software CITECT.

Objeto de estudio

Motores de inducción.

Campo de acción

Diagnóstico de motores de inducción mediante sistemas SCADA.

Resultados esperados

- Caracterizar los motores eléctricos que operan en la planta de hornos.
- Elaborar un sistema de monitoreo gráfico en CITECT para detección de fallas en motores eléctricos.
- Montar el sistema SCADA para las condiciones de carga industrial de los motores de la planta.



Capítulo I: Marco teórico conceptual.

1.1 Introducción.

1.2 Descripción del proceso productivo de la planta.

1.3 Mantenimiento y diagnóstico.

1.4 Caracterización del proceso de supervisión.

1.5 Principales fallas y averías en motores eléctricos.

1.6 Averías más comunes detectadas en los distintos mecanismos de la Planta.

1.7 Estado del arte de supervisores para el diagnóstico de motores eléctricos.

1.8 Conclusiones parciales.

1.1 Introducción.

En los últimos años se han desarrollado numerosos métodos de supervisión y diagnóstico de fallas en motores eléctricos mediante sistemas informáticos y algoritmos que permitan realizar este proceso en tiempo real, ya sea utilizando modelos cuantitativos y semi-cuantitativos (intervalares) de proceso industrial a supervisar o diagnosticar, ya sea empleando técnicas de análisis y reconocimiento de señales y eventos.

Estudios recientes indican que el 90% de las fallas en accionamientos electro-mecánicos ocurren a raíz del funcionamiento anormal de los componentes internos, como es el caso del motor principal.

Existen hoy muchas técnicas publicadas y herramientas avaladas comercialmente de detección de fallas en motores de inducción, que pueden garantizar un mayor grado de confiabilidad en su funcionamiento. A pesar de esto, la mayoría de las industrias aún no utilizan técnicas de detección y monitoreo de máquinas eléctricas.

1.2 Descripción del proceso productivo de la planta.

El objetivo del proceso que se realiza en esta planta es reducir el óxido de níquel a níquel metálico, haciéndolo apto para la lixiviación amoniacal. Para ello la misma cuenta con la instalación de 24 hornos, 12 transportadores rotatorios e igual número de enfriadores como equipos fundamentales.

La mezcla de minerales antes de ser sometido a proceso de reducción se somete a un



proceso de secado y molienda en la planta de Preparación del Mineral. En la que se le elimina la humedad hasta un 5 % aproximadamente y se muele hasta una fineza de 0,074mm. La mezcla de minerales, después de pasar por la sección de molienda, es enviada mediante transporte neumático a los silos cuya función, además de homogeneizar los minerales es la de almacenarlo. Estos equipos tienen una capacidad de 1500 toneladas cada uno, aunque pueden alcanzar hasta 1900 toneladas, lo que facilita una operación en los hornos de alrededor de 16 horas. En la sección de los silos se encuentran 9 bombas tipo TA-36 con una capacidad de 120 ton/hora, mediante las cuales la mezcla de minerales es bombeada hasta las tolvas de los hornos, dispuestas una para cada dos hornos. Estas tolvas tienen una capacidad de 400 toneladas aproximadamente y permiten realizar una operación de 8 horas a cada horno.

Una vez la mezcla de minerales en las tolvas, pasa a los dosificadores de pesaje automático (la es capacidad de 22 ton/hora), encargados de garantizar una alimentación uniforme al horno de acuerdo a la productividad fijada.

Después de pesada la mezcla, se produce la descarga de la misma al sinfín alimentador, el cual transporta el mineral al horno hacia el hogar cero, para ser sometida al proceso de reducción, para ello el horno dispone de 10 cámaras de combustión con quemadores de alta presión para la combustión incompleta del petróleo, el cual permite además de lograr el perfil de temperatura enriquecer la atmósfera reductora.

El proceso de reducción se efectúa en un horno de hogares múltiples tipo IIM 17 K- 6,8, con 17 hogares ó soleras. Además, el horno cuenta con un eje central al cual se le articulan 68 brazos (4 en cada hogar), para facilitar el traslado de la mezcla de minerales de un hogar a otro.

Los gases que salen del horno succionados por un extractor, y arrastran consigo partículas muy finas de minerales, las cuales se hacen necesario recuperar para evitar mayores pérdidas en el proceso, para ello, la planta cuenta con un sistema de limpieza de gases formado por un grupo de 6 ciclones en cada horno, 12 electrofiltros y un electrofiltro en la sección de los silos para la purificación del aire del transporte neumático y del aire de succión de las tolvas.

Los minerales recuperados en la batería de ciclones caen por gravedad al horno a través



del hogar 0. Los minerales que se recuperan en los electrofiltros son transportados por unos transportadores de paleta hacia una tolva, debajo de la cual se encuentran unas bombas neumáticas con capacidad de 40 t/h. Estas bombas envían los minerales hacia las tolvas de producto final de la sección de molienda de la Planta de Preparación de Mineral para más tarde ser bombeado hacia los silos, formando así el ciclo de hornos.

Debido a que los motores son los responsables del funcionamiento de la planta se consideran que son el corazón de la misma, por lo que se realizó una caracterización de estos, mostrándose en la **Tabla 1**.

Tabla 1 Caracterización de los motores por sus parámetros nominales.

Nº	Mecanismo	Cant	Pn (kW)	Un (V)	Conex.	In (A)	nn (r.p.m.)
1	Ventilador aire atmosférico VE-216 A - I	9	220	440	D	351	1775
2	Transportador Yakobis TR207- 1-10	10	30	440	Y	48	1180
3	Mec. Giro eje central HR205- 1,2,3,4 y 19	5	22	440	Y	41	880
4	Enfriador de Mineral EN-12,6 y 4	3	90	440	D	143	885
5	Mezcladora MZ-1 – 8	8	22	440	D	36	1760
6	Ventilador de postcombustión VE-1 - 24	24	11	440	D	20	1745
7	Alimentador sinfín de polvo AL-202- 9,10,11,12,13,17,18,19,20,21,22,23 y 24	13	4	440	Y	7.5	1690
8	Ventilador de tiro forzado Nivel 42 VE-22- 1 - 24	24	55	440	D	85.83	1776

1.3 Mantenimiento y diagnóstico.

El mantenimiento en general es considerado como uno de los factores indispensables para el buen funcionamiento y desarrollo de toda empresa. La meta más importante de cualquier programa de mantenimiento es la eliminación de alguna avería de la maquinaria.



Al producirse un problema en una máquina o equipo, existe algún cambio en las variables que se estén vigilando. Algunos de estos cambios son perceptibles por los sentidos humanos, y pueden ayudar en el análisis. En esta etapa se debe diagnosticar cuál es la falla que se ha generado, lo cual requiere de un gran conocimiento del funcionamiento del sistema y un grado de experiencia del usuario.

1.3.1 Mantenimiento Industrial

Existen diferentes tipos de mantenimiento, dentro de los cuales podemos encontrar a:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento pro activo

Mantenimiento correctivo

Podemos definir el mantenimiento correctivo como el efectuado a una máquina o instalación, cuando la avería ya se ha producido, para restablecerla a su estado operativo habitual de servicio. El mantenimiento correctivo puede ser o no planificado. El mantenimiento correctivo planificado comprende las intervenciones no planificadas (preventivas) que se efectúan en las paradas programadas.

Por ejemplo, una instalación en la que aparece una junta (unión mecánica) por la que se produce una fuga de aceite y se mantiene en servicio hasta una parada programada en la que se interviene para sustituir dicha junta. Esta es una intervención correctiva planificada por realizarse durante una parada programada sin afectar la disponibilidad de la instalación.

Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo también es llamado mantenimiento periódico preventivo o también "mantenimiento histórico". Aquí se analizan los datos históricos de cada máquina y se programan reacondicionamientos periódicos antes de que ocurran los problemas que estadísticamente se pueden esperar. Ya se sabe desde hace mucho que grupos de máquinas similares van a tener proporciones de fallas que se pueden predecir hasta cierto



punto, si se toman promedios durante un tiempo largo. Esto produce "la curva de la tina" que relaciona la proporción de fallas al tiempo de operación de la manera descrita en la **Figura 1. 1**.

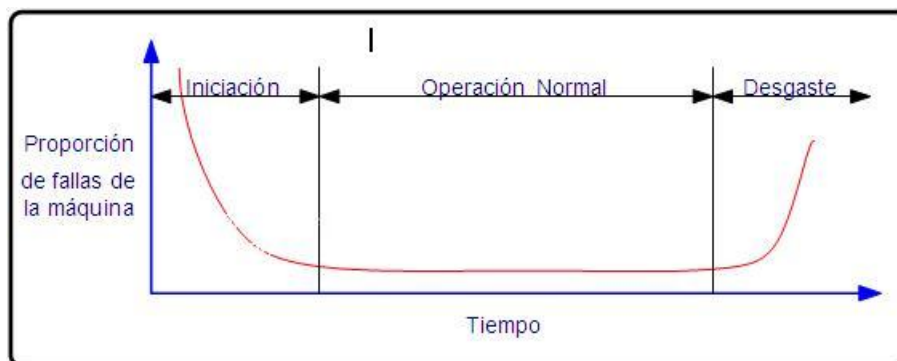


Figura 1. 1 Curva de fallas.

Si esta curva es aplicable a todas las máquinas del grupo y si la forma de la curva es conocida, se podría usar el mantenimiento preventivo de manera ventajosa. Lamentablemente eso no es el caso en la práctica.

La actividad de mantenimiento se puede planificar sobre la base del tiempo del calendario o a horas de operación de la máquina, cantidad de partes producidas etc. El mantenimiento preventivo se hizo muy popular al principio de la década de los 80 cuando se empezó a usar pequeñas computadoras para la planificación y el registro de las actividades de mantenimiento.

Mantenimiento predictivo

El siguiente paso en la tecnología de mantenimiento fue la llegada del mantenimiento predictivo, basado en la determinación del estado de la máquina en operación: La técnica está basada en el hecho que la mayoría de las partes de la máquina darán un tipo de aviso antes de que fallen. Para percibir los síntomas con que la máquina nos está advirtiendo requiere varias pruebas no destructivas, tal como análisis de aceite, análisis de desgaste de partículas, análisis de vibraciones y medición de temperaturas. El uso de estas técnicas, para determinar el estado de la máquina dará como resultado un mantenimiento mucho más eficiente, en comparación con los tipos de mantenimiento anteriores. El mantenimiento predictivo permite que la gerencia de la planta tenga el control de las máquinas y de los



programas de mantenimiento y no al revés. En una planta donde se usa el mantenimiento predictivo el estado general de las máquinas se conoce en cualquier momento y será posible una planificación más precisa.

El mantenimiento predictivo usa varias disciplinas. La más importante de estas es el análisis periódico de vibraciones. Se ha demostrado varias veces que de todas las pruebas no destructivas, que se pueden llevar a cabo en una máquina, la firma (espectro característico de una máquina) de vibraciones proporciona la cantidad de información más importante acerca de su funcionamiento interno. En algunas máquinas que podrían afectar de manera adversa las operaciones de la planta si llegarían a fallar, se puede instalar un monitor de vibración continuo. En este monitor, una alarma se activará cuando el nivel de vibraciones rebasa un valor predeterminado. De esta manera se evitan fallas que progresan rápidamente y puedan provocar un paro catastrófico. La mayoría del equipo moderno, accionado por turbinas se vigila de esta manera.

El análisis de aceite y el análisis de partículas de desgaste son partes importantes de los programas predictivos modernos, especialmente en equipo crítico o muy caro. La termografía es la medición de temperaturas de superficie por detección infrarroja. Es muy útil en la detección de problemas en interruptores y áreas de acceso difícil. El análisis de la firma de corriente del motor es otra técnica muy útil que permite detectar barras de rotor agrietadas o rotas, con el motor en operación. La prueba de sobre tensión de los estatores de motor se usa para detectar una falla incipiente en el aislamiento eléctrico.

Mantenimiento pro activo

Es la última innovación en el campo del mantenimiento predictivo, usa gran cantidad de técnicas para alargar la duración de operación de la maquinaria. La mayor parte de un programa pro activo es el análisis de las causas fundamentales de las fallas en máquinas. Esas causas fundamentales se pueden remediar y los mecanismos de falla se pueden eliminar gradualmente en cada máquina. Se ha sabido desde hace mucho tiempo que el desbalanceo y la desalineación son las causas fundamentales de la mayoría de las fallas en máquinas. Ambos fenómenos provocan una carga en los rodamientos con fuerzas indebidas y acortan su vida útil. En lugar de reemplazar continuamente rodamientos



gastados en una máquina que presenta una falla, una mejor política sería de llevar a cabo un balanceo y alineación de precisión en la máquina y de verificar los resultados por medio de un análisis de vibraciones.

1.3.2 Diagnóstico de fallas.

La importancia de un diagnóstico de falla acertado es vital en el caso de máquinas críticas, donde los costos por pérdida de producción hacen que la detención de una de estas máquinas para su inspección resulte prohibitiva económicamente. La técnica de Demodulación es un muy buen complemento a la hora de hacer buenos diagnósticos. Las máquinas de baja velocidad dejan de ser una problemática, y se pueden hacer diagnósticos de fallas incipientes de manera confiable.

Existen diferentes métodos invasivos y no invasivos para la detección de fallas utilizando técnicas de análisis de datos de origen eléctrico, mecánico o químico, entre los cuales se pueden resaltar los siguientes: análisis de vibraciones, análisis de temperatura, estimación de parámetros electromagnéticos del motor, análisis de partículas de aceite, análisis de señal de corriente del motor (MCSA).

En la **Tabla 2** realiza una comparación entre los principales métodos de detección de fallas, indicando las fallas que los mismos pueden detectar.

Tabla 2: Comparación de métodos de detección de fallas.

Método	Falla que puede detectar			
	cortocircuito en estator	Rotura de barras	Excentricidades	Rodamientos
Vibración	NO	SI	SI	SI
MCSA	SI	SI	SI	SI
Temperatura	SI*	NO	NO	SI*
Partículas	NO	NO	NO	SI
* Posibilidad de indicar indicio de falla				

1.4 Caracterización del proceso de supervisión.

Para la adquisición de los datos, el departamento efectúa un sistema itinerante que consiste en la realización de las mediciones de señales necesarias periódicamente



(1mes) en el sitio de medición con un analizador portátil, y luego él transfiere la información a un ordenador personal para su posterior análisis.

Debido a que la frecuencia de la toma de medición es durante un intervalo demasiado extenso, trae como consecuencia averías de formas impredecibles y como resultados perdidas altas en el tiempo fuera de operación de los equipos, un gran esfuerzo de las fuerzas productivas y pérdidas económicas considerables.

1.5 Principales fallas y averías en motores eléctricos.

Los motores eléctricos de inducción son pieza fundamental en todo proceso industrial; su robustez, bajo costo, fácil mantenimiento y versatilidad los han hecho populares con aplicaciones que van desde artefactos caseros hasta equipos más sofisticados de tipo industrial. Siendo una máquina eléctrica rotatoria y simple en su constitución física. La clasificación del tipo de fallas en motores puede estar dividida en tres grupos:

- Fallas Mecánicas.
- Fallas Eléctricas.
- Fallas de enlace de potencia.

1.5.1 Fallas Mecánicas

Las fallas mecánicas se pueden dividir en tres partes.

- Desbalance mecánico.
- Fallas en los rodamientos.
- Excentricidad.

1.5.1.1 Desbalance mecánico

El desbalance mecánico es una de las causas más comunes que producen vibraciones, el desbalance produce oscilaciones importantes en el par instantáneo requerido por el motor, produciendo la fatiga de los elementos de transmisión tales como correas, poleas, chavetas, rodamientos y ruedas dentadas. Existen diferentes problemas que pueden producir desbalance, estos son:



Aglomeración desigual de polvo en los alabes de un ventilador, falta de homogeneidad en partes coladas, como burbujas, agujeros de soplado, y partes porosas, excentricidad del rotor, flexión de rodillos, especialmente en máquinas de papel, errores de máquina. (Defectos constructivos), distribución desigual en las barras de rotor de motores eléctricos o en el enrollado, erosión y corrosión desigual de las impulsoras de una bomba (Efecto de cavitación), pesos de balanceo que faltan, flecha con flexión.

El desbalance mecánico en un motor puede clasificarse cómo:

- Desbalance estático
- Desbalance en dos planos o tipo par.
- Desbalance casi estático
- Desbalance dinámico

- Desbalance Estático

El eje longitudinal principal de inercia del rotor está desplazado paralelamente con respecto al eje de rotación (**Figura 1. 2 a**), se caracteriza porque la amplitud de la vibración se incrementa en proporción al cuadrado de la velocidad. En la señal de vibración por lo general domina la frecuencia a 1 x rps.

- Desbalance en dos planos o tipo par.

El eje longitudinal principal de inercia del rotor intercepta al eje de rotación en el centro de masas del propio rotor (**Figura 1. 2 b**) al igual que en el caso anterior la amplitud es proporcional al cuadrado de la velocidad, la diferencia es que las mediciones de los sensores de vibración están desfasadas 180°. Domina la frecuencia a 1x rps.

- Desbalance casi-estático

El eje longitudinal principal de inercia del rotor intercepta al eje de rotación en un punto arbitrario o sea, un punto que no coincide con el centro de masas del propio rotor (**Figura 1. 2 c**). En este caso, las lecturas de fase a ambos lados del rotor exhibirán una diferencia aproximada de 180 o aunque las amplitudes diferirán substancialmente.

- Desbalance dinámico

El eje longitudinal principal de inercia del rotor no intercepta al eje de rotación y tampoco es paralelo a éste (**Figura 1. 2 d**). En otras palabras, el eje longitudinal principal de inercia del rotor cruza al eje de rotación del propio rotor.

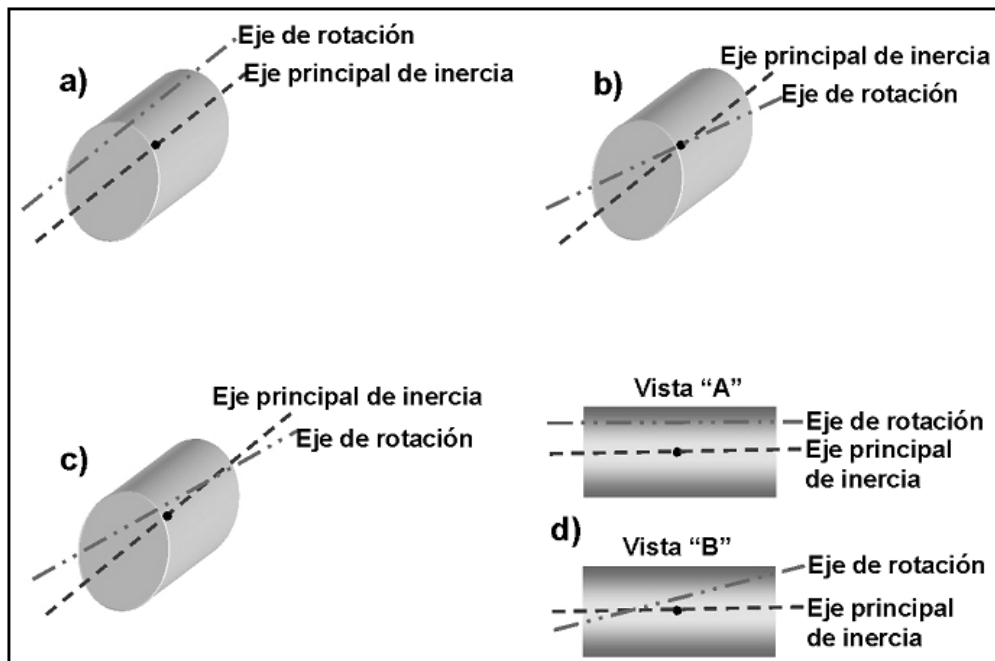


Figura 1. 2 Tipos de desbalances. a) Estático. b) Par. c) Casi estático. d) Dinámico.

1.5.1.2 Fallas en los rodamientos.

Las fallas en los rodamientos son las más comunes en los motores, se manifiestan por vibraciones de alta frecuencia, que pueden ser de hasta 12 x sin embargo a medida que el daño es mayor las frecuencias van disminuyendo. Una vez detectada la falla el rodamiento debe ser reemplazado, debido a que la falla seguirá incrementándose. Entre las causas comunes de fallas en los rodamientos podemos encontrar a: Carga excesiva, falta de alineamiento, defectos de asientos del eje y/o de las perforaciones en el alojamiento, montaje defectuoso, ajuste incorrecto, lubricación inadecuada o incorrecta, sellado deficiente, falsa brinelación (Deformación bajo carga).

En este caso el recalentamiento ocurrirá en el estator y se va a deteriorar todo el embobinado. Para identificar que los rodamientos no se hayan deteriorado por causa del calentamiento excesivo en el eje habrá que observar el estado en que se encuentre el



rotor, pues si el origen de la sobre temperatura fuese el rotor se notaría color azul o morado en su superficie.

1.5.1.3 Excentricidad.

La excentricidad es otra causa común de vibración en una máquina rotativa. La excentricidad se produce cuando la línea central del eje no es la misma que la línea central del rotor, el centro de rotación verdadero difiere de la línea central geométrica.

Existen tres Tipos de Excentricidades:

- Excentricidad de tipo estática.
- Excentricidad de tipo dinámica.
- Excentricidad combinada estática-dinámica.

Excentricidad de tipo estática.

La excentricidad estática se presenta cuando el entrehierro presenta un valor mínimo en una posición espacial fija, es decir, durante todo el giro del rotor existe siempre un punto en el que el entrehierro es mínimo y otro en el que es máximo. Este tipo de excentricidad puede estar ocasionado por una forma oval del alojamiento estatórica o por una ubicación incorrecta del rotor dentro del estator tal y como se indica en la **Figura 1. 3**.

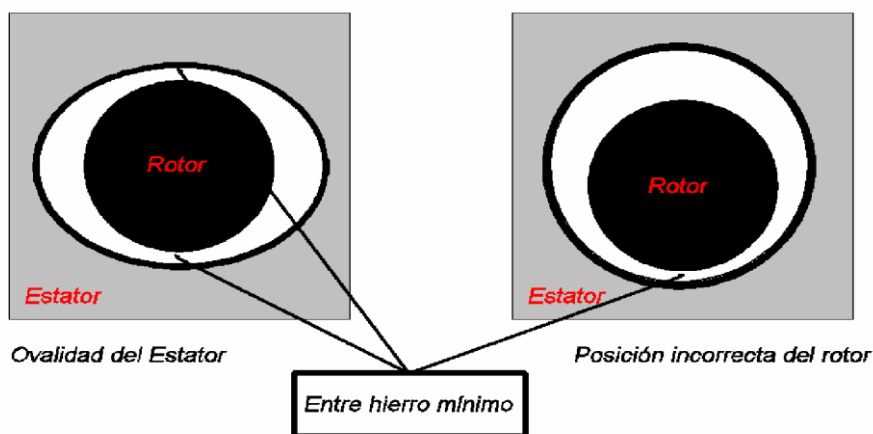
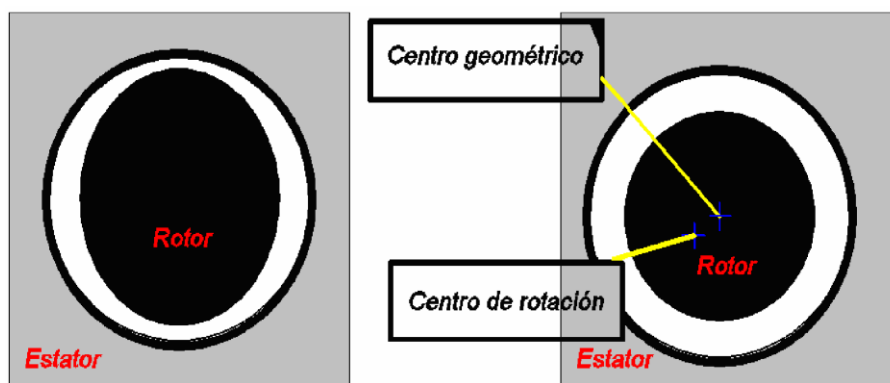


Figura 1. 3 Forma de producirse la excentricidad estática.

Excentricidad de tipo dinámica.



Cuando el entrehierro presenta un valor mínimo que varía en el tiempo y en el espacio (al considerar el giro de la máquina) la excentricidad se denomina dinámica. Este tipo de excentricidad puede estar causado por la rotación del eje alrededor de un punto que no es su centro geométrico o por la existencia de un rotor deformado que presente una sección ovalada. En la **Figura 1. 4** se puede observar este tipo de excentricidad.



Ovalidad del Rotor

Centro de rotación incorrecto

Figura 1. 4 Forma de producirse la excentricidad dinámica.

Excentricidad combinada estática – dinámica.

En la práctica se presentan las dos excentricidades combinadas ya que es imposible fabricar rotores y estatores con una sección perfectamente circular, como lograr que el eje gire sin tolerancias en torno a su centro geométrico.

En la **Figura 1. 5** se observa cómo se consigue que el rotor presente una combinación de excentricidades superponiendo un desplazamiento hacia la derecha – excentricidad estática – con una rotación alrededor de un punto que no es el centro geométrico del rotor – excentricidad dinámica.

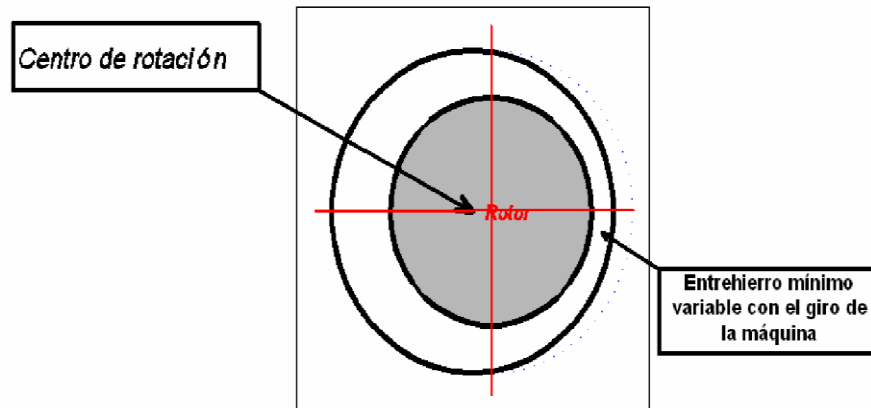


Figura 1. 5 Combinación de excentricidad estática-dinámica.

La excentricidad puede causar daños en el motor debido al golpeteo entre el rotor y el estator, así como frecuencias inducidas por la combinación de excentricidades estática y dinámica en la corriente de alimentación de un motor de inducción.

1.5.2 Fallas eléctricas.

Dentro de las fallas eléctricas podemos encontrar a:

- Fallas en la simetría de los bobinados del estator

Las fallas de la simetría de los bobinados se producen por defectos de construcción, este problema se da especialmente en motores que han sido rebobinados en talleres sin seguir todas las normas técnicas para realizar este tipo de trabajos. La asimetría de los bobinados produce pequeños campos magnéticos que giran en sentido contrario al campo magnético del estator, este efecto produce esfuerzos que son directamente proporcionales al cuadrado de la corriente, estos esfuerzos alcanzan su máximo valor en el momento de arranque del motor.

- Fallas en la simetría de los bobinados del rotor (Jaula).

Al igual que en el estator, la asimetría de las barras del rotor de un motor de inducción estas se deben a fallas constructivas, barras rotas o agrietadas y barras sueltas, que pueden propagarse a barras vecinas o dañar a los devanados del estator cuando se



producen deformaciones, que también pueden afectar a las láminas de material ferromagnético que conforman el núcleo.

- Falla por desbalance de voltaje

El deterioro térmico del aislamiento en una fase del bobinado puede resultar de voltajes desbalanceados. Esto usualmente es causado por desbalances de cargas en el sistema eléctrico, conexiones deficientes en los terminales del motor o alta resistencia en contactos (presión insuficiente).

Nota: Un uno por ciento de desbalance de voltajes, puede resultar en un seis a diez por ciento de desbalance en las corrientes.

- Falla por pico de voltaje

Esta falla en el aislamiento es causada por picos de voltaje. Los picos de voltaje son frecuentemente el resultado de “switching” en los circuitos de potencia, descargas eléctricas (rayos), descarga de capacitores y los efectos de dispositivos de estado sólido tales como variadores de frecuencia.

- Ranuras del estator y ranuras del rotor

Las ranuras del estator como del rotor son agujeros en los bordes de las láminas redondas y su conformación longitudinal es el resultado del apilamiento de láminas. Estas hojas delgadas son aisladas unas de otras. Esto impide que las corrientes inducidas magnéticamente circulen en el hierro y provoquen calentamiento. Si las hojas están puestas en cortocircuito, en algunos lugares un calentamiento local ocurrirá y en consecuencia existiera una distorsión térmica. Hojas en corto también causarán niveles de vibración más altos a 120 Hz. Por lo general cuando se repara un motor debe evitarse introducir objetos punzantes en las ranuras del estator que podrían comprometer el aislamiento de las láminas.

- Barras del rotor agrietadas o rotas

La presencia de roturas en las barras del rotor hace que la frecuencia de rotación del motor sea frecuencia igual al producto de la frecuencia de deslizamiento por el número de polos. Como consecuencia de este fallo, se produce un desbalance eléctrico en el motor, que da



como resultado la generación de niveles de vibraciones suficientemente altos a la primera y segunda armónicas de la velocidad de rotación. Asimismo, la presencia de barras rotas o agrietadas e incluso la presencia de uniones con alta resistencia al paso de la corriente, pueden producir bandas laterales separadas a la frecuencia de paso de polos alrededor de las armónicas de la frecuencia de rotación, incluyendo $2x$, $3x$, $4x$ y hasta $5x$, todo lo cual es síntoma de problemas en más de una barra, ya que se tiene más de un pulso por vuelta del rotor. Sin embargo, la clave para identificar barras sueltas o abiertas la constituye la presencia de componentes a frecuencia más alta, tal es el caso de las componentes a la frecuencia de paso de barras.

- Corto circuito en el enrollado del estator.

El enrollado del estator, comúnmente denominado polos o campos, puede presentar espiras en corte, lo cual origina que se aprecie una disminución en la velocidad de rotación y se incremente la frecuencia de deslizamiento.

- Deformaciones térmicas.

Debido a la concentración de altas temperaturas, el rotor también es susceptible de sufrir deformaciones, cuyo origen radica en el aislamiento deficiente de varias láminas contiguas en zonas del propio rotor, lo que pudiera provocar el roce eventual entre este y el estator. Este problema trae consigo un efecto de "retroalimentación" ya que a pesar de que al inicio las deformaciones en el rotor son muy pequeñas, éstas logran la generación de fuerzas electromagnéticas desbalanceadas, lo cual al mismo tiempo genera mayor incremento en la temperatura, haciendo más severas las deformaciones de rotor. Este problema se puede identificar a través de los incrementos sistemáticos en los niveles de vibraciones a la frecuencia de rotación, los cuales crecen con el incremento de la temperatura.

Como seguramente se habrá advertido, existe la posibilidad de confundir este problema con un desbalance, por lo que es menester señalar que en estos casos el problema persistirá aún cuando se balancee el sistema.

- Pulsos torsionales.



En los motores eléctricos siempre están presentes en mayor o menor medida los pulsos torsionales debido a que el campo magnético rotatorio energiza a los polos del estator. Normalmente esta vibración es suficientemente baja por lo que no representa una amenaza. Sin embargo, pueden excitar frecuencias de resonancias cercanas al duplo de la frecuencia de línea o producir vibraciones importantes en máquinas donde se exijan niveles de vibraciones suficientemente bajos, como por ejemplo en máquinas herramienta de alta precisión.

1.5.3 Fallas de enlace de potencia.

- Desalineación de acople de ejes.

La desalineación es una condición en la que los centros de unos ejes acoplados no coinciden. La mayor parte de casos de desalineación son una combinación de desalineación paralela y angular. El diagnóstico, como regla general, se basa en vibración dominante a dos veces la velocidad de giro, con niveles altos a la velocidad de giro en la dirección axial, y bien en la dirección vertical u horizontal.

- Desalineación angular.

La desalineación angular se da cuando dos ejes no son paralelos en su punto de acople. Esta se caracteriza por una elevada vibración axial que puede ser de 1 x rps o 2 x rps en algunos casos de 3 x rpm con un desfaseamiento de 180° con la vibración radial en el acoplamiento.

- Desalineación paralela.

La desalineación paralela se da cuando dos ejes paralelos no coinciden en el punto de acople.

La desalineación paralela produce tanto una fuerza cortante como un momento flector en el lado de acoplamiento de cada eje. Este tipo de desalineación presenta síntomas similares a la angular, solo que en este caso la vibración es radial, de igual manera tiene un desfase aproximado de 180° con el acoplamiento.



- Desalineación por cojinete inclinado con respecto al eje.

Un cojinete inclinado genera una considerable vibración axial causando incluso movimiento torsional con cambios de fase de 180° de arriba a abajo o de lado a lado cuando se mide en dirección axial sobre la caja del cojinete.

- Sobrecarga en engranajes.

En sistema de engranajes todos los dientes reciben una sobrecarga continua. La amplitud de la frecuencia de engrane GMF (Gear Mesh Frequency) es altamente excitada, pero un pico alto de frecuencia de engrane no indica necesariamente un problema si las bandas a su alrededor se mantienen bajas. Un análisis de la sobrecarga de engrane resulta factible si se lo realiza a la máxima carga de operación de la máquina.

- Engranajes desalineados.

Este problema se presenta cuando los ejes de los engranes no son paralelos, los engranajes desalineados, generan altas frecuencias de engrane con frecuencias laterales. Sin embargo, es común tener armónicos de la frecuencia de engrane con niveles más altos a dos y tres veces la frecuencia de engrane. Es por tanto importante configurar tu rango de frecuencia. Lo suficientemente alto para poder ver esas frecuencias.

- Excentricidad de poleas.

Ocurre cuando el centro de rotación no coincide con el centro geométrico en una polea. Aunque es posible balancear poleas gracias a la adición de pesas, la excentricidad seguirá induciendo vibración y esfuerzos de fatiga reversible. Se recomienda cambiarse la polea excéntrica.

- Desgaste de dientes.

El desgaste de dientes se produce por: operación más allá del tiempo de vida del engranaje, contaminación de la grasa lubricante, elementos extraños circulando en la caja del engrane o montaje erróneo.



Su espectro se caracteriza por la aparición de bandeamiento lateral alrededor de la frecuencia natural de vibración (f_n) del engrane defectuoso. El espaciamiento de las bandas laterales es $1 \times \text{rps}$ del engrane defectuoso.

- Dientes agrietados o rotos.

Este tipo de fallas generan picos de alta amplitud a la velocidad de giro de ese engranaje, y causara la excitación de la frecuencia natural del engranaje.

Sin embargo, el mejor modo de ver un diente agrietado o roto es vía la onda temporal. Si hubiera 12 dientes, uno de cada 12 pulsos en la onda temporal sería muy diferente de los demás pulsos. Naturalmente, la diferencia de tiempo entre esos pulsos seria igual al periodo de la velocidad de giro del engranaje (el diente engrana una vez por cada revolución).

- Distensión.

Ocurre por sobrepaso de la vida útil de la banda, o por desgaste excesivo de la misma. Las frecuencias de bandas siempre están por debajo de la frecuencia del motor o máquina conducida. Para corregir el problema, si la banda no presenta demasiado desgaste intente tensionarla, de lo contrario reemplácela.

- Desalineación en poleas.

Puede ocurrir porque los ejes de las poleas no están alineados o porque las poleas no están paralelas. También pueden ocurrir ambos casos simultáneamente. Para solucionar el problema deben alinearse las poleas tanto angular como paralela.

1.6 Averías más comunes detectadas en los distintos mecanismos de la Planta.

- Desalineamiento.
- Desbalance.
- Rodamientos defectuosos.
- Alta contaminación del lubricante por la condiciones del medio.



- Sobrecargas por diferentes causas.

Para la determinación de estas nos basamos en las inspecciones realizadas en los diferentes mecanismos de la planta de horno en el mes de abril del año 2012. Mostrado en el **anexo [1]**.

1.7 Estado del arte de supervisores para el diagnóstico de motores eléctricos.

Diferentes métodos de mantenimiento predictivo se usan hoy en día, los cuales por distintas aproximaciones permiten diagnosticar fallos en una máquina, algunas de ellas son por ejemplo el análisis de aceite para encontrar partículas que acuse un desgaste o roce entre metales, termografía infrarroja la cual permite ver la distribución de temperatura en una máquina y así poder ver la distribución de tensiones a la cual está sometida, control de la temperatura y corriente eléctrica en los motores con el fin de detectar trabajo extra que el motor está realizando producto de un defecto, análisis de espectros sonoros, etc.

El trabajo desarrollado por la Ing. Verónica M. Venturini, aborda la implementación de un Sistema SCADA aplicado a la Producción de Tabaco, más precisamente, en los procesos de la Planta de Curado de Tabaco y Especies de la UCS. Mediante dicho Sistema, es posible realizar el monitoreo de temperatura y humedad de cada estufa (desde una workstation o vía Internet), el manejo de alarmas, almacenamiento de datos históricos y envío de mensajes al celular o mail. Tiene el inconveniente de que no realizan un diagnóstico de fallas de sus principales motores.

C. J. Verucchi y G. G. Acosta realizaron un trabajo cuyo propósito consistió en revisar las principales alternativas en el campo del diagnóstico de fallos en máquinas de inducción y en efectuar una comparación de las prestaciones de cada una de ellas en función de la información que requieren para el dictamen, el número e importancia de los fallos que pueden detectar, la rapidez con la que son capaces de anticipar un fallo y el grado de certeza en la calificación final. Sólo que estas técnicas se expresan aisladas y no se combinan para obtener un análisis general del motor de inducción y no implementan un sistema de supervisión.



Dentro del programa de desarrollo tecnológico la empresa ALFEX S.A. ha firmado recientemente un contrato para el desarrollo, en conjunto con la Universidad de Montevideo, de un equipo para detección y diagnóstico de fallos en motores asíncronos de inducción. En este artículo se presentan los avances obtenidos en la ejecución del proyecto, las técnicas de detección utilizadas, los ensayos realizados en el banco de pruebas y los resultados de los mismos, con el fin de obtener una metodología eficiente de monitoreo, detección y diagnóstico de fallas en motores asíncronos de gran porte. Tiene como inconveniente la no implementación de un sistema continuo de medición.

Wilver Fonseca Ramos realizó una investigación con el objetivo de proponer mejoras a través del estudio de las fallas más frecuentes en los años 2007 y 2008 ocurridas en los motores de inducción en la planta de Calcinación y Sínter de la Empresa de Níquel Cmte. Ernesto Che Guevara de Moa. La necesidad de lograr una estabilidad en los motores de inducción debido a la gran cantidad de fallas fue lo que motivó a la realización del estudio realizado por las pérdidas que ocasionan en la producción de níquel.

1.8 Conclusiones parciales.

Se realizó una descripción del proceso productivo y una caracterización de los motores de la planta de horno de la empresa Cmdt. Ernesto Che Guevara. Demostrando que los motores eléctricos cumplen un papel importante en el funcionamiento de esta. Debido a esto fue imprescindible conocer las principales fallas que los afectan. Se da a conocer las nuevas técnicas y estrategias implementadas en el mundo actualmente acerca de la detección y prevención de fallas en los motores de inducción. Haciendo referencia también a los estudios realizados que tienen relación al tema abordado.



Capítulo II: Selección del equipamiento y propuesta de puesta en práctica.

2.1 Introducción.

2.2 Algoritmos de supervisión para diagnósticos.

2.3 Normativas para establecer el límite admisible de fallas

2.4 Propuesta de mantenimiento predictivo por Sistemas On-line para el diagnóstico de fallas y comparación de esta con el sistema de mantenimiento actual.

2.5 Estudio de mercado.

2.6 Caracterización del equipamiento seleccionado.

2.7 Fundamentos de SCADA.

2.8 El sistema SCADA Citect.

2.9 Conclusiones parciales.

2.1 Introducción.

Innovadores equipos y métodos de medición alcanzan una alta precisión geométrica y permiten el análisis de vibraciones, que pueden incrementar la disponibilidad de la maquinaria, promover la detección de daños precozmente, y a su vez, ahorrar en costes.

Todos los sistemas de monitoreo de vibraciones, se basan en mediciones periódicas, que se efectúan sobre la máquina objeto, sin embargo en muchos casos es imprescindible implementar lo que se conoce como monitoreo permanente o continuo. Su aplicación permite tener en todo momento controlado el estado funcional de la maquinaria, además de que permite obtener un aviso inmediato de todo cambio brusco que se pueda producir en la máquina, cuyo funcionamiento continuo es imprescindible y vital para la producción. Además de que, los fallos se detectan inmediatamente o en muy poco tiempo,



disparándose señales de alerta o alarma, antes de que se produzca una avería grave o catastrófica.

2.2 Algoritmos de supervisión para diagnósticos.

A partir del procesamiento de las señales eléctricas proporcionadas por los sensores del proceso, el sistema es capaz de producir una pluralidad de señales que indican anomalías diferentes. El procesamiento automático consiste en comparar los valores instantáneos de algunas de las variables medidas con unos límites almacenados en memoria a partir de la respuesta estimada por modelos matemáticos produciendo señales de anomalías si las variables medidas superan sus límites de funcionamiento normal. El sistema de monitorización también indica el estado actual del sistema y las prestaciones que proporciona en cada momento, de forma que si las prestaciones se alejan de los valores esperados se produce un síntoma de anomalía que es analizado por el módulo de diagnóstico de fallos.

2.3 Normativas para establecer el límite admisible de fallas.

En la actualidad es necesario contar con estándares y normas que avalen la configuración correcta de los puntos de medición, incluyendo la posición de la colocación del sensor, el tipo de sensor, el indicado montaje del sensor y por supuesto los límites condenatorios o alarmas pertinentes para cada maquinaria a incluir en el programa. Para tal efecto es necesario adquirir por lo menos las normas ISO 10816-1 e ISO 10816-3, las cuales especifican la localización de los puntos de medición y los niveles máximos de vibración permisibles por cada maquinaria de la industria.

Ubicación de los sensores

En general es deseable colocar el sensor lo más cerca posible del rodamiento, con metal sólido entre el rodamiento y el sensor.

Para la medición de las variables que determinan las vibraciones se recomienda que los sensores estén distribuidos como se observa en la **Figura 2. 1**. La causa del exceso de vibración puede tener que ver con la posición de la sonda al realizar la medición (planos horizontal, vertical o axial).

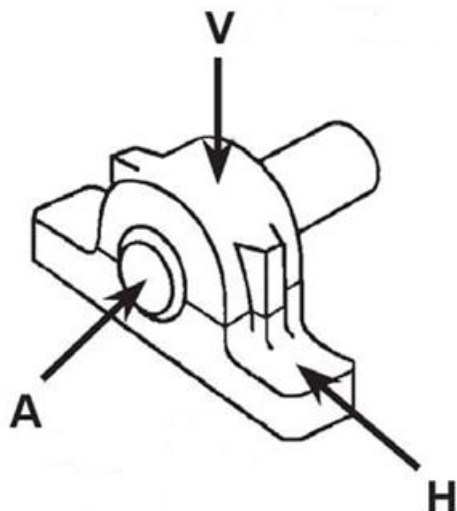


Figura 2. 1 Ubicación de los sensores de Vibración.

Aislamiento

Hoy en día los sistemas de aislamiento han mejorado notablemente y son capaces de soportar mayores temperaturas sin sacrificar su vida esperada.

La máxima temperatura de operación de un motor depende principalmente de los materiales usados en su construcción, existen varias clases, pero las más usadas son:

- Aislamiento clase B, temperatura máxima 130°C
- Aislamiento clase F, Temperatura máxima 155°C
- Aislamiento clase H, temperatura máxima 180°C

Dichas temperaturas máximas, son a las cuales el aislamiento podría colapsar.

Los motores de la planta de horno están compuestos por un aislamiento de clase F por lo que la alarmas de temperatura no debe superar el 155°C.

En termografía IR es posible detectar una falla en el aislamiento de un motor si se tiene la clase de aislamiento del mismo (dato de placa). Generalmente al medir la temperatura de la carcasa del motor, asumimos que el aislamiento está en 20°C más alto que esta. Por ejemplo, si observamos que la temperatura de la carcasa de un motor clase B es de 120°C,



podría estar muy seguro que la temperatura del aislamiento esta a por lo menos 140°C excediendo la temperatura máxima permitida para esa clase de aislamiento. El aislamiento pierde muy rápido sus propiedades al aumentar la temperatura, este mismo motor en vez de durar aproximadamente 15 años, duraría alrededor de 3 años.

2.3.2 Temperatura de rodamientos

Estos están contruidos con aceros de temple (SAE 52100) el cual contiene aproximadamente un 1% de carbono y un 1.55 % de Cromo (bolitas y pista), con una gran pureza (según norma DIN/ISO 281 para fabricación de rodamientos). Su temperatura de funcionamiento puede ser de hasta 125 °C, aunque existen rodamientos con materiales especiales que pueden soportar más temperatura.

2.3.4 Vibración

La severidad de vibración es indicada de una forma más precisa midiendo la velocidad, aceleración o desplazamiento según el intervalo de frecuencias entre la que tiene lugar, así para bajas frecuencias, por debajo de 600 cpm, se toman medidas de desplazamiento. En el intervalo entre 600 y 60.000 cpm, se mide velocidad (tabla 3), y para altas frecuencia, mayores a 60.000 cpm, se toman aceleraciones.



Tabla 3: Norma ISO 10816-3 para velocidad de vibración.

Tabla C. Norma ISO 10816-3 para Velocidad de Vibración								v r.m.s. mm/s	v r.m.s. inch/s	Velocidad Vibración 10 - 1000 Hz n > 600 1/min (2 - 1000 Hz n > 120 1/min)
								11	0.433	
								7.1	0.280	
								4.5	0.177	
								3.5	0.138	
								2.8	0.110	
								2.3	0.091	
								1.4	0.055	
								0.71	0.028	
rigida	flexible	rigida	flexible	rigida	flexible	rigida	flexible	Fundación		
Bombas> 15 kW radial, axial, diagonal				Máquinas medianas 15 kW < P ≤ 300 kW		Máquinas Grandes 300 kW < P < 50 MW		Tipo de Máquina		
Acople directo		Eje intermedio / Poleas.		Motores 160 mm ≤ H < 315 mm		Motores 315 mm ≤ H				
Grupo 4		Grupo 3		Grupo 2		Grupo 1		Grupo		

A

B

C

D

Puesta en operación recientemente.

Operación para largo plazo.

Operación para corto plazo

Vibración causando daños

Todos los mecanismos a diagnosticar en la planta de horno presentan una potencia que varía entre 15kW y 300kW (ver **Tabla 3**) por lo que su rango de velocidad de vibración estará en el grupo 2 de **Tabla 3**.

2.3.4 Aceleración

La aceleración está relacionada con la fuerza que provoca la vibración, algunas de ellas se producen a altas frecuencias, aunque velocidad y desplazamiento sean pequeños.

- Gráfico de gravedad de aceleración con envolvente

Las lecturas de vibración de los cojinetes se comparan de manera automática con los límites establecidos por SKF basados en años de análisis estadístico de las bases de datos existentes. Proveemos la **Tabla 4** de gravedad para su referencia.

Tabla 4: límites establecidos para la aceleración.

Clase	OK	Alerta	Peligro
-------	----	--------	---------



CL1	0-1 gE	1-2 gE	más de 2 gE
CL2	0-2 gE	2-4 gE	más de 4 gE
CL3	0-4 gE	4-10 gE	más de 10 gE

La Clasificación de aceleración con envolvente (CL1, CL2, o CL3) que especifique determinará los niveles de alarma de “vibración de cojinetes” del instrumento. Por lo tanto, debe seleccionar la Clase de aceleración con envolvente que mejor describa el tamaño y la velocidad general de los cojinetes que está midiendo.

Las opciones son:

CL1 Cojinetes con un diámetro interior entre 200 mm y 500 mm y una velocidad de árbol inferior a 500 RPM.

CL2 (predeterminado) Cojinetes con un diámetro interior entre 200 mm y 300 mm y una velocidad de árbol entre 500 RPM y 1800 RPM.

CL3 Cojinetes con un diámetro interior entre 20 mm y 150 mm y una velocidad de árbol desde 1800 RPM hasta 3600 RPM.

Todos los mecanismos a diagnosticar en la planta de horno presentan una velocidad en r.p.m que varía desde los 500RPM y 1800RPM debido a esto son de clase 2, vea **Tabla 1**.

2.4 Propuesta de mantenimiento predictivo por Sistemas On-line para el diagnóstico de fallas y comparación de esta con el sistema de mantenimiento actual.

Mantenimiento predictivo on-line: Su realización requiere colocar en la planta todo el equipo necesario para que la adquisición de datos sean continuos y automáticamente medidos y almacenados desde sitios fijos de medición en las máquinas que están siendo monitorizadas por sistemas autómatas.



Las ventajas de este sistema, comparadas con el mantenimiento predictivo tradicional, son muy importantes. A pesar de que el coste inicial de establecimiento del servicio es mayor, automáticamente se eliminan todos los costes de desplazamiento del personal que debe realizar las medidas, con lo cual el coste total es menor. Las medidas son directamente obtenidas en la oficina del analista, con la periodicidad requerida, con lo cual los informes del estado de la máquina pueden realizarse en un menor plazo.

Se propicia, además, una mayor implicación del analista con el estado del equipo, ya que, ante cualquier alarma o aumento de vibración, se pueden tomar más datos de las máquinas. El único obstáculo existente hoy en día para la popularización de este servicio es, como ya se ha comentado, el del coste de implantación del sistema. Este coste, sin embargo, puede reducirse considerablemente teniendo en cuenta algunos aspectos que se están introduciendo en las empresas. En primer lugar, los costes de materiales con respecto a los de trabajo de un operario disminuyen continuamente. Esto, junto con las mejoras en la fabricación de sensores que hacen que su precio disminuya de forma continua, hará que la compra de estos no sea tan inaccesible como antes.

2.5 Estudio de mercado.

Existen varias firmas de reconocido prestigio internacional dedicadas a ofertar sistemas de monitoreo continuo (on-line) para diagnósticos de motores, Un ejemplo de estos sistemas se señalan en la **Tabla 5**.

Tabla 5: Firmas y sistemas de monitoreo on-line.

Firma	Sistema
Solartron Instruments	SI 1051 series
Brüel & Kjær	3540 (COMPAS)
SKF	M800A
Vibro -Meter	MMS



Prüftechnik AG	VibroNet
Carl Schenk	Vibro –control 5000

Cualquier oferta, o propuesta por parte de las firmas comerciales, deben ser cuidadosamente analizadas. Cualquier aceptación de oferta para la implementación de monitoreo continuo de vibraciones en motores, está sujeta a las siguientes condiciones:

- Posibilidades económicas con que se cuenta para la compra del equipamiento, así como del asesoramiento técnico y montaje.
- Complejidad y extensión que abarcará el monitoreo.
- Importancia del motor en la producción.
- Cultura tecnológica y de mantenimiento que tenga el personal vinculado a este fin.

De todas las firmas anteriores mencionadas y las cuestiones mencionadas se escogió Prüftechnik AG con su sistema VibroNet por las siguientes razones:

- Los servicios de maquinaria PRÜFTECHNIK ofrecen a nivel mundial monitorización de condiciones y alineación, incluyendo servicios de telemonitorización certificados por el correspondiente centro de diagnóstico.
- Medición de las variables necesarias para la identificación de las fallas más frecuentes en los motores eléctricos de la planta a supervisar.
- Tiene la posibilidad de conexión de una mayor capacidad de sensores lo que es de vital importancia teniendo en cuenta la cantidad de motores y variables a censar.
- Se comporta como una PC dentro de la red por medio del protocolo (TCP-IP), así establecer una fácil comunicación con el computador.



- El fabricante nos suministra catálogos, manuales e instructivos, software de todos los dispositivos y accesorios.
- Amplio conocimiento del software por parte del personal del departamento de diagnóstico de la empresa.

2.6 Caracterización del equipamiento seleccionado.

VIBRONET Signalmaster constituye un sistema de monitoreo (on-line) para maquinarias de producción con hasta 162 canales para diferentes parámetros (**Figura 2. 2**). El sistema procesa señales de vibración de todo tipo de transductores y de impulsos de choque, mediciones de desplazamiento, datos de temperatura y presión, revoluciones y señales trigger/disparador.

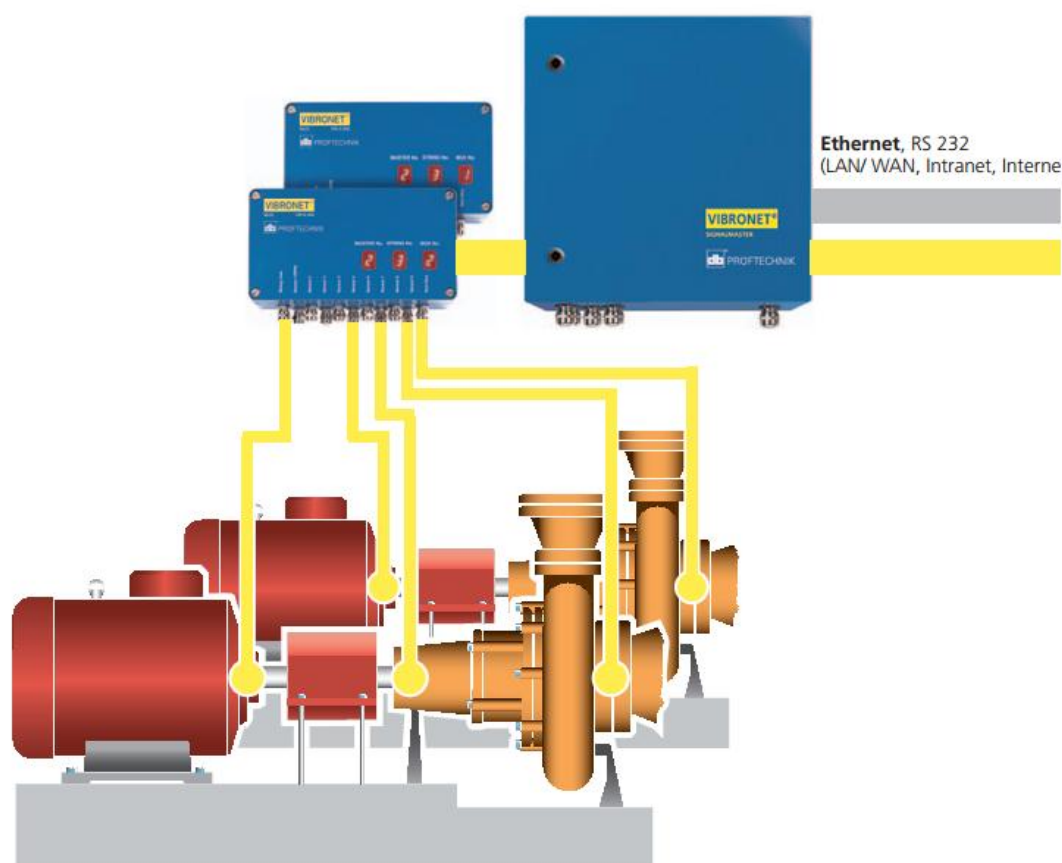


Figura 2. 2: Sistema de monitoreo on-line VIBRONET Signalmaster.



La instalación, mantenimiento y las mediciones se realizan vía on-line intranet/Ethernet o Internet. La configuración del sistema es multiplexado. Cada VIBRONET Signalmaster dispone de tres líneas con cable triaxial. En cada línea pueden conectarse hasta seis multiplexores; y por cada multiplexor, 9 sensores. En total es posible instalar hasta 162 sensores, lo que permite monitorizar un amplio número de motores en la planta.

2.6.1 Particularidades:

- Sensores (temperatura, presión, flujo, potencia, velocidad, torque, aceleración, etc.) puede ser directamente conectado.
- Las salidas digitales están disponibles para ser controlada por el actuador.
- Las salidas analógicas se proporcionan por módulos adicionales.
- Los datos de los dispositivos externos pueden ser conectados vía establecida tal como RS-232 o Ethernet.
- Algunas unidades básicas puede ser implementada a una red también con otra vía Ethernet o con otro dispositivo.
- TCP/IP, servidor Web (HTTP y FTP) y servidor de correo.
- Operación, Observación y evaluación puede ser ejecutado en la unidad base.
- TCP/IP comunicación vía internet, Intranet, LAN, WLAN, teléfono, celular y RS232.
- La unidad base es conectada al sistema del campo de bus y el sistema del control del proceso por vía de la configuración apropiada del modulo de conexión.
- El tiempo real de multi-tarea del sistema operativo coordina la interacción de programas de la aplicación, datos procesando, almacenamiento de los datos, comunicación y sistema de supervisión.



- El usuario puede cómodamente perfeccionar los parámetros de la medición y limitar valores con el software de PC OMNITREND.
- Conveniente para el uso autónomo en un ambiente industrial.
- Probado para la resistencia del clima tropical y la compatibilidad electromagnética.

2.6.2 Automatización

El VIBRONET Signalmaster no sólo es un sistema de supervisión. Debido a su capacidad de la programación, puede operar como un sistema automatizado que también está en una posición controlar el proceso y parámetros de la medición y realiza los análisis detallados en los sistemas complejos. También puede programarse para que sólo indique las posibles indicaciones iniciales de daño específico.

2.6.3 Configuración

El sistema esta pre-configurado según los requisitos de las máquinas del supervisor. Esto incluye la programación, mientras creando las páginas de HTML como la interfaz del usuario y la configuración inicial de la advertencia y valores de la alarma.

2.6.4 Estructura interna y externa del Vibronet Signalmaster.

La estructura interna del sistema se puede apreciar en la **Figura 2. 3** donde se aprecia los componentes que la constituye.

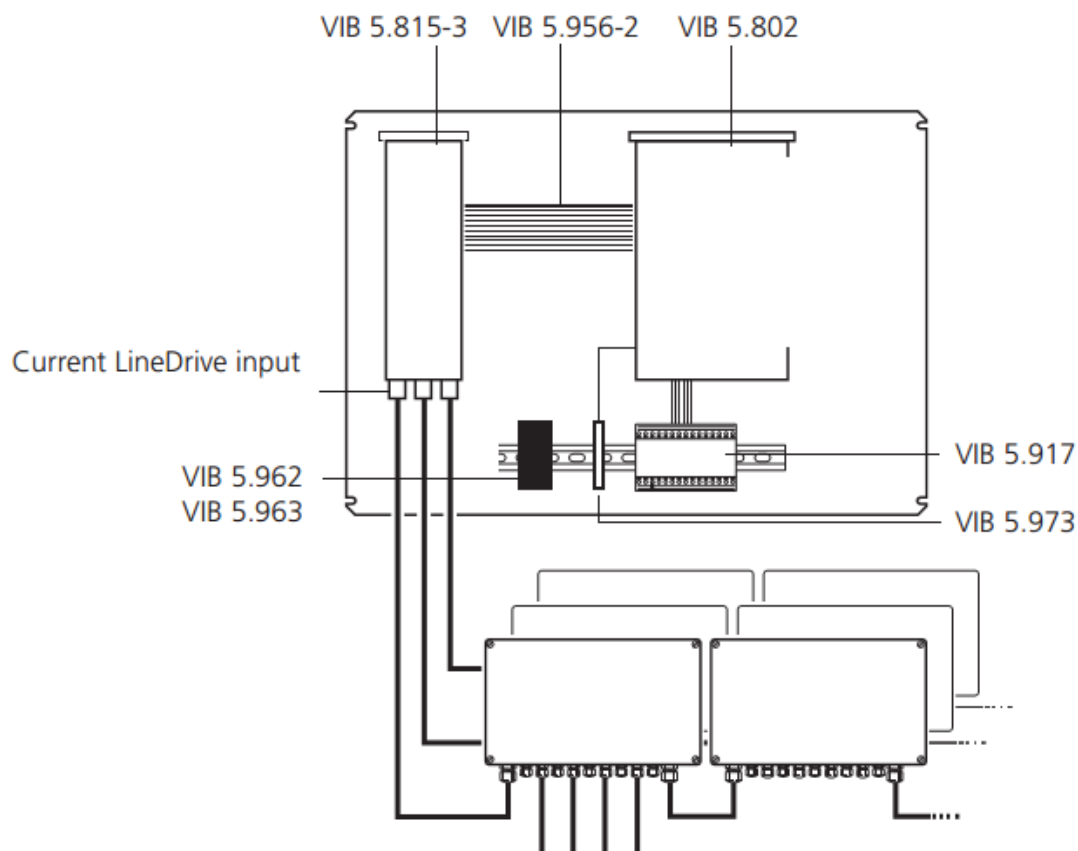


Figura 2. 3: Vibronet Signalmaster, estructura interna.

Componentes:

- VIB 5.802: VIBRONET Signalmaster unidad básica.
- VIB 5.962: Fuente de alimentación, 5v
- VIB 5.963: Fuente de alimentación, 12v
- VIB 5.956-2: Cable de intercomunicación con dos conectores.
- VIB 5.815-3: Modelo Shock pulse para tres líneas de hilo.
- VIB 5.917: Modelo de salida con dos relés SPDT
- VIB 5.973: Terminal con limitación de voltaje 5V, 5 pcs.



- VIB 9.520.G: Instrucciones de instalación
- LIT 01.800: CD ROM, Catalogo de supervisión, folletos, revistas.

Todas las entradas y salidas y visualización del estado, se pueden observar en la **Figura 2. 4.**

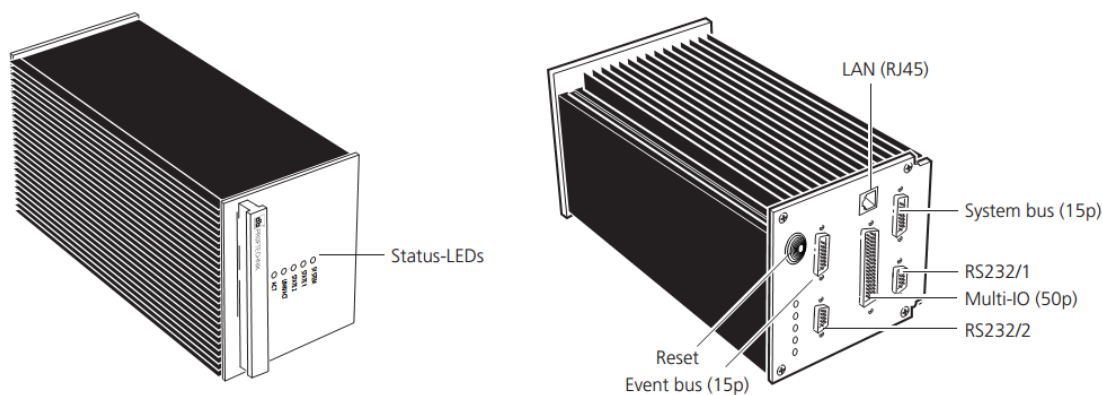


Figura 2. 4: Vibronet signalmaster, estructura externa.

2.6.5 Multiplexor de campo por VIBRONET Signalmaster.

Caracterización

Hasta seis multiplexores pueden conectarse en la serie para formar un solo hilo del bus con hasta 54 canales de medición. Hasta tres bus pueden conectarse al VIBRONET Signalmaster. En la **Figura 2. 5** se muestran los dos multiplexores a conectar.

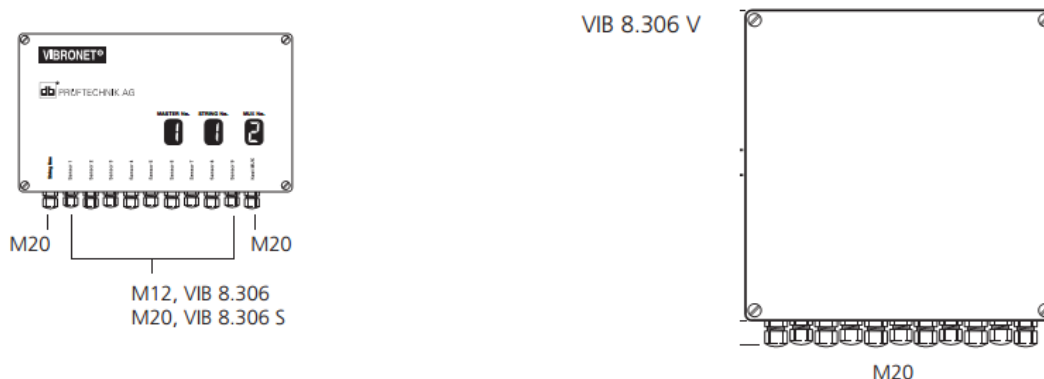


Figura 2. 5: Multiplexores de campo y el de caja inoxidable.



- VIB 8.306: El multiplexor de campo con M12 adecuado para conectarse a VIBRONET Signalmaster.
- VIB 8.306 S: El multiplexor de campo con M20 adecuado para conectarse a VIBRONET Signalmaster.
- VIB 8.306 V: El multiplexor de campo de caja inoxidable para VIBRONET Signalmaster.

Aplicación

Estos multiplexores de campo se usan como los seleccionadores de interruptor de canales en el VIBRONET Signalmaster. El multiplexor de campo industrial corregido para nueve canales de medición, reduce el número de señales a una sola conexión y, así, ahorra los costos de la instalación. La caja de acero inoxidable permite instalar el multiplexor en los ambientes químicamente agresivos.

Conexión

El cable del sensor para las mediciones de vibración se conecta directamente a la tabla del multiplexor. Para la conexión de velocidad, temperatura, corriente y sensores de voltaje se requieren los módulos especiales para el multiplexor.

Módulos especiales para el multiplexor:

VIB 8.310: Módulo de temperatura para multiplexor de campo de VIBRONET.

VIB 8.312: Módulo de los parámetros (corriente/voltaje) para multiplexor de campo de VIBRONET.

VIB 8.313: Módulo de velocidad para multiplexor de campo de VIBRONET.

Estos módulos se pueden observar en la **Figura 2. 6**.

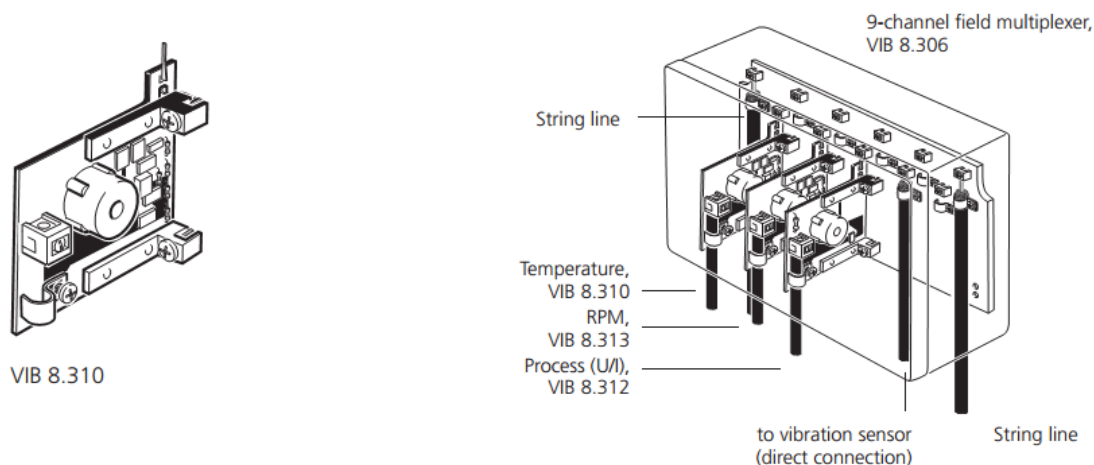


Figura 2. 6: módulos especiales para los multiplexores.

Aplicación

Estos módulos se requieren para la conexión del cable del sensor apropiado en el multiplexor de campo VIBRONET.

Descripción

El módulo VIB 8.310 convierte el valor de resistencia debido a la temperatura (VIB6.610) en un signo digital de corriente.

El módulo VIB 8.312 permite la conexión de la medida instrumentada con una corriente normal o el rendimiento de voltaje normal (4-20 MA, 0-10V). Esto permite supervisar los parámetros del proceso. El módulo VIB 8.313 se usa para conectar un sensor de velocidad al multiplexor. Se conectan los acelerómetros de tipo CLD directamente a la placa del multiplexor.

2.6.6 OMNITREND para VIBRONET Signalmaster.

El modo multiusuario para red del software del PC, almacena datos de medición en una sola base de datos, prepara rutas para su colección y muestra los resultados fácilmente. Herramientas prácticas dan soporte en el proceso de evaluación de datos y documentación.

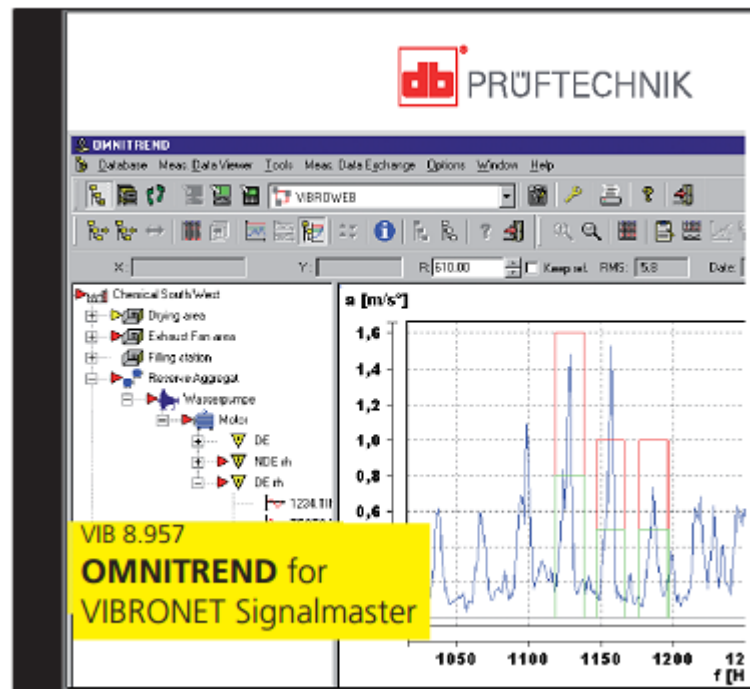


Figura 2. 7: Software OMNITREND

Web Report – Crea informes personalizados para analizar condiciones de maquinaria mediante códigos de alarmas de colores en los informes, para identificar problemas de maquinaria fácilmente.

Online View – Visualiza datos de medición de sistemas on-line y condiciones de maquinaria en tiempo real.

Intercambio de datos

Intercambio de datos entre OMNITREND y sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS).

- Intercambio de datos de medición.
- Envío de mensajes de estado.

2.6.7 Ventajas del VIBRONET Signalmaster.



La supervisión de vibraciones en on-line detecta todos los fallos independientemente de su tiempo de desarrollo, eliminando la incertidumbre de los posibles fallos que se puedan producir entre mediciones periódicas tomadas con instrumentos portátiles.

Se elimina el coste de la mano de obra dedicada a la recolección de datos, la cual se realiza automáticamente. La repetitividad de los datos es máxima porque se obtienen en el mismo punto y con el mismo sensor. Los cálculos de tendencias son más fiables.

Es posible configurar avisos por superación de niveles de alarma o programar paradas de máquinas.

Interfaces del Supervisor para el diagnóstico.

VIBRONET Signalmaster opera como un servidor web. Por esto, el interfaz de datos establecido es el TCP/IP el protocolo de Internet. Así, el VIBRONET Signalmaster puede integrarse directamente como otra computadora en una red existente. Entonces pueden accederse los datos de cualquier punto de la red o, incluso de fuera de la red vía router. Los intercambios de datos en el sitio son posibles vía Ethernet (TCP/IP), LAN, WLAN o una conexión del cable de serie, vía RS232 (el protocolo de PPP). En nuestro sistema el protocolo a implementar será el de Ethernet (TCP/IP), aprovechando la infraestructura existente en la empresa.

Habilitando la comunicación del OMNITREND con un sistema on-line

La activación de la comunicación con un sistema on-line es diferente de la activación de un coleccionista de datos de medida. Por consiguiente, seguimos las instrucciones dadas por el fabricante para establecer la comunicación entre OMNITREND y VibroNet.

Asegure que el sistema en línea se conecta correctamente en la red y se enciende.

Haga clic en <Opciones> / <Registration/Configuration>: (Ver **Figura 2. 8** Comunicación entre OMNITREND y VibroNet -a.)

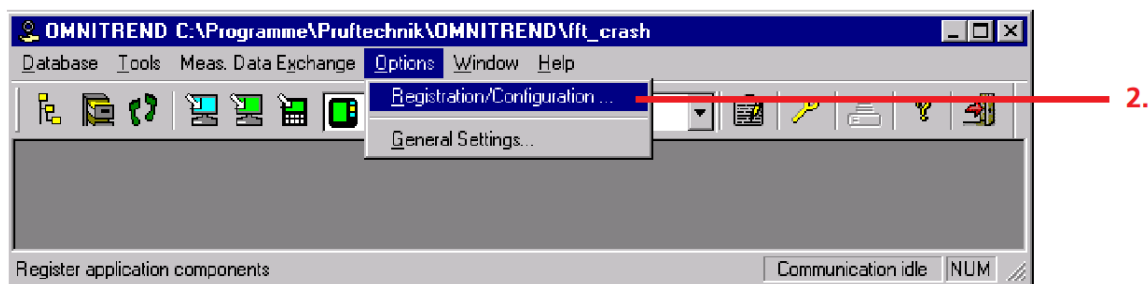


Figura 2. 8 Comunicación entre OMNITREND y VibroNet -a.

Haga clic en 'Dispositivo de Medición ' en la hoja de propiedad y entonces haga clic en <Obtener ID>. Entre la dirección IP y, si es necesario, la máscara subred así como entrada del sistema en línea. Entonces haga clic en <OK>: (Ver **Figura 2. 9** Comunicación entre OMNITREND y VibroNet -b.)

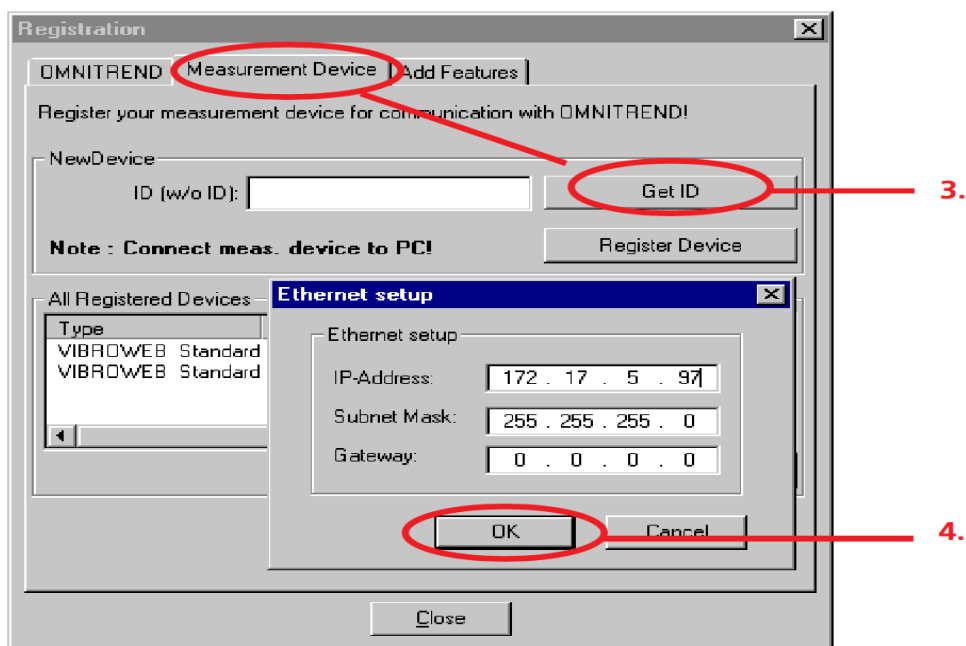


Figura 2. 9 Comunicación entre OMNITREND y VibroNet -b.

5. Entre en el nombre del sistema on-line, que en nuestro caso es VibroNet Signalmaster. Click en <OK>: (Ver **Figura 2. 10** Comunicación entre OMNITREND y VibroNet -c.)

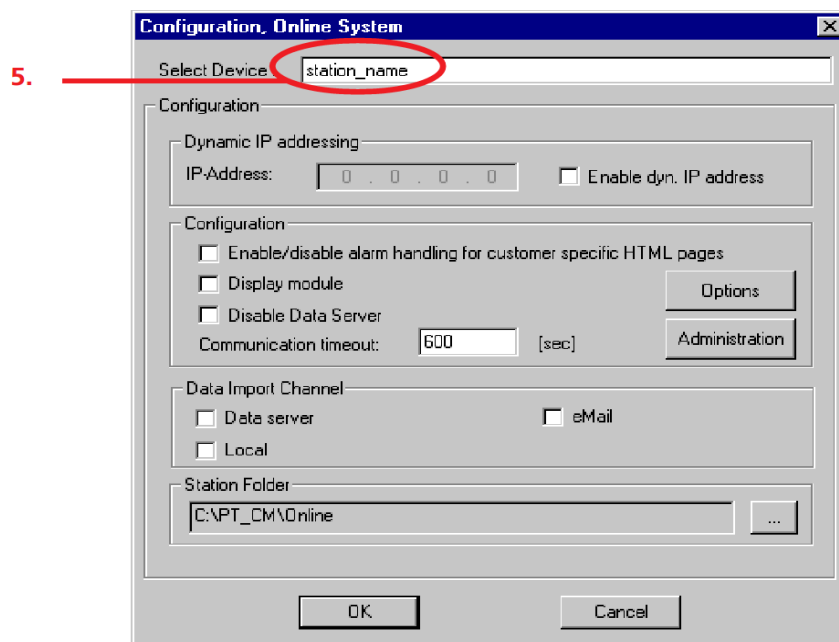


Figura 2. 10 Comunicación entre OMNITREND y VibroNet -c.

6. El número de ID del sistema on-line es transferido y aparece en el campo 'ID '. Haga clic en <el dispositivo del Registro> y entra la contraseña: (Ver **Figura 2. 11** Comunicación entre OMNITREND y VibroNet -d.)

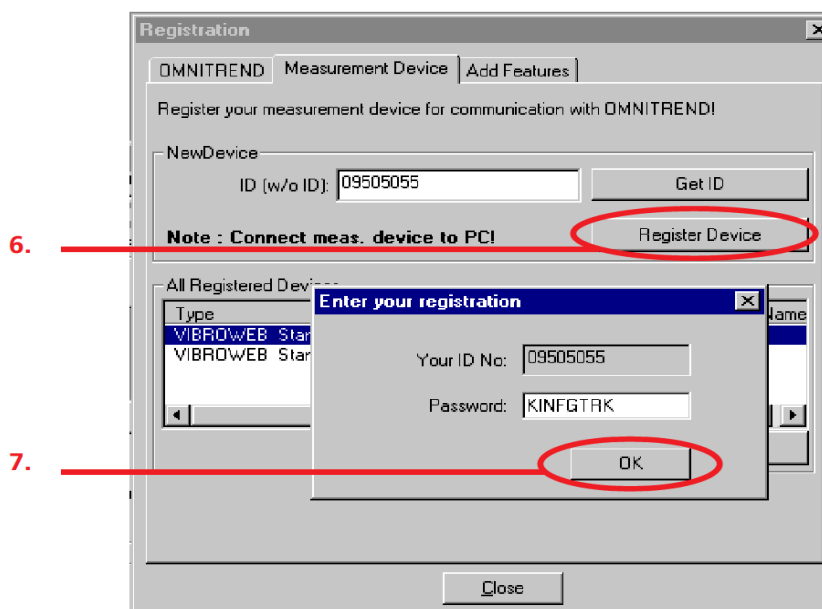


Figura 2. 11 Comunicación entre OMNITREND y VibroNet -d.

7. Haga clic en OK para finalizar.



Ya establecido la comunicación del programa con el sistema on-line se requiere además una protocolo para la transferencia de datos entre Omnitrend y CitectScada. Para esto se realizó una minuciosa investigación acerca de las posibles vías de comunicación de estos dos software. Llegando a la terminación de que el protocolo OPC es el más indicado para dicha comunicación.

¿Qué es OPC? De forma resumida, OPC es un protocolo de comunicaciones abierto que permite la comunicación entre aplicaciones informáticas y que permite la interoperabilidad entre diferentes fabricantes de software y hardware.

OMNITREND Web - OPC Client / Master: habilita la comunicación vía OPC y permite intercambiar informaciones entre la base de datos de medición del software de PC OMNITREND y los 'Sistemas de Registro de Datos y Control de Supervisión' o SCADA.

2.7 Fundamentos de SCADA.

SCADA viene de las siglas de "Supervisory Control And Data Adquisition", es decir: adquisición de datos y control de supervisión. Se trata de una aplicación 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 proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

En este tipo de sistemas usualmente existe un ordenador, que efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y control de procesos. 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 controlar dichos procesos.



Los programas necesarios, y en su caso el hardware adicional que se necesite, se denomina en general sistema SCADA. Estos funcionan por niveles representados en la **Figura 2. 12.**

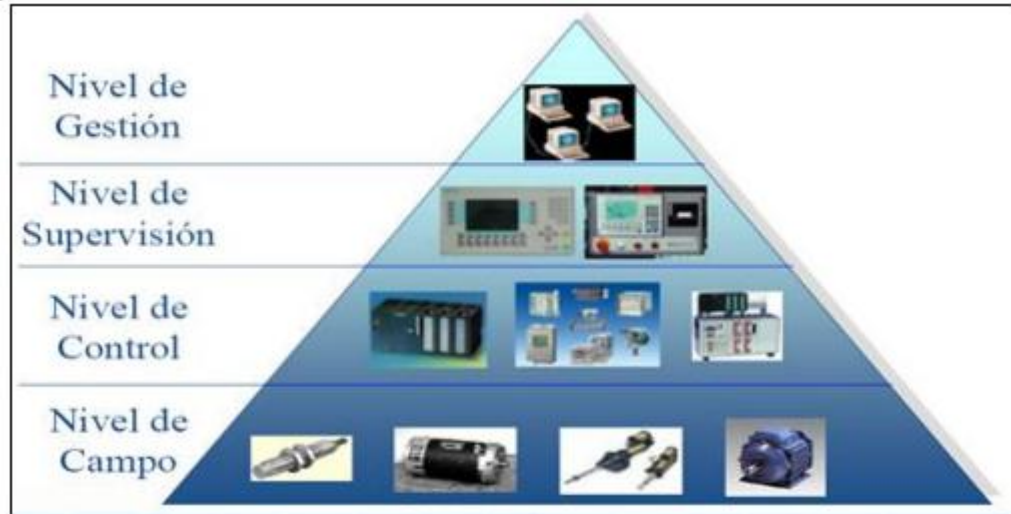


Figura 2. 12: Niveles de funcionamiento de un sistema SCADA.

2.7.1 Prestaciones que debe ofrecer un paquete SCADA:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de históricos de señal de planta, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso anular o modificar las tareas asociadas al autómata, bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador.
- Con ellas, se pueden desarrollar aplicaciones para ordenadores (tipo PC, por ejemplo), con captura de datos, análisis de señales, presentaciones en pantalla, envío de resultados a disco e impresora, etc.



- Además, todas estas acciones se llevan a cabo mediante un paquete de funciones que incluye zonas de programación en un lenguaje de uso general (como C, Pascal, o Basic), lo cual confiere una potencia muy elevada y una gran versatilidad. Algunos SCADA ofrecen librerías de funciones para lenguajes de uso general que permiten personalizar de manera muy amplia la aplicación que desee realizarse con dicho SCADA.

2.7.2 Requisitos.

- Un SCADA debe cumplir varios objetivos para que su instalación sea perfectamente aprovechada:
- Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).
- Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables con el usuario.

2.7.3 Módulos de un SCADA.

Los módulos o bloques software que permiten las actividades de adquisición, supervisión y control son los siguientes:

- Configuración: permite al usuario definir el entorno de trabajo de su SCADA, adaptándolo a la aplicación particular que se desea desarrollar.
- Interfaz gráfico del operador: proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta. El proceso se representa mediante sinópticos gráficos almacenados en el ordenador de proceso y generados desde el editor incorporado en el SCADA o importados desde otra aplicación durante la configuración del paquete.



- Módulo de proceso: ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores actuales de variables leídas.
- Gestión y archivo de datos: se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- Comunicaciones: se encarga de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA, y entre ésta y el resto de elementos informáticos de gestión.

2.8 El sistema SCADA Citect.

Citect / SCADA se utilizan en una diversidad de aplicaciones, y en muchas industrias. Sea cual sea su aplicación, es una herramienta que ofrece un efectivo sistema de monitoreo y control en las plantas de procesos. La arquitectura cliente-servidor proporciona muchos beneficios para grandes y pequeñas aplicaciones por igual, se tiene la flexibilidad de elegir el diseño del sistema, confiando en que será rápido, eficiente, escalable y completamente.

2.8.1 Ventajas del Citect:

- Proporciona a los operadores un control total con gráficos claros y concisos.
- Posibilidad de añadir botones en las diferentes páginas, para realizar tareas simples o múltiples.
- Animaciones sofisticadas de diseño para mostrar el estado de funcionamiento y el rendimiento de la planta.
- Mensajes de texto de pantalla y gráficos que muestran el estado de un proceso o el estado de las alarmas.
- Configuración de proyecto en varios idiomas.
- Comandos de teclado que funcionan para todas las páginas o páginas individuales.
- Supervisión, control y registro para todas las alarmas, en varios formatos.



- Proporcionar históricos en tiempo real y tendencias desde los milisegundos en formato gráfico.
- Monitorear el desempeño y la eficiencia a partir de las tendencias de las variables del registro de datos.
- Generar informes periódicos y orientados a eventos en formato de texto enriquecido (RTF).
- Sistema de seguridad de múltiples capas, que permite a su personal el acceso a las áreas que tiene permitida.

2.8.1 El entorno de configuración

El entorno de configuración se compone de un conjunto de herramientas que se utilizan para construir el sistema de ejecución (RUNTIME). La configuración se centra en el Explorador de Citect, que se utiliza para crear y gestionar proyectos.

Los proyectos se utilizan para organizar los datos de configuración en la lógica de forma organizada. El diseño de un sistema puede ser usado en uno o más proyectos a la vez, dependiendo de la modularidad de su planta.

El entorno de configuración del Explorador de Citect cuenta con tres ventanas:

1. Ventana principal del Explorador Citect.
2. Ventana del Editor de Proyecto.
3. Ventana de Diseñador de Gráficos

Ventana principal del explorador Citect

El Explorador de Citect se utiliza para crear y administrar los proyectos SCADA. La **Figura 2. 13** muestra la ventana del Explorador de Citect, al iniciar el Explorador de Citect, el Editor de proyectos y el Diseñador de gráficos se inician automáticamente, sucede lo mismo cuando se cierra el explorador, las otras dos ventanas también se cierran.

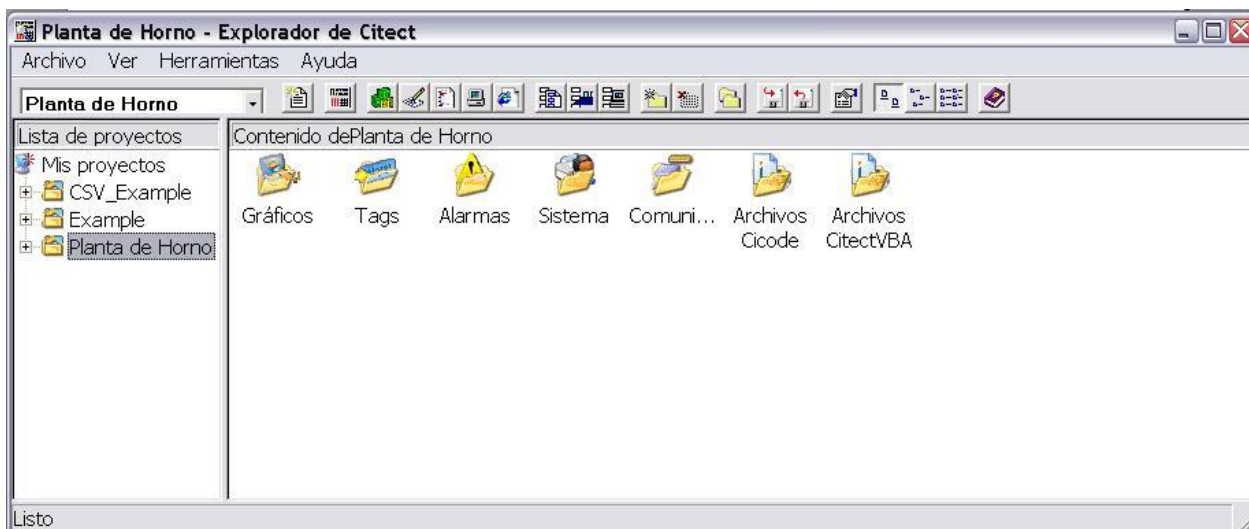


Figura 2. 13 Ventana del Explorador de Citect

Ventana del Editor de Proyecto

El Editor de Proyecto Citect es usado para editar, crear y gestionar la interface hombre-máquina (HMI), la base de datos con la información de configuración para el proyecto, y no está relacionado con los gráficos de las diferentes páginas. Todos los registros de la base de datos del proyecto se pueden ver en el Editor de Proyecto Citect. Tiene comandos específicos que son accesibles a través del sistema de menús botones. La ventana se muestra en la **Figura 2. 14**.

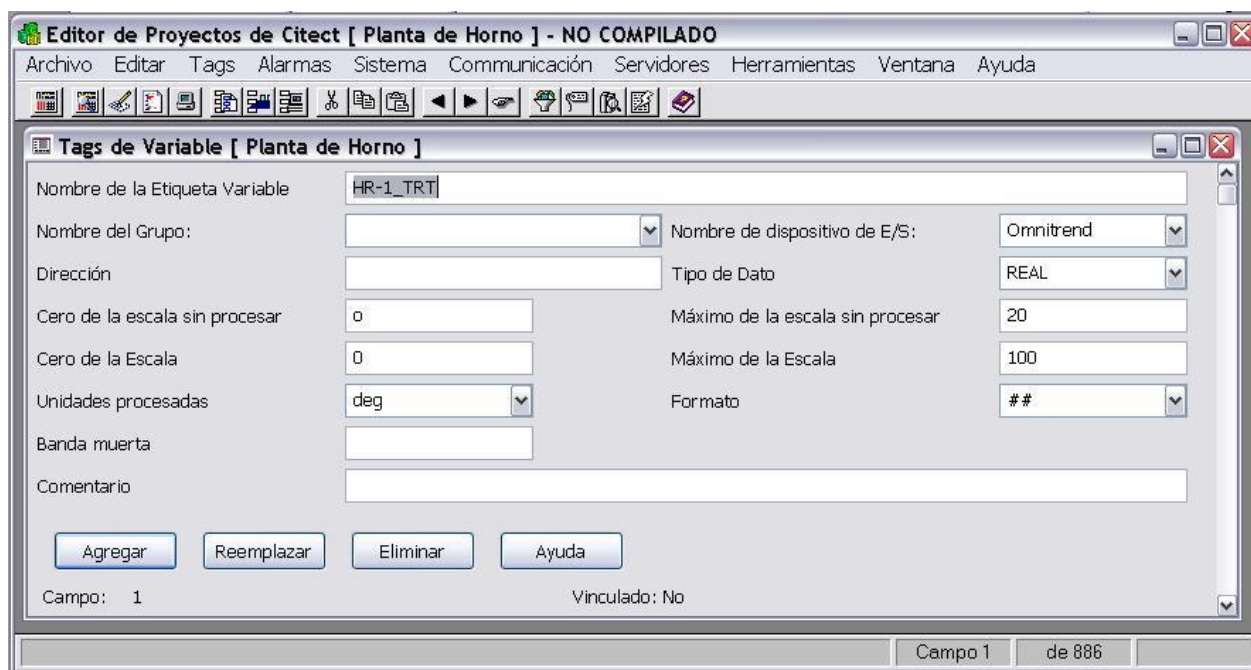


Figura 2. 14 Ventana del Editor de Proyecto Citect

El sistema de ejecución

El sistema de ejecución es la aplicación que se utiliza para controlar y supervisar su planta. Se logra un exitoso sistema de ejecución mediante la correcta utilización de las herramientas de configuración mencionados anteriormente. Una vez que se haya configurado el proyecto, se debe compilar para poner en marcha el sistema de ejecución. Para la visualización de las variables se empleó el SCADA Citect en la versión 7.10.

Configuración de la comunicación entre el Citect y el Omnitrend

En un proyecto en el SCADA Citect la configuración de la comunicación es uno de los aspectos más importante del proyecto. Existe en el Citect una estructura organizativa para la configuración la cual está estructurada por:

1. Servidor de entrada y salida de datos.
2. Tarjetas
3. Puerto de comunicación



4. Dispositivo de entrada y salida de datos.

Servidor de Entrada y Salida de datos

Para la configuración del servidor de entrada y salida se tiene que introducir en la ventana que se muestra en la **Figura 2. 15**, el nombre que llevará dicho servidor. La computadora de operación en la que correrá la aplicación, para este proyecto se nombró el servidor como PC_Server.

El nombrar la aplicación del servidor de entrada y salida de datos permite en una red de computadoras que funcionen con el SCADA Citect, la identificación del proyecto y la transferencia de información a otros niveles.



Figura 2. 15 Ventana de configuración del servidor de entrada y salida

Tarjetas

La configuración de las tarjetas permite al Citect conocer a través de cuál tarjeta física, que esté conectada a la computadora, se comunicará. En la ventana se tiene que escribir el nombre que se le asignará a la tarjeta. El tipo de tarjeta depende del protocolo de comunicación que ella soporte. La salida especial de conexión de datos es el parámetro que está directamente relacionado con el dispositivo al que nos comunicaremos, en este caso particular la comunicación es con el software OMNITREND, como se muestra en la **Figura 2. 16**.



Figura 2. 16 Ventana de configuración de las Tarjetas

Puerto de Comunicación

Los puertos de comunicación son direcciones lógicas que se establecen dentro de las tarjetas y la cantidad de puertos depende de la capacidad de la tarjeta. En las aplicaciones se tiene que declarar un puerto por cada dispositivo que se tenga que comunicar. En este caso en particular solo fue necesario configurar un solo puerto porque solo se comunicó el Citect con un el software OMNITREND. En la ventana de configuración tiene que aparecer el puerto declarado asociado a la tarjeta al cual él pertenece, como se muestra en la **Figura 2. 17.**

Figura 2. 17 Ventana de configuración de los puertos

Dispositivo de Entrada y salida de datos



Se le denominan dispositivo de entrada y salida a aquellos equipos que cuenten con algún tipo de interface de comunicación y tengan la posibilidad de intercambiar datos, estos pueden ser un PLC, un relee inteligente, un variador de velocidad u otra computadora. Cada uno de estos dispositivos a la hora de configurarlo para la comunicación, no se puede violar el nombre de la dirección que lo identifica. La **Figura 2. 18** muestra la configuración realizada para el PLC S7 400, en esta ventana existe un parámetro llamado Number, para cada dispositivo que se agregue tiene que ser diferente. Nótese que en la configuración del dispositivo que se agregue tiene que existir el nombre del servidor, el nombre del dispositivo, a través de que tarjeta se comunicará, el puerto al cual pertenece, la dirección que lo identifica, el número, y el protocolo de comunicación. Toda esta información le permite al SCADA poder conectarse al dispositivo y establecer una vía de enlace y un camino para la transferencia de datos.

Dispositivos de E/S [Planta de Horno]

Nombre de Servidor: IOServer

Nombre: Omnitrend Número: 1

Dirección: 1

Protocolo: OPC Nombre del puerto: PORT1_BOARD1

Memoria: [dropdown]

Comentario: [text area]

[Agregar] [Reemplazar] [Eliminar] [Ayuda]

Campo: 1

Figura 2. 18 Ventana de configuración del dispositivo de entrada y salida

Teniendo configurado en el Citect los aspectos referidos a el Servidor, la tarjeta, los puertos de comunicación y el dispositivo al que se desea comunicar el próximo paso que sigue es el de incorporar la variables que el sistema necesita.

Diseño de pantallas.

Las pantallas de comunicación fueron creadas para el monitoreo de los motores eléctricos de la planta de hornos. Se diseñó una pantalla de menú como se muestra en



la **Figura 2. 19** donde se muestran los botones que nos permiten la interactividad con las pantallas que se desean visualizar.

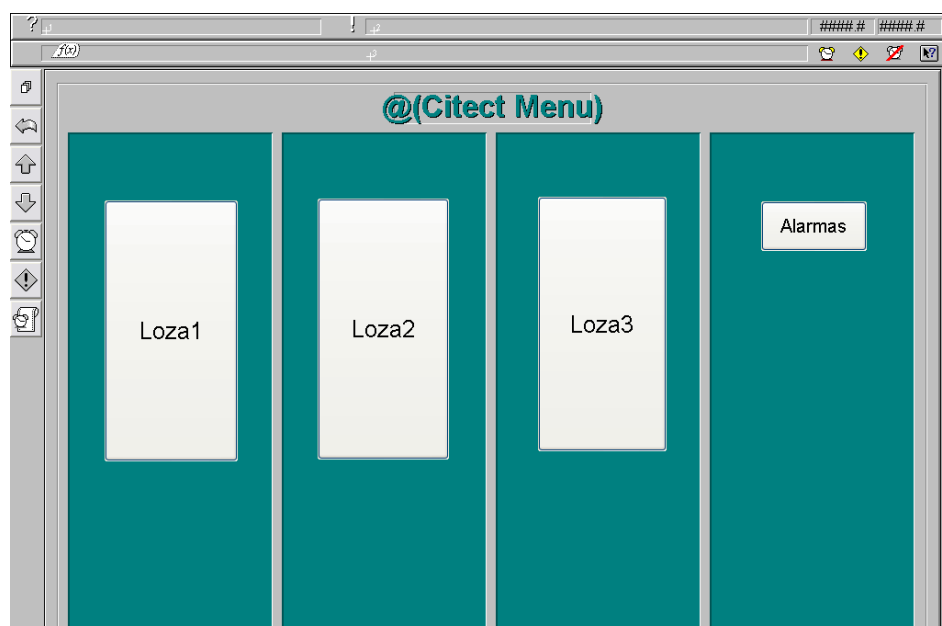


Figura 2. 19 Pantalla de menú

Se crearon 3 pantallas donde se observan las 3 lozas que componen la instalación y por cada una de ellas los motores con sus respectivas mediciones, (**Figura 2. 20**).

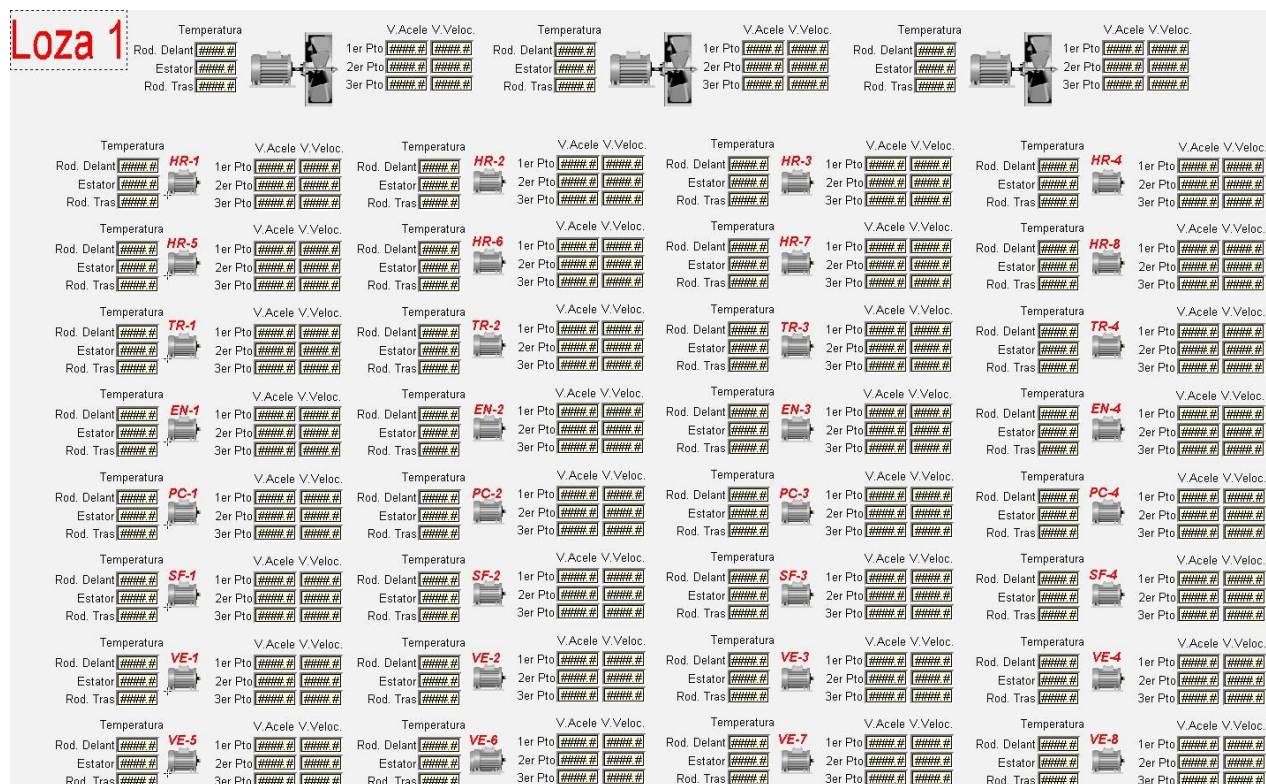


Figura 2. 20 Pantalla por de loza 1

Para una mejor representación de las alarmas de posibles fallos en estos motores se confeccionó una pantalla donde se tienen el resumen de las ocurrientes en ese momento, ver **Figura 2. 21**.

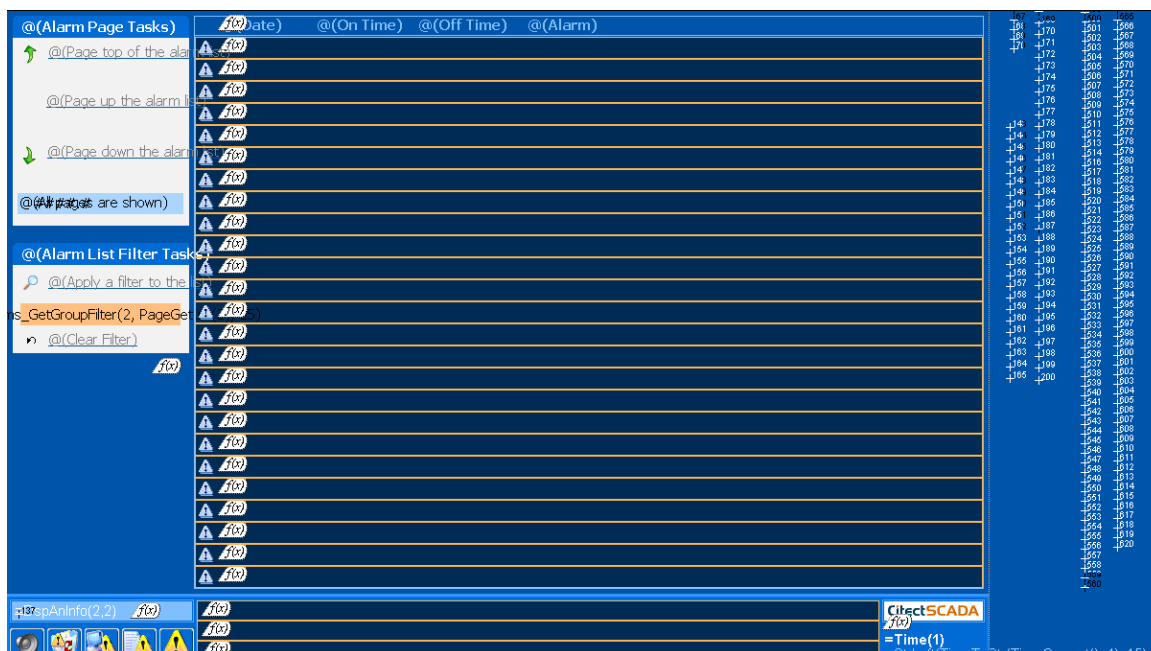


Figura 2. 21 Pantalla de resumen de alarma.

Configuración de las variables tag.

Las variables tag son las variables por la cual se rige el sistema gráfico de monitoreo y control. Estas variables son definidas en cuanto a la cantidad de elementos que se quiera visualizar de forma gráfica en el proceso, en nuestro sistema son 886 tag. En la **Figura 2. 22** se muestra la declaración de la variable tag de la temperatura del rodamiento delantero (TRD) del Ventilador de tiro forzado 21 (VE-21).

Figura 2. 22 Ventana de configuración de alarmas.

- Nombre de etiqueta variable: Es el nombre del elemento a visualizar.



- Nombre del dispositivo de entrada y salida: Dispositivo mediante el cual se establece la comunicación.
- Dirección: Dirección de almacenamiento de la variable en el PLC.
- Unidades de ingeniería: Unidades de medidas de las diferentes variables físicas u eléctricas, ejemplo Amper(A), voltaje (V), kilogramos (Kg.). etc.
- Comentario: Descripción específica del funcionamiento como variable.
- Tipo de datos: Dato físico que corresponde a la variable.
- Formato: Cantidad de dígitos mostrados en el display que sensa dicha variable, ejemplo #, ##, ### etc.

Configuración de las alarmas

Para la configuración de alarmas se escogió las analógicas como se muestra en la **Figura 2. 23** por tener la posibilidad de establecer rangos máximos medios y mínimos, además de facilitar un retardo.

Alarmas Analógicas [Planta de Horno]

Tag de alarma: HR-1_VV_01

Nombre del Grupo: [dropdown]

Nombre de la alarma: VIBRACIONES por Velocidad

Tag variable: HR-1_VV_01

Setpoint: [dropdown]

ALTA ALTA: 4.5 Alta: 2.8

Retardo Alto Alto: 00:00:05 Retardo Alto: 00:00:05

Baja: 0.14 BAJA BAJA: 0.13

Retardo bajo: 00:00:00 Retardo Bajo Bajo: 00:00:00

Desviación: [input] Velocidad: [input]

retardo de desviación: [dropdown]

Banda muerta: [input] Formato: ##.##

Categoría: [input] Ayuda: !CSV_AlarmConfig

Comentario: [input]

Agregar Reemplazar Eliminar Ayuda

Campo: 5

Figura 2. 23 Ventana de configuración de alarmas analógicas.

2.9Conclusiones parciales.



Primeramente se describió los algoritmos de supervisión para diagnósticos. Para la determinación de los límites de fallas se muestran las normativas estándares. Se propuso el mantenimiento predictivo por sistemas on-line para el diagnóstico de fallas de motores eléctricos, ofreciendo sus ventajas como comparación con el sistema de mantenimiento actual. Una vez analizados los aspectos anteriores se pudo efectuar un estudio de mercado donde se investigó las ofertas en el mercado mundial de los equipamientos que realizan monitoreo on-line que se corresponda a nuestras necesidades. Ya seleccionado el módulo que ejecutará las mediciones se caracteriza para conocer las posibilidades que nos brinda y las particularidades que presenta. Conocido las interfaces de comunicación del equipamiento se hizo posible una comunicación con el software CITECT donde se observará el proceso de supervisión.



Capítulo III: Evaluación técnico económica del trabajo

3.1 Introducción.

3.2 Costo por reparaciones.

3.3 Costo de las Ton de Ni+Co Perdidas.

3.4 Pérdidas promedio Anuales por masa de Ni+Co no enviada a Lix.

3.5 Gastos de inversiones.

3.6 Cálculo de tiempo de amortización.

3.7 Conclusiones parciales.

3.1 Introducción.

Efecto económico provocado por las constantes averías en los motores debido a altas vibraciones y temperatura, por deficiencias en el sistema mecánico, malas operaciones del sistema tecnológico, agresividad del medio, trayendo consigo pérdidas productivas contables y no contables en la producción final de la planta.

En los últimos años de operación de la planta, los motores han sufrido inestabilidad ante la presencia inoportuna de averías eléctricas producto a una serie de deficiencias en el sistema mecánico y tecnológico.

3.2 Costo por reparaciones.

Para la determinación de las pérdidas productivas se tomaron las averías ocurridas entre los años 2007- 2010 mostrado en la **Tabla 6** tomando como referencia la cuantía de los motores averiados y los costos por reparaciones en el Combinado mecánico.

Tabla 6 costo por reparaciones entre los años 2007-2010.

Año	Cantidad de equipos	Importe
-----	---------------------	---------



2007	402	\$419,719,07
2008	344	\$388,984.80
2009	27	\$783.68
2010	274	281,398.32

❖ Costo total de las reparaciones = 1, 090,885.86

3.3 Costo de las Ton de Ni+Co Perdidas

Tabla 7 Costo de las toneladas de Ni+Co perdidas

Indicadores	UM	2008	2009	2010	2011	2012 (Enero)	TOTAL
Cantidad de Ni (*)	t	35,439.807	35,432.804	33,970.338	34,843.434	2,844.440	142,530.823
Costo Total	CUP	271,554,886.19	213,017,841.13	251,866,465.34	333,230,161.27	31,740,216.30	1,101,409,570.23
Costo x Toneladas	CUP/t	7,662.43	6,011.88	7,414.31	9,563.64	11,158.69	7,727.52
Ton Ni+Co Perdidas	t	200.145	356.371	231.195	260.864	129.169	1177.744
Costo de las Ton de Ni+Co Perdidas	CUP	1,533,598.87	2,142,459.25	1,714,151.36	2,494,808.67	1,441,351.29	9,326,369.43
(*) Ni en el Mineral procesado por Hornos de Reducción							

3.4 Pérdidas promedio Anuales por masa de Ni+Co no enviada a Lix.



Tabla 8 Promedio del costo de las toneladas perdidas

Años	Perdidas Toneladas	Costo x años
2008	200.15	\$7,662.43
2009	356.37	\$6,011.88
2010	231.20	\$7,414.31
2011	260.86	\$9,563.64
Promedio	262.1437823	\$7,663.06
Promedio de las toneladas de Ni + Co perdidas		\$2,008,824.60

3.5 Gastos de inversiones.

Tabla 9 Gastos de inversiones.

Equipos Diagnóstico	428,546.93 €
Materiales	131,038.56 €
Informática	45,187.78 €
Herramientas	37,420.54 €
TOTAL EN EUROS	642,193.81 €
TOTAL EN CUC	866,961.64 CUC

Costo del proyecto

Importación: 642,194.01 € / 866,193.81 CUC

Importe por servicio: 70,585.31 CUC/160,564.00 CUP



Importe total en CUC: 921,434.58 CUC/160,564.00 CUP

Resultados del costo-beneficio.

Para el cálculo del costo beneficio se emplea la relación:

$$B / C = \text{Beneficios} / \text{Costos}$$

Tabla 10 Cálculo de costo-beneficio.

Costo de las Ton de Ni+Co Perdidas en 4 años.	9,326,369.43
Costo de las reparaciones en (4 años).	1,090,885.86
Costo inicial de la inversión, USD	866,961.64
Costo- Beneficio	12.02

Como se puede apreciar la relación costo – beneficio demuestra que la inversión es amortizable en un corto período de tiempo.

3.6 Conclusiones parciales.

En este capítulo se alcanzó apreciar los grandes costos causados por las constantes averías en los motores de la planta de hornos en estos últimos cuatros años.

Se ha realizado un estudio que demuestra que el sistema de monitoreo y supervisión de diagnóstico en motores está avalada económicamente.



Conclusiones Generales

En esta tesis se ha abordado el tema, Sistema SCADA para diagnóstico de motores en la planta de horno de la empresa Cmdt. Ernesto Che Guevara. Con el fin, de proponer una herramienta para el personal de diagnóstico que le facilite la supervisión de motores eléctricos. Para esto se hizo necesario hacer un análisis de las principales fallas que provocaban paros repentinos en la instalación.

Se demostró que el mantenimiento predictivo con sistemas que realicen mediciones on-line (Vibronet Signalmaster) son los más eficientes en cuanto la predicción de fallas.

Se creó una página en CITECT para una mejor percepción del estado de cada motor en la planta de horno.

Se configuraron las alarmas teniendo en cuenta las normas avaladas que rigen el rango permisible de los diferentes parámetros y las particularidades de cada motor.

Se realizó una evaluación técnica-económica que determinó la factibilidad de la propuesta.

Con este trabajo se da un nuevo paso en las aspiraciones del mantenimiento programado y se sienten las bases para el nuevo enfoque a que debe apuntar esta actividad en toda industria, de modo que la estabilidad de su equipamiento, incidida, en gran medida en la estabilidad de su producción.



Recomendaciones.

1. Difundir el equipamiento propuesto hacia otras plantas de producción en la empresa Cmdt. Ernesto Che Guevara.
2. Implementar de manera progresiva el sistema propuesto. Teniendo en cuenta que el monto de la inversión es elevado.
3. Realizar un estudio que analice la posibilidad de implementar el método de diagnóstico de fallas de motores de inducción por análisis espectral de la corriente del estator.



Bibliografía

1. Álvarez C. J. *“Determinación de fallas en motores eléctricos” Tesis de pregrado. ISMM. Cuba. 2008*
2. FERNÁNDEZ. M; et.al. *Técnicas para el mantenimiento y diagnóstico de máquinas eléctricas rotativas*. Barcelona: Marcombo, 1998.
3. Mantenimiento predictivo en motores eléctricos (parte 5). ElectroMagazine, 2005, No. 13 Julio.
4. LORES SUÁREZ, ELVIS. *Metodología para el diagnóstico vibro eléctrico de motores de inducción*. Tesis de Maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2008.
5. Colectivo A. “Nuevas estrategias de monitoreo en línea para motores de inducción”, Grupo de Investigación en Manejo Eficiente de la Energía Eléctrica (GIMEE) – GIMEL –Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia”
6. Estupiñán P. E. A. “Alcances de la implementación de nuevas técnicas de análisis en los programas de mantenimiento predictivo – proactivo en la industria” Tesis de Maestría. Departamento de Ingeniería Mecánica – Universidad de Tarapacá. CHILE. 2007
7. Figueroa J., Estupiñán E. y P. Saavedra. Adquisición y Análisis de vibraciones en Máquinas de Velocidad Variable. Marzo del 2002. Revista Instrumentation – NI.
8. Saavedra P. y Estupiñán E. Impacto del Mantenimiento Proactivo en la Productividad. 1er Congreso Peruano de Mantenimiento, Mayo del 2001.
9. Fonseca Alpajón, D. Interfaz para comunicación de sistema SCADA de accionamientos con variadores de velocidad. Luís Delfín Rojas Purón (tutor).



Sistema SCADA para diagnóstico de motores en la planta de horno de la empresa Cmdt. Ernesto Che Guevara

Tesis en opción al título de Ingeniero Eléctrico. Instituto Superior Minero Metalúrgico Moa. 2009. 97h.

10. SCADA, catálogos y software. New York, 1998.



Anexos

Anexo 1

A continuación se muestran las mediciones realizadas a los motores eléctricos en el mes de abril del año 2012. Puntualizando las fallas que presentan.

Inspección Planta Hornos de Reducción. Abril					
No	Equipos	NE	mm/s	gE	Notas
1	Horno	1	1.4	0.0	OK
2	Horno	2	2.7	0.8	OK
3	Horno	3	4.1	0.8	Sin conector
4	Horno	4	CAPITAL		Fuera de servicio
5	Horno	5	1.4	1.6	OK
6	Horno	6	3.6	1.9	Lleno de tierra
7	Horno	7	1.3	1.2	Sin conector, orificio abierto.
8	Horno	8	1.8	0.4	Sin conector
9	Horno	9	3.6	0.2	OK
10	Horno	10	2.1	0.4	OK
11	Horno	11	2.2	1.3	Correa safada, trabaja con solo dos correas.
12	Horno	12	2.3	1.2	Tapadode tierra.
13	Horno	13	4.3	1.2	Lleno de tierra.
14	Horno	14	4.2	1.1	OK
15	Horno	15	9.3	1.2	Revisar urgente.
16	Horno	16	2.2	0.7	Sin conector
17	Horno	17	2.4	1.3	OK
18	Horno	18	2.3	1.4	OK. Ruido
19	Horno	19	3.1	1.3	Sin conector
20	Horno	20	1.6	0.7	OK
21	Horno	21	2.3	1.6	Sin conector
22	Horno	22	2.5	1.2	Sin conector
23	Horno	23	3.2	8	Sin conector
24	Horno	24	1.8	0.4	OK
EJE CENTRAL Recomendaciones					
1-Revisar problema de desalineamiento					
2-Revisar problema de acople					
3-Revisar posible rodamiento en mal estado					



No	Equipos	NE	mm/s	gE	Notas
1	Transp.	1	7.1	0.2	OK. Revisar
2	Transp.	2	13.6	2.04	OK
3	Transp.	3	2.6	1.4	OK
4	Transp.	4	3.6	0.9	OK
5	Transp.	5	7.4	0.5	OK, axial.
6	Transp.	6	5.5	0.6	OK
7	Transp.	7	Mtto		OK
8	Transp.	8	7.4	3.5	OK, axial.
9	Transp.	9	2.5	1.6	Sin conector, cae agua encima de la manguera del motor.
10	Transp.	10	2.3	1.5	OK
11	Transp.	11	4.1	1.8	OK
12	Transp.	12	3.3	1.3	OK

TRANSPORTADORES Recomendaciones

1. Revisar problema de desalineamiento.
2. Errores de acoplamiento debido a desgastes o errores de maquinado.
3. Revisar posible rodamiento en mal estado.

No	Equipos	NE	mm/s	gE	Notas
1	Enfriadores	1	3.6	0.1	Alta temperatura
2	Enfriadores	2	8.2	1.9	Alta temperatura
3	Enfriadores	3	6.1	0.2	Sin tapa inferior, sin conector.
4	Enfriadores	4	6.3	1.4	Sin tapa inferior, sin conector, alta temperatura
5	Enfriadores	5	6.9	0.1	Sin tapa inferior, sin conector
6	Enfriadores	6	5.2	1.6	OK
7	Enfriadores	7	Mtto		
8	Enfriadores	8	4.3	1.2	Sin conector.
9	Enfriadores	9	4.1	2.3	Sin conector.
10	Enfriadores	10	7.4	1.1	OK, ruido en el acoplamiento axial.
11	Enfriadores	11	6.6	1.4	Sin conector.
12	Enfriadores	12	4.3	1.2	Conector safado

ENFRIADORES Recomendaciones.

1. Revisar problema de desalineamiento.
2. Revisar problema de acople.
3. Revisar posible rodamiento en mal estado.
4. Pata del motor con desbalance (coja)
5. Falta de rigidez estructural en la base del motor.



No	Equipos	NE	mm/s	gE	Notas
1	Mezcladora	1	7.5	3.2	OK
2	Mezcladora	2	6.4	0.9	Tierra desconectada
3	Mezcladora	3	6.1	1.02	Orificio Caja abierta
4	Mezcladora	4	Capital		Fuera de servicio
5	Mezcladora	5	8.5	2.06	OK
6	Mezcladora	6	10.1	0.5	Sin conector, safado
7	Mezcladora	7	6.3	8.8	Sin conector y sin manguera
8	Mezcladora	8	15.8	1.2	OK
9	SinFin	9	10.3	1.04	Sin conector
10	SinFin	10	6.1	0.0	Sin conector en la letra
11	SinFin	11	16.2	0.9	Sin conector
12	SinFin	12	51.2	0.6	Sin conector
13	SinFin	13	6.5	0.5	Sin conector
14	SinFin	14	10.6	1.14	Sin conector
15	SinFin	15	3.2	1.9	Sin conector
16	SinFin	16	15.1	0.5	Sin conector
17	SinFin	17	20.3	0.2	Un orificio abierto en la caja del motor
18	SinFin	18	3.8	0.8	Sin conector
19	SinFin	19	3.2	0.9	OK
20	SinFin	20	2.2	1.18	Sin conector
21	SinFin	21	15.8	0.0	Sin conector y lleno de tierra
22	SinFin	22	10.7	1.1	Conector safado
23	SinFin	23	27.4	0.2	Sin conector
24	SinFin	24	6.0	1.1	OK

MEZCLADORAS Y SINFIN Recomendaciones.

1. Revisar problema de desalineamiento.
2. Revisar problema de acople.
3. Revisar juego en el piñón de alta del reductor.
4. Pata del motor con desbalance (coja)
5. Una deficiencia en las tapas que se recasquillan genera alta aceleración, incluso con el motor desconectado y además se genera alta temperatura



No	Equipos	NE	mm/s	gE	Notas
1	Post-Comb	1	3.3	0.8	OK
2	Post-Comb	2	18.8	2.3	OK
3	Post-Comb	3	8.6	3.2	OK. Revisar nuevamente
4	Post-Comb	4	Capital	Capital	Fuera de servicio, Capital
5	Post-Comb	5	10.5	1	Ruido parte mecánica
6	Post-Comb	6	20.2	2.16	Sin conector, safado
7	Post-Comb	7	6.3	1.4	Ruido parte mecánica
8	Post-Comb	8	8.1	5.2	OK
9	Post-Comb	9	4.2	3.1	OK
10	Post-Comb	10	13.3	1.02	Sin conector
11	Post-Comb	11	6.2	1.0	OK
12	Post-Comb	12	3.2	3.1	Sin conector, sin manguera
13	Post-Comb	13	5.5	2.1	Orificio abierto con salidero de aire caliente grave para el motor
14	Post-Comb	14	12.6	2.4	Alta vibraciones
15	Post-Comb	15	5.5	6.1	Sin conector
16	Post-Comb	16	10.7	1.02	Sin conector
17	Post-Comb	17	2.1	5.01	Sin conector
18	Post-Comb	18	24	1.06	Sin conector, safado
19	Post-Comb	19	17.6	3.3	OK
20	Post-Comb	20	4.3	4.2	Sin conector
21	Post-Comb	21	16.6	1.2	Sin conector
22	Post-Comb	22	14.2	7.2	OK
23	Post-Comb	23	3.2	1.4	Sin conector, safado
24	Post-Comb	24	5.1	1.14	Punto 3: 6.8 / 8.5
POST-COMBUSTION Recomendaciones					
1. El desbalance del ventilador se refleja en el motor. 2. Estos motores suelen tener poca rigidez estructural en la base del motor 3. Desalineamiento 4. Revisar problema de acople. 5. Revisar posible rodamiento en mal estado.					



No	Equipos	NE	mm/s	gE	Notas
1	VE 22	1	5.3	2.8	Sin conector
2	VE 22	2	23.8	2.3	Sin conector
3	VE 22	3	8.3	6.3	Sin conector, falta tramo de manguera hacia el motor
4	VE 22	4	21.6	10.4	Sin conector
5	VE 22	5	6.6	0.3	Sin conector
6	VE 22	6	2.7	5.3	Sin conector
7	VE 22	7	9.2	1.4	Sin conector
8	VE 22	8	5.9	6.5	Sin conector
9	VE 22	9	30	1.2	Sin conector
10	VE 22	10	18.2	4.9	Conector safado
11	VE 22	11	6.1	4.1	Sin conector
12	VE 22	12	3.5	8.0	Sin conector
13	VE 22	13	14.3	2.14	
14	VE 22	14	4.9	1.6	Sin conector
15	VE 22	15	8.5	1.6	Sin conector
16	VE 22	16	6.9	3.8	Sin conector
17	VE 22	17	3.2	1.5	Sin conector, safado
18	VE 22	18			Puesta de tierra en mal estado
19	VE 22	19	7.0	2.0	Sin conector
20	VE 22	20			Fuera de servicio
21	VE 22	21	9.2	0.2	Sin conector
22	VE 22	22	27.5	2.4	Sin conector
23	VE 22	23	7.2	2.4	Sin conector
24	VE 22	24	22.0	4.9	Sin conector

VE - NIVEL 42 Recomendaciones

1. Desgastes en la correa.

2. Excentricidad de polea y correas.

3. Tensión flectora de todo el bastidor debido a que el DUCTO le hace presión a la voluta del ventilador, una manera de observarlo es en las presiones que reciben los calzos de manera desigual, esto trae consigo que lamparte del bastidor donde se aloja el motor quede flotante.

4. Revisar las canales de las poleas, ambas deben tener los mismos desgaste. Una posible solución desmontarla y en un torno rectificarla a la medida de la que tiene mayor desgaste.

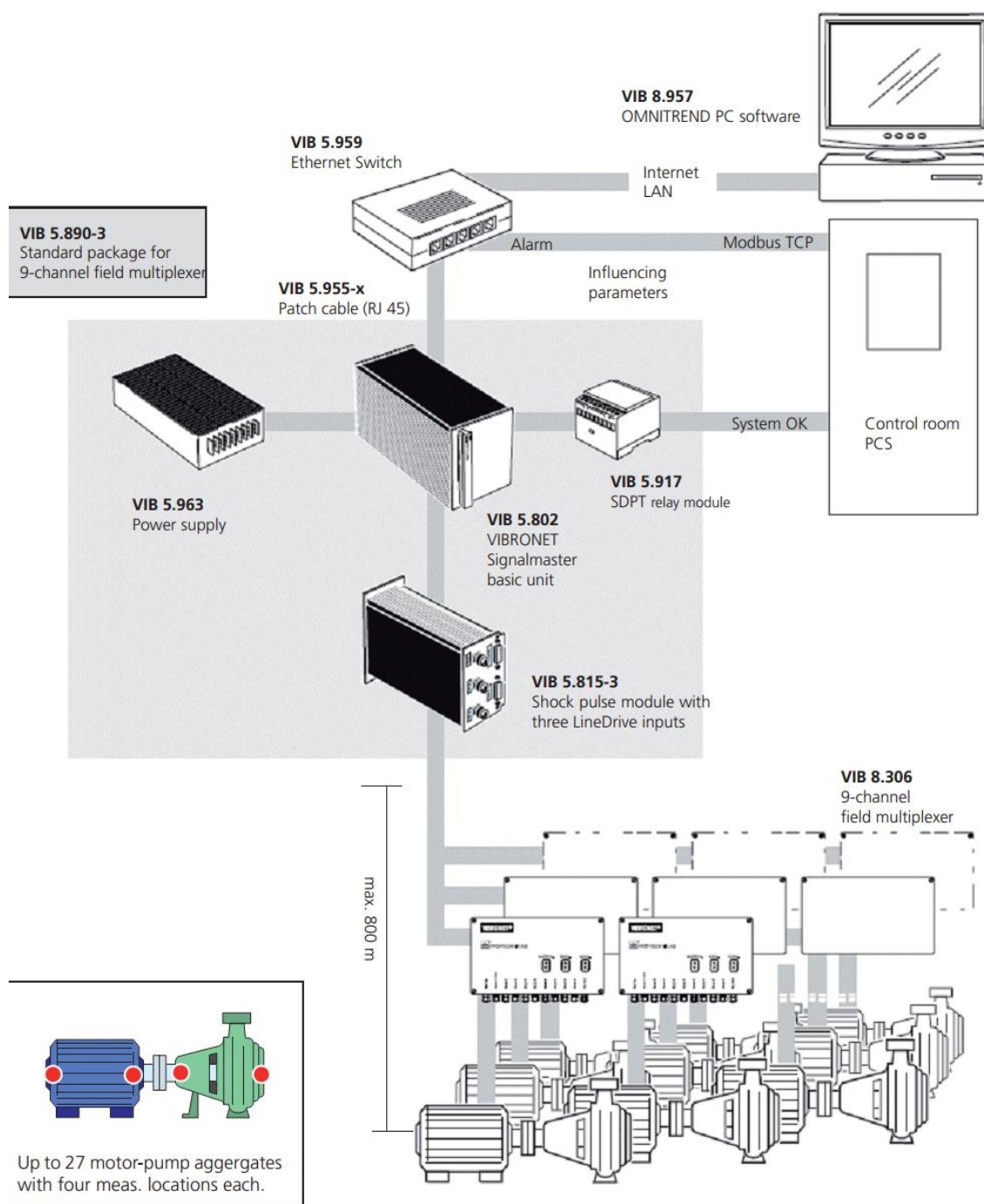
Nota: Si el polvo se incrusta entre la polea y la correa, este se comporta como un esmeril y desgasta a mayor velocidad la polea

178	Total de inspecciones
75	Alta velocidad
17	Alta aceleración.
8	Alto salidero de aceite



Anexo 2

En la figura 4 se muestra la estructura de la red de comunicación del sistema de monitorización on-line.





Anexo 3

Lista de materiales

Item	Descripción	U/M	Cant	Prescio Referencia	Importe
1	Taladro percutor	U	2	264,00 €	528,00 €
2	Taladro BOCHS	U	2	93,33 €	186,66 €
3	Pulidora radail grande	U	2	198,67 €	397,34 €
4	Pulidora radial pequeña	U	2	129,33 €	258,66 €
5	Máquina de soldar "inverter" 4,00P-230V-50/60Hz para soldadura TIG	U	1	1.470,00 €	1.470,00 €
6	Electrodos reutilo 2,5mm	KG	50	0,11 €	5,50 €
7	Eléctrodos INOX 2,5 mm	KG	50	0,80 €	40,00 €
8	Eléctrodos basicos 2,5mm	KG	50	0,27 €	13,50 €
9	Paquete de electrodos rutilo 3,25	KG	25	0,27 €	6,75 €
10	Paquete de electrodo básico 3,25	KG	25	0,37 €	9,25 €
11	Careta de soldar	U	2	17,20 €	34,40 €
12	Cristales negros de respuesto	U	5	1,20 €	6,00 €
13	Cristales transparentes de respuestos	U	5	0,67 €	3,35 €
14	Brocas 6mm para hierro 1010	U	10	1,27 €	12,70 €
15	Brocas 8mm para hierro	U	10	2,13 €	21,30 €
16	Brocas 10mm para hierro	U	10	3,33 €	33,30 €
17	Brocas 12mm para hierro	U	5	5,73 €	28,65 €
18	Brocas 6mm BIDIA	U	10	1,73 €	17,30 €
19	Brocas 8mm BIDIA	U	10	2,13 €	21,30 €
20	Brocas 10mm BIDIA	U	10	2,93 €	29,30 €
21	Guantes de cuero para instrumentación	PAR	20	3,99 €	79,80 €
22	Extensiones en carretes de 4 tomas (50 metros)	U	2	52,40 €	104,80 €
23	Juegos de llave de carracas	JGO	1	200,00 €	200,00 €
24	Carracas pequeñas	U	2	24,40 €	48,80 €
25	Basos de carraca pequeña de 10 mm	U	4	5,07 €	20,28 €
26	Discos radiales grandes 180X3	U	100	2,13 €	213,00 €
27	Discos radiales pequeños 115X2,4	U	100	1,60 €	160,00 €
28	Manta inífuga 1000X1000	U	2	20,00 €	40,00 €
29	Dobladora hidráulica 2"	U	1	1.266,67 €	1.266,67 €
30	Tornillos de rosca 6 mm (expansiones)	U	500	0,05 €	25,00 €
31	Tacos de 6 mm (expansiones)	U	500	0,05 €	25,00 €
32	Espirros M-8 8x75 (expansiones)	U	300	0,17 €	51,00 €
33	Barrraqueros 8mm (expansiones)	U	300	0,12 €	36,00 €
34	Tacos de 8mm	U	300	0,07 €	21,00 €



35	Espirros M-10 10x75	U	200	0,09 €	18,00 €
36	Barraqueros de 10 mm	U	200	0,12 €	24,00 €
37	Tacos de 10 mm	U	200	0,13 €	26,00 €
38	Teflón 12 mm (Rollito)	U	20	1,20 €	24,00 €
39	Gafas de seguridad gris solar	U	20	3,87 €	77,40 €
40	Juegos de maho M-6	JGO	10	14,40 €	144,00 €
41	Juegos de macho M-8	JGO	15	16,67 €	250,05 €
42	Bandeador de carraca para los machos de 6 y 8 mm	U	3	20,00 €	60,00 €
43	Candados de níquel Z35 arco normal	U	5	7,60 €	38,00 €
44	Tenazas pela hilos	U	5	84,00 €	420,00 €
45	Pela manguras	U	5	52,00 €	260,00 €
46	Banco de trabajo con mordaza p/ tubería y tornillo de banco	U	2	850,00 €	1.700,00 €
47	Tornillo y mordaza de tubo	U	2	360,56 €	721,11 €
48	Roscadora eléctrica desde 1/2" a 2" NPT	U	1	1.037,07 €	1.037,07 €
49	Roscadora de carraca 1/2" a 2" NPT	U	1	629,93 €	629,93 €
50	Peines para hierro desde 1/2" a 2" juegos completos	U	1	397,00 €	397,00 €
51	Taladoro de baterías, con dos baterías	U	2	495,71 €	991,43 €
52	Juegos de puntas para taladro de batería con llaves de baso	JGO	2	100,00 €	200,00 €
53	Caja de herramientas metálica pequeña (eléctricos)	U	2	1.321,96 €	2.643,92 €
54	Bolsa de herramientas en Nylon	JGO	3	1.280,28 €	3.840,84 €
55	Soldador 40W	U	4	67,42 €	269,68 €
56	Escalera de tijera 2 M	U	1	536,00 €	536,00 €
57	Escalera de dos pasos 4M	U	1	386,00 €	386,00 €
58	Cable 3 hilos apantallados (pantalla e hilos estañados) (3H+S AWG 20) con forro de PVC resistente al Sol	mts	3000	5,15 €	15.450,00 €
59	Cable de fibra óptica de 16 vías	mts	150	12,41 €	1.861,50 €
				Total	37.420,54 €

**Anexo 4****Equipos diagnóstico.**

No	Cant.	Descripción.	Precio Unit. EUR	Precio Total
		SISTEMA ON LINE		
1	4	NP: VIBCU 5.890-3 Standard package for 3 multiplexer string lines	€ 17,955.99	€ 71,823.96
2	72	NP: VIBCU 8.306 VIBRONET®-MUX w.armored tube thread, (PG)	€ 1,028.17	€ 74,028.24
3	437	NP: VIBCU 8.310 PT100 connector adapter (only for MUX w.PG-arm.)	€ 218.20	€ 95,353.40
4	1	NP: VIBCU 5.883 VIBRONET® Signalmaster device driver for OMT	€ 4,025.61	€ 4,025.61
5	3	NP:VIBCU 8.957-P PC license for VIBRONET® Signalmaster	€ 663.40	€ 1,990.20
6	1	NP: VIBCU 8.136 OMNITREND® Online View standard, 5 devices	€ 2,228.24	€ 2,228.24
7	1	NP: VIBCU 8.190 OPC Server	€ 554.31	€ 554.31
8	1	NP: VIBCU 8.127 Omnitrend OPC Client	€ 1,161.51	€ 1,161.51
		Accesorios		
9	230	NP: VIBCU 93022 TNC-plug, crimp version	€ 6.39	€ 1,469.70
10	23	NP: VIBCU 6.720 Clamp for rubber gland, cable end, 10 pcs.	€ 18.62	€ 428.26
11	23	NP: VIBCU 6.700 Dust cap for ind.accel. straight, 10 pieces	€ 72.73	€ 1,672.79
12	23	NP: VIBCU 6.721 Clamp for rubber gland, sensor end, 10 pcs.	€ 19.73	€ 453.79
13	23	NP: VIBCU 6.722 Dust cap sleeve, RG 58, 10 pieces	€ 23.14	€ 532.22
14	2	NP: VIBCU 81026 Crimping tool	€ 184.03	€ 368.06
15	2	NP: VIBCU 81052 Cutting tool for coaxial cables	€ 119.02	€ 238.04
16	2	NP: VIBCU 81053 Cable stripper for triaxial cables	€ 187.34	€ 374.68
17	6500	NP: VIBCU 90008 RG 58 coaxial cable / 50 Ohm; (Cable de los multiplexores a los sensores)	€ 2.31	€ 15,015.00
18	4000	NP: VIBCU 90080 Triaxial cable, to 80C/ 176F, with sheath (Cable de los Vibronet a los multiplexores)	€ 7.05	€ 28,200.00
19	220	NP: VIBCU 6.122 R Industr.accelerometer,M8 elec.isol.,lim.meas.range	€ 266.68	€ 58,669.60
20	7	NP: VIBCU 6.725-100 Shield connector set100 pieces	€ 281.01	€ 1,967.07
21	220	NP: VIBCU 3.431 Bonded adapter to M8	€ 14.44	€ 3,176.80
22	1	NP: VIBCU 8.745 Installation checker	€ 427.58	€ 427.58
		Puesta en marcha		
23	1	Puesta en marcha sistema on line y entrenamiento durante 25 días.	€ 30,972.80	€ 30,972.80
24	1	Costos de viaje y hospedaje del especialista de Pruftechnik y dos especialistas de Grupo CTT SA de CV	€ 8,069.12	€ 8,069.12



Sistema SCADA para diagnóstico de motores en la planta de horno de la empresa Cmdt. Ernesto Che Guevara

25	1	Entrenamiento para 4 personas en la fábrica Pruftechnik Condition Monitoring, en Ismaning , Alemania durante 5 días.	€ 14,815.00	€ 14,815.00
26	1	Gastos FCA	€ 3,190.00	€ 3,190.00
27	1	Flete Aéreo	€ 4,785.00	€ 4,785.00
28	1	Seguro de transportación Aérea.(ESICUBA)	€ 2,555.95	€ 2,555.95
		TOTAL EUROS	€ 428,546.93	