



Control Operacional y mantenimiento Centrado en la Eficiencia

Basado en

*Contenido del Manual en SMEn de la
ONUDI*

la Norma ISO 50.001

*Aportes y experiencias practicas del Grupo
de Investigación Gestión Energética de la
UA y de la ESCO E2 energía Eficiente
S.A.E.S.P.*

Ph. D. Juan Carlos Campos



SOLUCIONES ENERGÉTICAS
**NECESARIAS PARA
LA COMPETITIVIDAD
DE SU EMPRESA.**

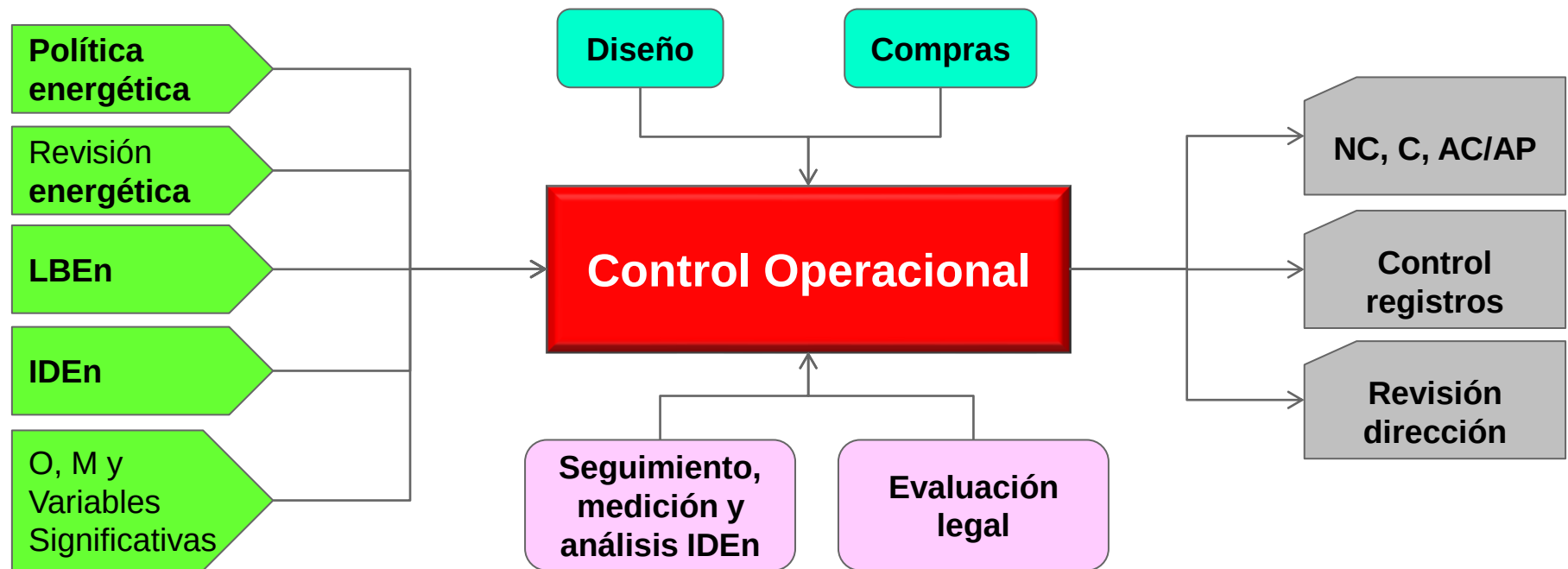
CONTENIDO



- ✓ Control operacional. Aspectos claves
- ✓ Elementos del control operacional
- ✓ Selección de variables para el control operacional
- ✓ Seguimiento, Medición y Análisis (SMA)
- ✓ Caso Sistema de Enfriamiento Planta Química
- ✓ Caso Sistema Climatización Gran Superficie.
- ✓ Mantenimiento Centrado en la Eficiencia Energética
- ✓ Metodología y Ejemplo de aplicación del MCE.

CONTROL OPERACIONAL – ASPECTOS CLAVE

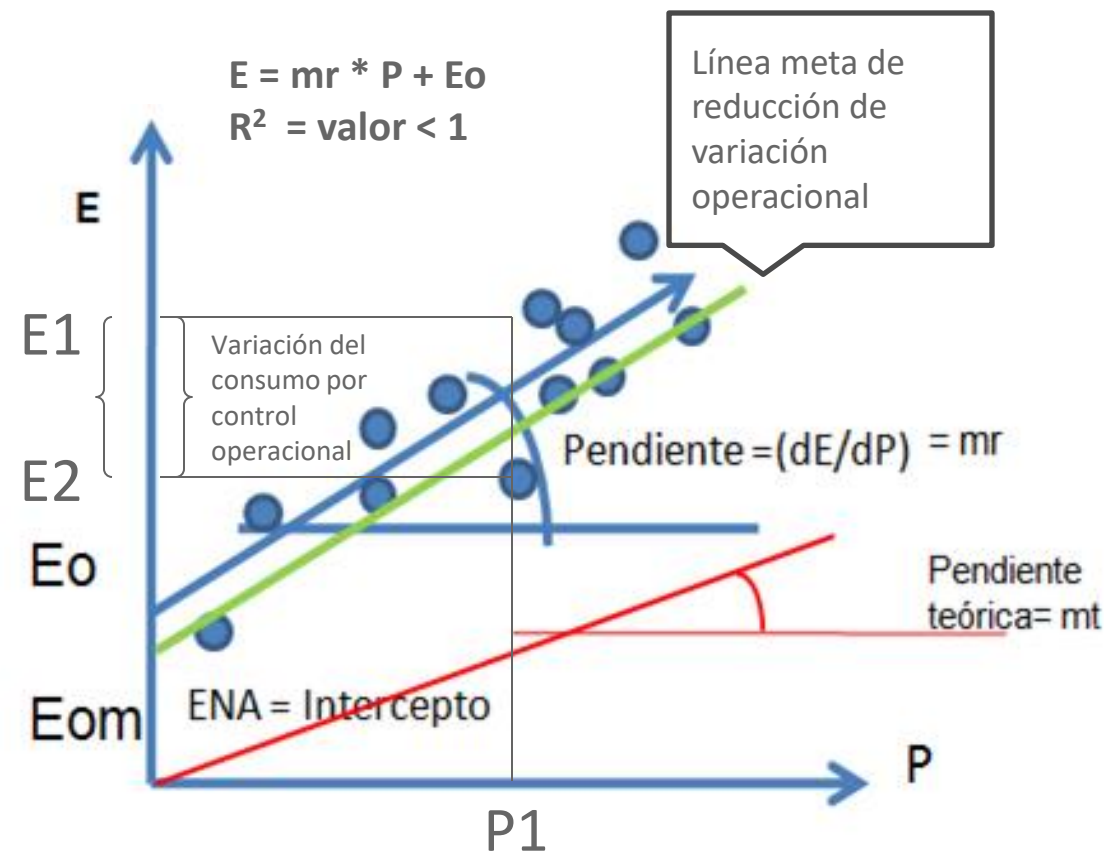
“En el control operacional se establecen las pautas para vigilar de cerca el sistema de gestión energética, con el fin de asegurar que todas las operaciones son energéticamente eficientes



Entradas

Salidas

CONTROL OPERACIONAL EN LA ISO 50.001



$$E = M * P + E_o$$

$$E_m = M_m * P + E_{om}$$

$$E - E_m = (M - M_m) * P + (E_o - E_m)$$

Potencial de ahorro por control operacional.

ELEMENTOS DEL CONTROL OPERACIONAL

1	Identifico el USEn (4.4.3)
2	Medición, registro y análisis de información de los USEn(4.6.1)
3	Establezco la línea base(4.4.4)
4	Establezco un IDE que sea comparable con la línea base y que sea capaz de medir el cambio del desempeño energético(4.4.5 y 4.4.4)
5	Identifico parámetros operacionales y de mantenimiento que afectan el uso significativo de energía(4.4.5)
6	Identifico oportunidades de mejora(4.4.3)
7	Establezco y fijo los criterios para la eficaz operación y mantenimiento(4.4.5)
8	Aplico los criterios operacionales y de mantenimiento y las mejoras operacionales(4.4.5)
9	Realizo el seguimiento y medición del desempeño energético a través del IDEs (4.4.5)
10	Registro los resultados del seguimiento(4.6.1)
11	Aplico Correcciones y Acciones Preventivas cuando el IDEs cruza la línea de No conformidad o cuando tiende a cruzarla (LB)(4.6.4)
12	Comunico internamente el desempeño energético del USEn(4.5.3)

CONTROL OPERACIONAL EN USE

1. Establecimiento de los criterios de operación que producen el mejor desempeño energético
2. Establecimiento de las actividades de mantenimiento que logran el mejor desempeño energético (MCE)
3. Establecer los Procedimientos operacionales y de mantenimiento.
4. Implementar el sistema de seguimiento, medición y análisis.

CRITERIOS OPERACIONALES

SEUs	Parameter	Unidad de medida	Normal set point	Limite superior	Limite inferior	Instrumento de medición	Frecuencia de Calibración	Quién necesita ser informado?	Note
Sistema de vapor	Sólidos disueltos totales	ppm	3500	3800	3400	TDS001	3m		
Sistema de vapor	Presión del vapor	bar	9.5	10	9	PT123	12m		
Sistema de vapor	Oxígeno en gases de combustión	% O2	3	3.5	2	Portable 123	12m		
Sistema de vapor	Temperatura de gases en Chimenea	°C	N.A.	300	N.A.	TT124	12m		Varía con el nivel de fuego del quemador

Son los parámetros que garantizan que el consumo este siempre por debajo de la línea base!

Ejemplo de selección de variables para la implementación del control operacional del desempeño energético en un generador de vapor



CALDERA ACUOTUBULAR



Marca: NEBRASKA BOILER
COMPANY

Fecha de construcción: 11-05-1993

Capacidad: 75.000 Lbs/Hora.

Presión de Diseño: 300 PSI

Presión de operación inicial: 250
PSI

Presión de operación Actual: 205
PSI

Presión de operación Meta: 180 PSI

Exceso de aire recomendado: 10%

Marca del Quemador: TODD
COMBUSTION INC

Identificación de variables operativas que influyen en el consumo de energía

Para la aplicación de esta metodología se cuentan con la siguiente información histórica de una caldera de vapor:

- Flujo de Gas Natural a la caldera. El flujo de gas de la caldera indica la cantidad de combustible que demanda la caldera, este valor será la variable dependiente del modelo estadístico.
- Temperatura de agua de suministro. La temperatura de suministro de agua de alimentación es una variable que puede impactar el consumo de combustible en una caldera ya que a menor temperatura de suministro del agua se requiere mayor trabajo para alcanzar la temperatura de trabajo de la caldera.
- Exceso de aire. El exceso de aire innecesario sobrecarga y exige sobre dimensionado de los equipos, generando una cantidad adicional de gases que escapan a alta temperatura en la atmosfera. Esto afecta en el consumo de energía dado que disminuye la temperatura de la llama y aumenta las perdidas por calor sensible en la chimenea.
- Temperatura de chimenea. Si la temperatura de la chimenea es más de 66°C que la temperatura del agua o de vapor, está muy alta, y es un indicio de ensuciamiento de la tubería o un quemador desajustado, lo cual impacta en el consumo de gas.
- Presión de vapor de la caldera La relación entre la presión de vapor y la temperatura de salida de gases mide el estado de ensuciamiento de la superficie de transferencia.
- Flujo de vapor de la caldera. La relación entre el flujo de vapor y consumo de combustible refleja la condiciones de operación y mantenimiento de la caldera.
- Presión de agua de alimentar a la entrada del GV. Medida a la descarga de la bomba de alimentar ubicada a la salida del tanque de agua de alimentar.

Se realiza una tabla de datos con valores horarios de todas las variables (1 año de periodo)

Flujo de GN	Temperatura Agua alimentar	Exceso de aire	Temperatura Gases chimenea	Presión de vapor	Flujo de vapor	Presión de agua entrada GV
M3/h	°C	%	°C	psig	Ton/h	psig

EJEMPLO DE BASE DE DATOS

CALDERA

Hora	Indice de Consumo [kg/m³]			Temperatura Agua [°C]			Flujo de Gas [m³/h]			Oxigeno [%]			Temperatura Chimenea [°C]			Presión de Agua de Entrada [psi]			Presion de Vapor Caldera [psi]			Flujo de Vapor Caldera [ton/h]		
	Mini mo	Prome dio	Maxi mo	Minim o	Prome dio	Maxi mo	Minim o	Prome dio	Maxi mo	Minim o	Prome dio	Maxi mo	Minim o	Prome dio	Maxi mo	Minim o	Prome dio	Maxi mo	Minim o	Prome dio	Maxi mo	Minim o	Prome dio	Maxi mo
0:30	13,14	13,15	13,15	96,60	96,79	96,90	711,00	811,80	917,00	2,00	3,45	5,00	199,00	199,20	200,00	216,00	217,87	221,00	204,00	204,87	207,00	10,00	10,60	11,00
1:00	13,14	13,15	13,15	96,30	96,41	96,50	689,00	807,40	901,00	2,20	3,43	4,90	199,00	199,27	200,00	215,00	217,87	223,00	203,00	204,73	206,00	10,00	10,67	13,00
1:30	13,14	13,15	13,15	95,90	96,15	96,40	764,00	949,60	1142,00	0,70	2,05	4,10	200,00	200,73	204,00	218,00	221,00	224,00	203,00	205,27	209,00	11,00	12,27	13,00
2:00	13,15	13,15	13,15	95,60	95,73	95,90	733,00	901,93	1085,00	1,90	3,57	4,30	200,00	202,73	208,00	218,00	221,73	226,00	203,00	204,73	207,00	11,00	12,53	13,00
2:30	13,15	13,15	13,16	95,70	95,71	95,80	744,00	995,60	1229,00	2,20	3,77	5,10	200,00	205,47	211,00	220,00	223,40	227,00	202,00	205,07	210,00	12,00	13,00	14,00
3:00	13,15	13,16	13,16	95,60	95,67	95,80	728,00	1004,40	1405,00	2,60	4,22	5,70	201,00	208,00	218,00	218,00	223,87	232,00	201,00	205,60	212,00	11,00	13,20	16,00
3:30	13,15	13,15	13,16	95,50	95,62	95,70	679,00	828,80	1076,00	1,90	3,33	5,10	199,00	200,20	205,00	214,00	218,73	225,00	203,00	205,20	210,00	10,00	10,80	12,00
4:00	13,15	13,15	13,15	95,70	95,89	96,00	701,00	756,27	841,00	3,20	4,28	5,10	199,00	199,00	199,00	214,00	216,40	219,00	204,00	204,67	206,00	10,00	10,00	10,00
4:30	13,15	13,15	13,15	95,50	95,69	95,90	721,00	758,60	810,00	3,50	4,24	4,90	199,00	199,00	199,00	211,00	216,00	220,00	204,00	204,60	205,00	10,00	10,00	10,00
5:00	13,14	13,14	13,15	95,40	95,48	95,60	700,00	765,07	821,00	3,60	4,17	5,00	199,00	199,00	199,00	213,00	215,80	218,00	204,00	204,73	205,00	10,00	10,00	10,00
5:30	13,13	13,14	13,14	95,20	95,41	95,70	676,00	747,27	840,00	3,40	4,63	6,00	198,00	198,80	199,00	213,00	215,67	218,00	204,00	204,67	206,00	9,00	9,73	10,00
6:00	13,09	13,12	13,13	93,40	94,36	95,20	639,00	682,33	776,00	4,50	5,75	6,60	198,00	198,27	199,00	157,00	203,93	235,00	204,00	204,80	206,00	0,00	7,20	9,00
6:30	7,48	8,55	17,24	91,70	92,37	93,30	636,00	661,27	717,00	4,90	5,99	6,30	198,00	198,07	199,00	157,00	204,47	238,00	204,00	204,93	206,00	0,00	5,13	9,00
7:00	8,06	9,35	10,28	91,00	91,53	92,10	622,00	657,20	751,00	4,50	5,79	6,50	198,00	198,07	199,00	210,00	213,67	216,00	204,00	205,27	208,00	8,00	8,27	9,00
7:30	10,31	10,75	11,09	90,50	90,75	91,10	618,00	664,67	723,00	4,90	5,68	6,10	198,00	198,00	198,00	210,00	213,33	215,00	204,00	204,93	206,00	8,00	8,20	9,00
8:00	11,10	11,32	11,50	90,20	90,34	90,50	618,00	653,80	687,00	5,20	5,73	6,20	198,00	198,00	198,00	211,00	212,40	218,00	204,00	205,00	206,00	8,00	8,00	8,00
8:30	11,53	11,65	11,76	90,00	90,15	90,20	618,00	657,20	750,00	4,40	5,64	6,20	198,00	198,13	199,00	209,00	212,67	215,00	204,00	204,80	206,00	8,00	8,27	9,00
9:00	11,75	11,87	11,97	89,10	90,05	90,30	616,00	758,73	1271,00	1,60	4,69	6,40	198,00	200,53	217,00	210,00	218,67	253,00	202,00	205,93	217,00	8,00	9,67	12,00

3. Se aplica el método P-value para obtener la ecuación de regresión multivariable del consumo de GN en función del resto de las variables.

PASO(1)							
Nombre Variables	Flujo de Vapor Caldera [ton/h]	Presion de Vapor Caldera [psi]	Presión de Agua de Entrada [psi]	Temperatura Chimenea [°C]	Oxigeno [%]	Temperatura Agua [°C]	
P-Value	0,0000	0,0008	0,0822	0,0000	0,0000	0,0000	
Coeficientes	45,74	-2,21	-0,30	9,53	-10,47	-1,69	-842,166778
Error típico	2,92	0,66	0,17	0,95	2,23	0,23	59,536768
Coef. R2	98,29%	18,2287215	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A

Se saca la primera variable cuyo coeficiente sea superior a 0,05 ya que significa que no es significativa en el consumo de GN

Nombre Variables	Flujo de Vapor Caldera [ton/h]	Presión de Vapor Caldera [psi]	Presión de Agua de Entrada [psi]	Temperatura Chimenea [°C]	Oxígeno [%]	Temperatura Agua [°C]	
P-Value	0,0000	0,0008	0,0822	0,0000	0,0000	0,0000	
Coeficientes	45,74	-2,21	-0,30	9,53	-10,47	-1,69	-842,166778
Error típico	2,92	0,66	0,17	0,95	2,23	0,23	59,536768
Coef. R2	98,29%	18,2287215	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A

Se vuelve a aplicar el P-Value con las restantes variables paso a paso hasta que ninguna variable alcanza un coeficiente superior a 0,05

Nombre Variables	Flujo de Vapor Caldera [ton/h]	Presión de Vapor Caldera [psi]	Temperatura Chimenea [°C]	Oxígeno [%]	Temperatura Agua [°C]	
P-Value	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
Coeficientes	43,92	-2,80	10,07	-11,41	-1,79	-859,28
Error típico	2,73	0,56	0,90	2,17	0,22	58,84
Coef. R2	98,28%	18,2668801	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A

Se obtiene la ecuación de regresión múltiple con las variables significativas

$$E_t = -859.28 + \text{Flujo de Vapor Caldera} \text{ [ton/h]} * 43.92 + \text{Presión de Vapor Caldera} \text{ [psi]} * (-2.8) + \text{Temperatura Chimenea} \text{ [°C]} * 10.07 + \text{Oxígeno} \text{ [%]} * (-11.41) + \text{Temperatura Agua} \text{ [°C]} * (-1.79 \pm \delta)$$

Con coeficiente de correlación, **R2 = 98.28**.

Qué significa $r^2=98,28$?

- Las variables seleccionadas son las que impactan casi en un 100% la variación del consumo de GN de la caldera
- Quedan variables no tenidas en cuenta que impactan cerca del 1,72% de la variación. Cuales pueden ser? Ej. Régimen de purgas
- Estas variables no han sido tenidas en cuenta pues la empresa no las registra!

Variables que dependen de O&M

- Presión de vapor
- T. chimenea
- T.agua
- Oxigena

Variables independientes de O&M

- Flujo de vapor

Elaboración de la línea base del consumo de GN del GV en función de las variables independientes de O&M

INDICADORES DE OPERACIONES CONFIABLES

Línea de base energética:

$$E = 74,392 * P + 52,47$$

ATRIBUTOS DE LA LÍNEA BASE

Nivel de confianza

100,0%

T student:

1,965

Estadístico t

110,51

Coefficiente de correlación R^2 :

96%

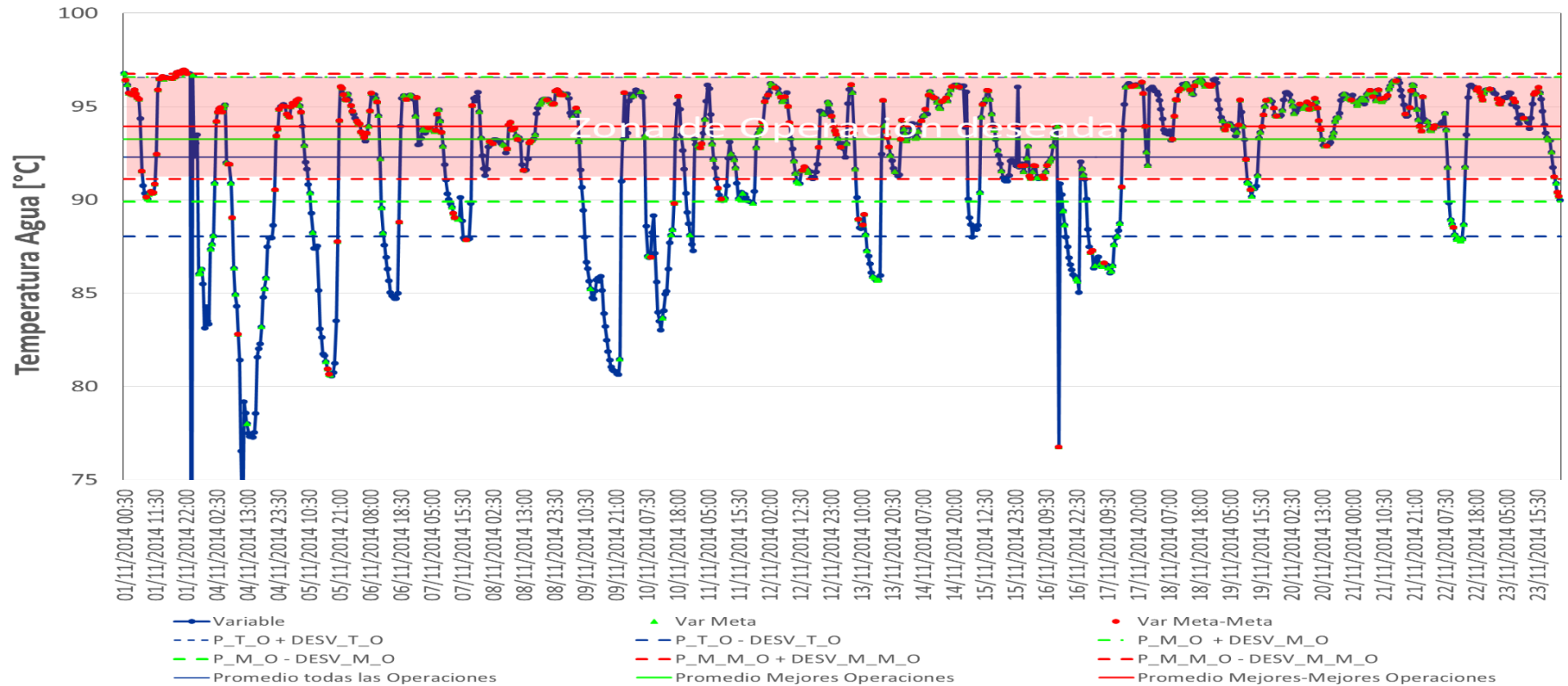
Precisión Absoluta:

53,4

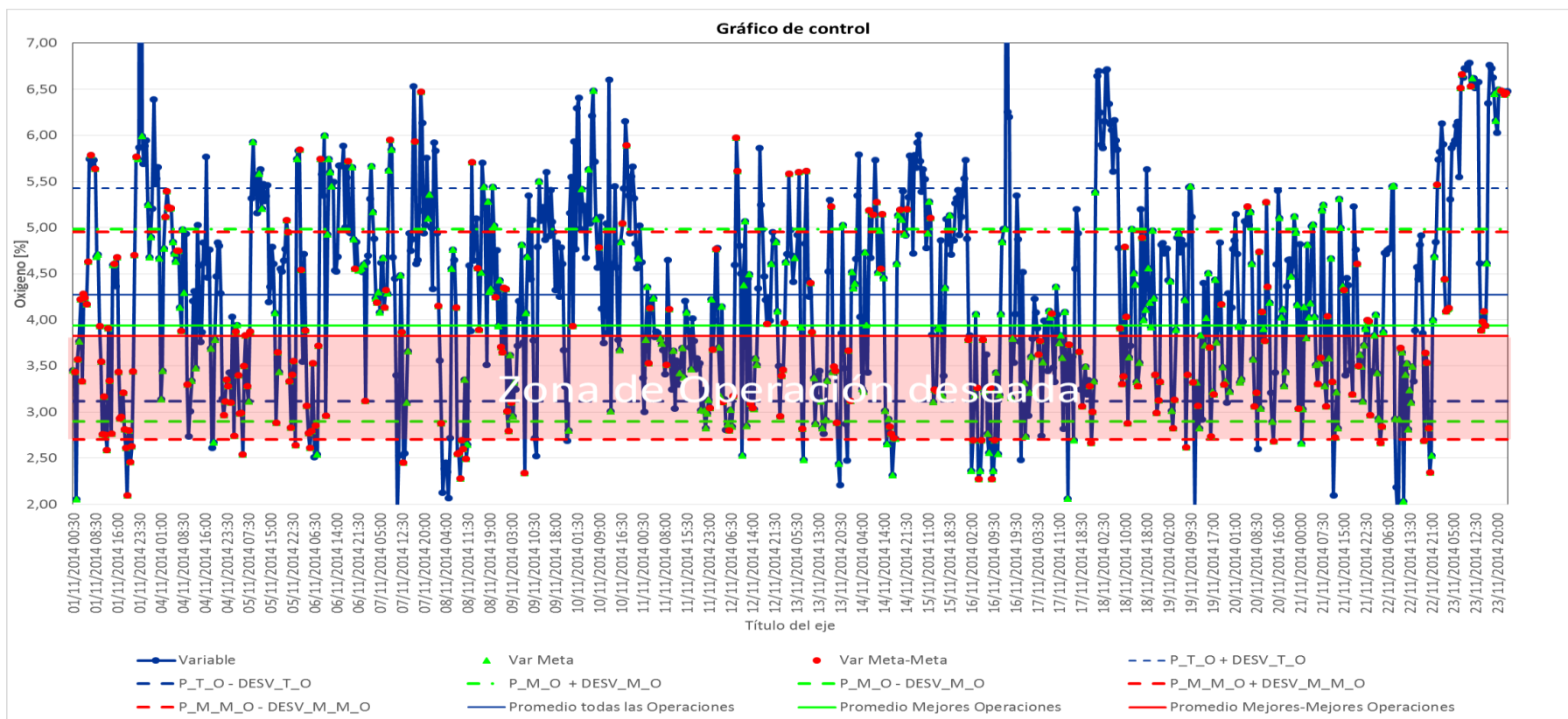
Precisión Relativa:

6,1%

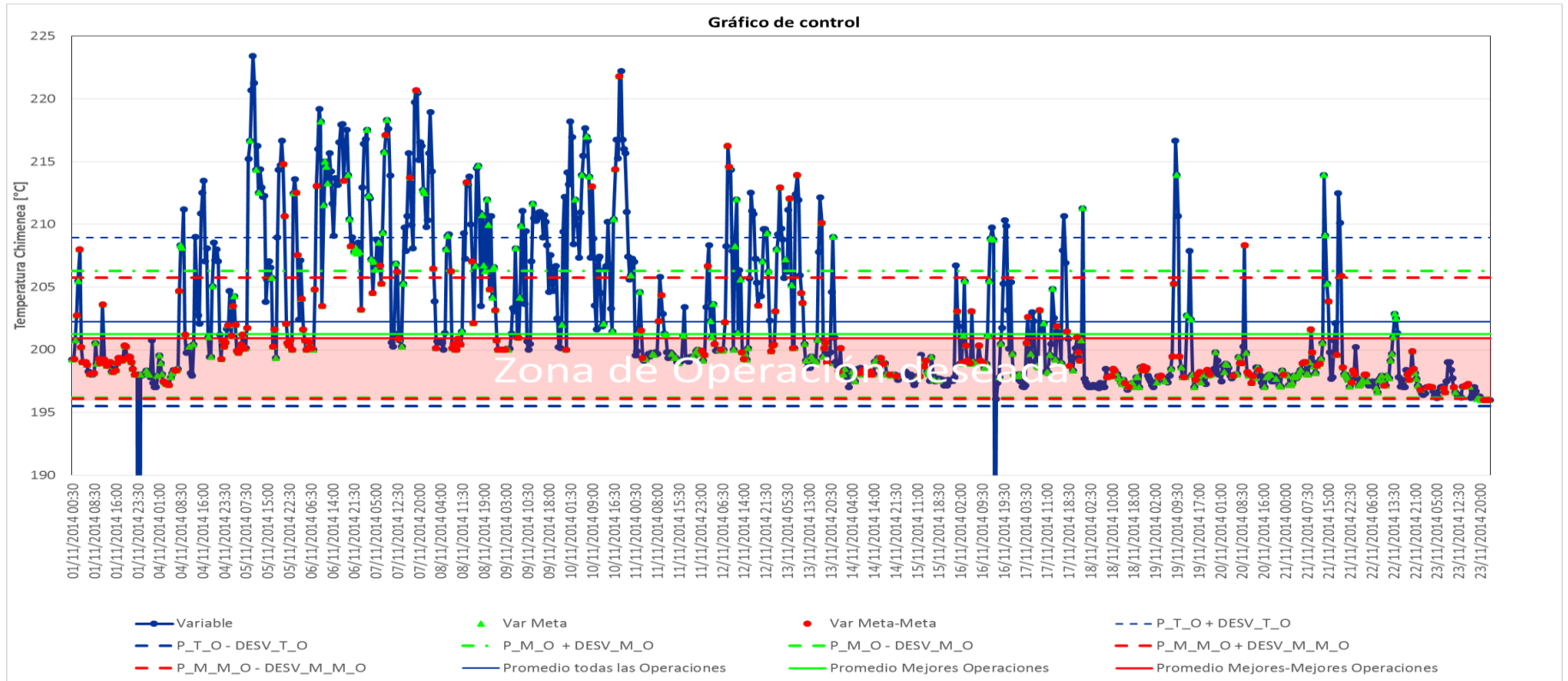
Se realizan los gráficos de control de las variables significativas



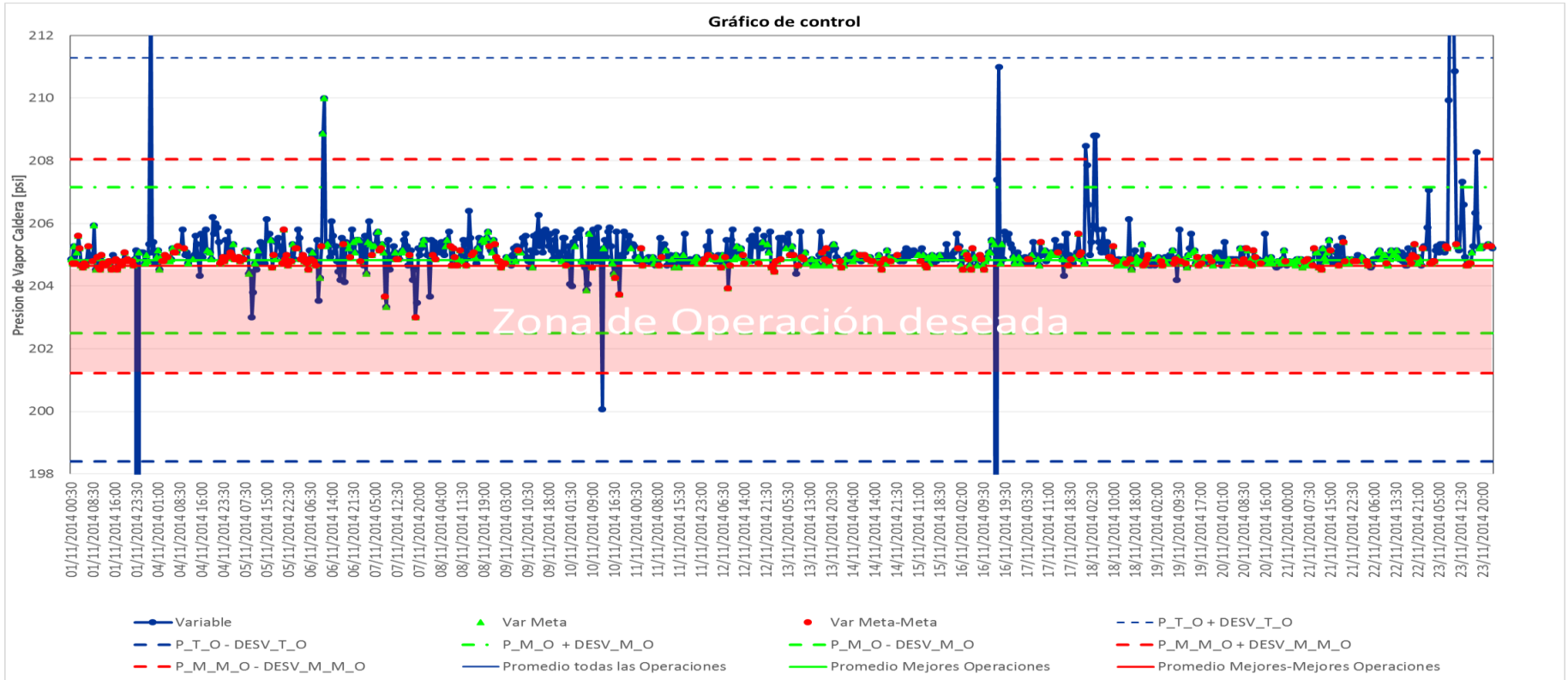
% OXIGENO



TEMPERATURA CHIMENEA



PRESION DE VAPOR



Se establecen los criterios operacionales para alcanzar el mejor desempeño energético

Temperatura del agua

Descripción	Parámetro	Unidad
Valor Promedio de todas las operaciones	92,30	[PSI]
Valor promedio de las mejores operaciones	93,24	[PSI]
Valor promedio de las mejores operaciones de la meta	93,94	[PSI]
Desviación estandar de todas las operaciones	4,25	[PSI]
Desviación estandar de las mejores operaciones	3,34	[PSI]
Desviación estandar de las mejores operaciones de la meta	2,82	[PSI]
RANGO de OPERACIÓN RECOMENDADO:	91,12 - 96,76	[PSI]

Presión de vapor

Valor Promedio de todas las operaciones	204,84	[PSI]
Valor promedio de las mejores operaciones	204,82	[PSI]
Valor promedio de las mejores operaciones de la meta	204,64	[PSI]
Desviación estandar de todas las operaciones	6,44	[PSI]
Desviación estandar de las mejores operaciones	2,33	[PSI]
Desviación estandar de las mejores operaciones de la meta	3,42	[PSI]
RANGO de OPERACIÓN RECOMENDADO:	201,22 - 208,06	[PSI]

Oxigeno

Descripción	Parámetro	Unidad
Valor Promedio de todas las operaciones	4,27	[%]
Valor promedio de las mejores operaciones	3,94	[%]
Valor promedio de las mejores operaciones de la meta	3,83	[%]
Desviación estandar de todas las operaciones	1,16	[%]
Desviación estandar de las mejores operaciones	1,04	[%]
Desviación estandar de las mejores operaciones de la meta	1,12	[%]
RANGO de OPERACIÓN RECOMENDADO:	2,70 - 4,95	[%]

Cuáles serán los criterios operacionales que debe seguir el operador?

Temperatura de chimenea

Descripción	Parámetro	Unidad
Valor Promedio de todas las operaciones	202,23	[°C]
Valor promedio de las mejores operaciones	201,23	[°C]
Valor promedio de las mejores operaciones de la meta	200,92	[°C]
Desviación estandar de todas las operaciones	6,71	[°C]
Desviación estandar de las mejores operaciones	5,06	[°C]
Desviación estandar de las mejores operaciones de la meta	4,83	[°C]
RANGO de OPERACIÓN RECOMENDADO:	196,09 - 205,75	[°C]

Sólo el control operacional produce ahorros?
Se requiere el SMA!

SMA DE LOS USE

Identificados los USE, sus parámetros de control y criterios operacionales y de mantenimiento y definidas las oportunidades de mejora, el control operacional se cierra con el:

Seguimiento , medición y análisis del desempeño energético

El objeto de esta actividad del control operacional es:

1. Registrar la tendencia del desempeño energético del USE.
2. Analizar desviaciones significativas de las tendencias del buen desempeño energético, identificar sus causas, actuar sobre las causas controlables y corregir la tendencia hacia el buen desempeño energético.
3. Cuantificar los ahorros que produce la aplicación del control operacional y de mantenimiento.
4. Cuantificar los ahorros que produce la implementación de mejoras a través de inversiones.

Cómo se realiza el Seguimiento, medición y análisis del desempeño energético en los USE ?

LA MEDICIÓN EN EL SEGUIMIENTO, MEDICIÓN Y ANÁLISIS

El Plan de medición describe algunos aspectos como:

- ¿Qué se mide y supervisa?
- ¿Por qué se mide?
- ¿Cómo se mide? (por ejemplo: dispositivo, método, frecuencia, precisión y repetitividad, calibración)
- ¿Cuáles son los valores esperados?
- ¿Existe una desviación significativa para la medición?
- ¿Qué debe hacerse ante una desviación significativa?
- ¿Quién es el personal responsable de la recolección de datos y de la medición?
- ¿Qué y dónde se registran?
- ¿Alguna medición o parámetro son procesos especiales o de seguridad crítica?
- ¿Se necesitan mediciones futuras?

'Procedimiento SMA

1. Se establece para cada USE el gráfico de tendencia del indicador de desempeño energético.
2. Se actualiza el gráfico de tendencia con periodicidad, horaria, por turno o diaria.
3. Se correlacionan los cambios en la tendencia del grafico con los cambios en los parámetros de control establecidos.
4. Se actúa sobre los parámetros de control fuera de rango que provocan cambios desfavorables en la tendencia del desempeño energético.
5. Se aplican acciones correctivas o preventivas, según el caso , para evitar nuevas desviaciones.

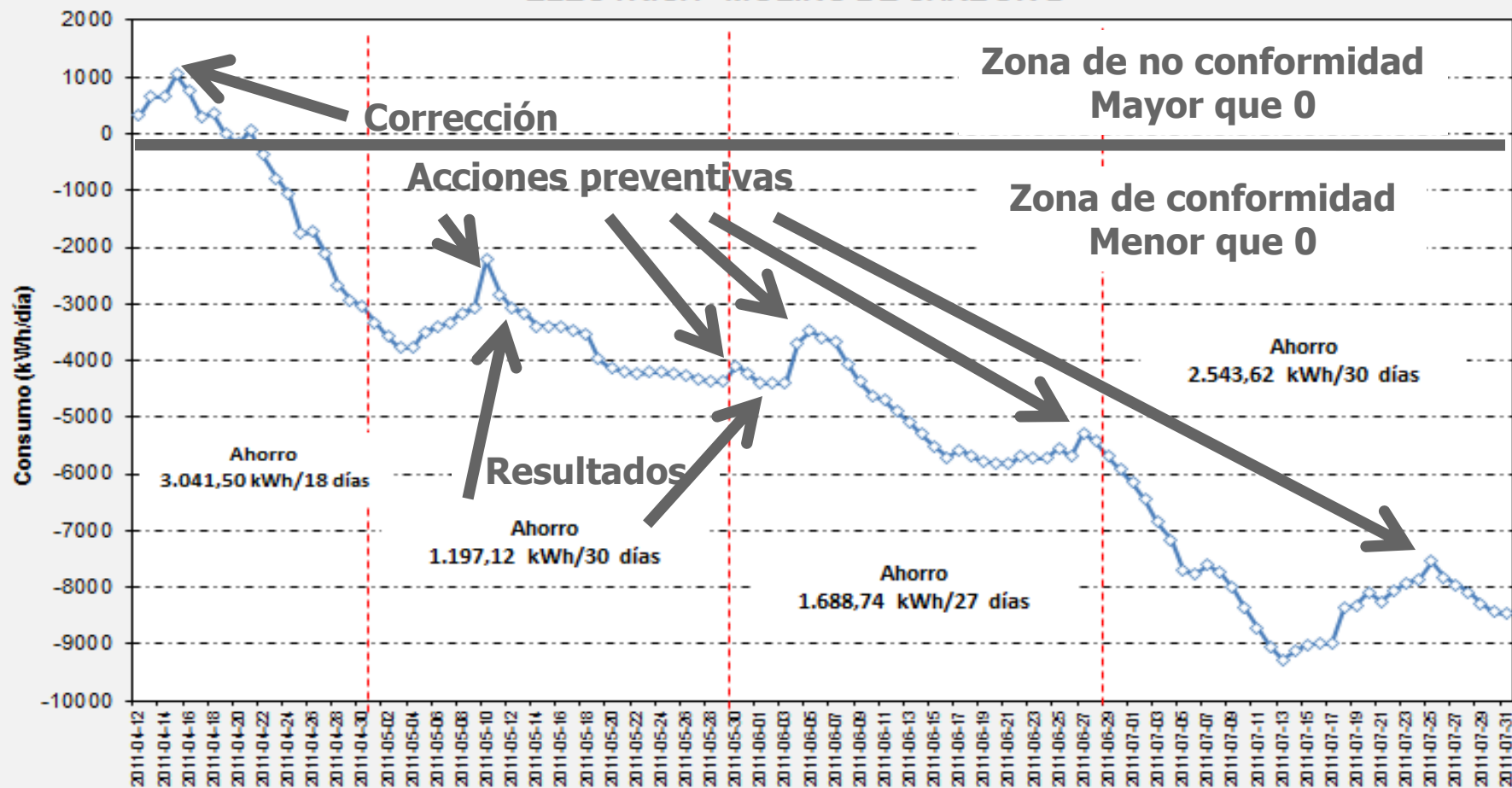
Elaboración del gráfico de tendencia del desempeño energético

Hora, Turno o Día	Consumo real de energía	Producción asociada al consumo del USE	Consumo de energía según la LB del USE	Diferencia del consumo real al consumo según LB	Suma acumulativa de las diferencias
-------------------	-------------------------	--	--	---	-------------------------------------

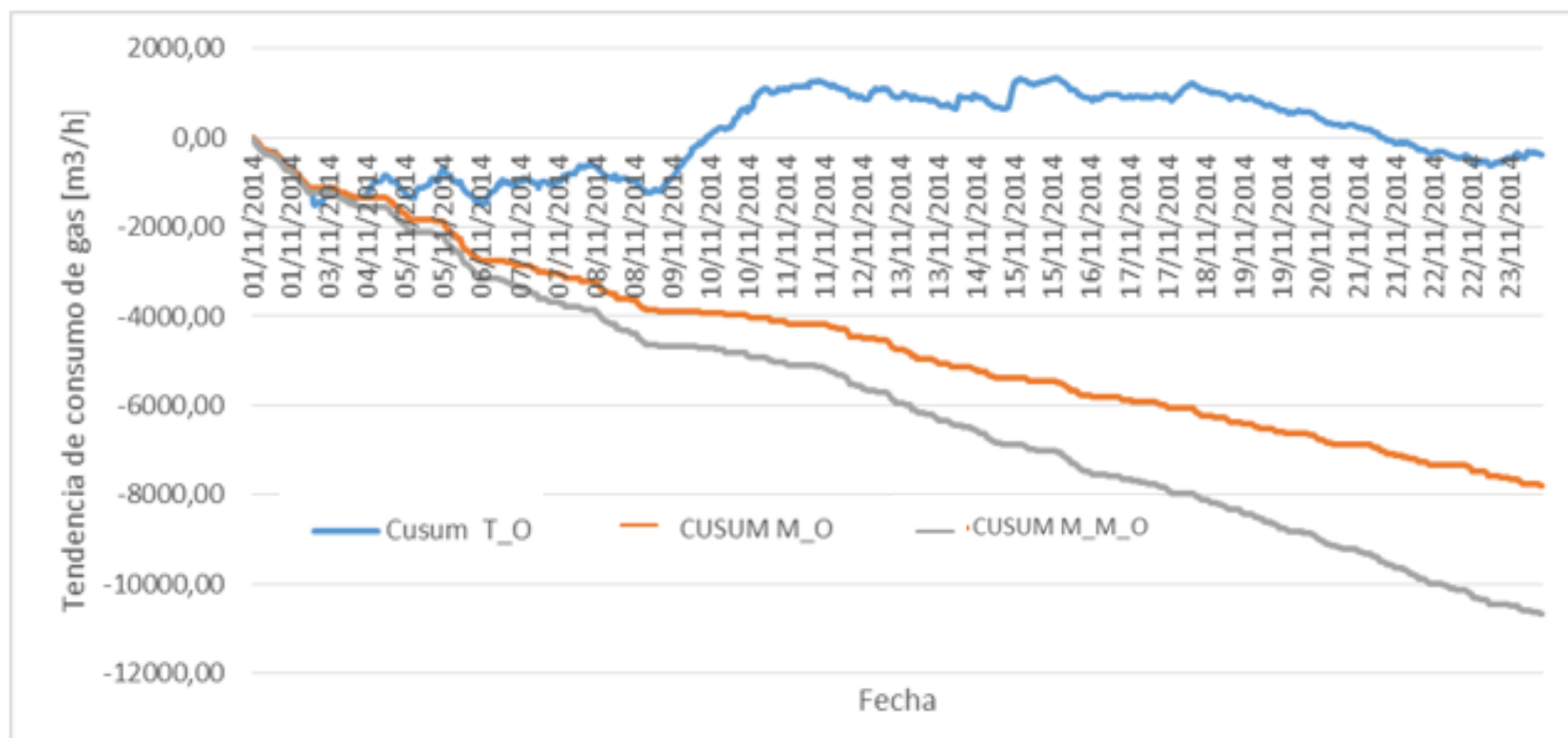
Se grafica el valor de la suma acumulativa para cada unidad de tiempo (hora, turno o día.)

Ejemplo 1

GRÁFICO DE MONITOREO DE LA REDUCCION DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA - MOLINO DE CARBÓN 2



El operador aplica los criterios operacionales identificados y verificamos que el consumo de GN es inferior al de la línea base a través de un grafico de tendencia de sumas acumulativas.



Cuál fue el valor del ahorro alcanzado mediante el control operacional?

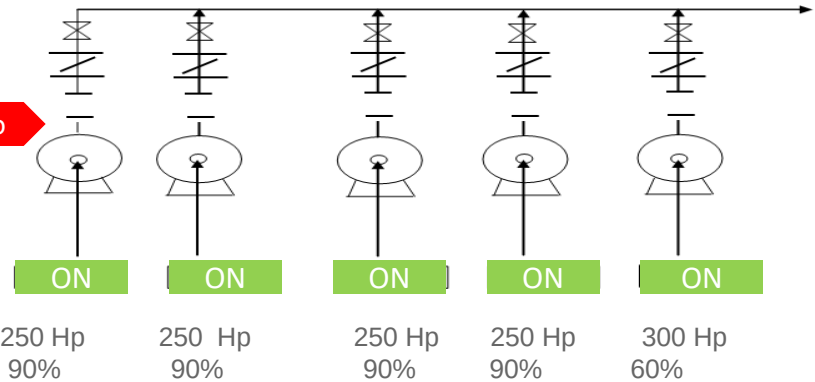
Caso

Sistema de enfriamiento



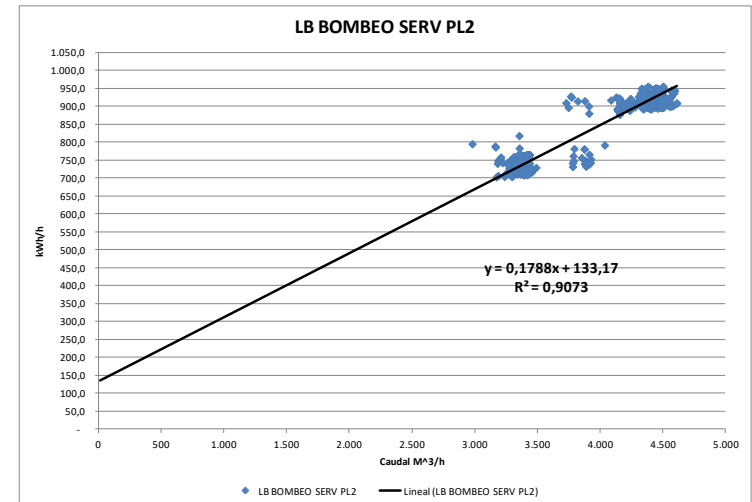
Caso I:

Platina de orificio



Situación inicial:

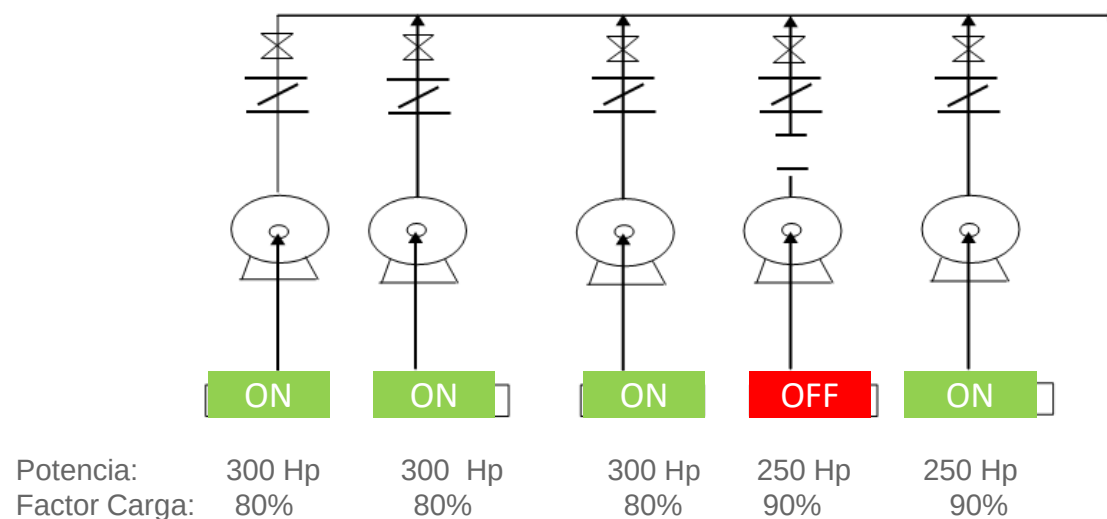
- 5 bombas operando de forma continua para mantener temperatura de agua de enfriamiento 32° C y presión de 4 barg.
- Variación de referencias productivas producen variación de demanda de refrigeración
- En la practica se mantienen 32° C pero fluctuaciones de presión entre 4 y 7 barg.



Línea de base de consumo de energía

Caso

Sistema de enfriamiento



Actividades de Mtto

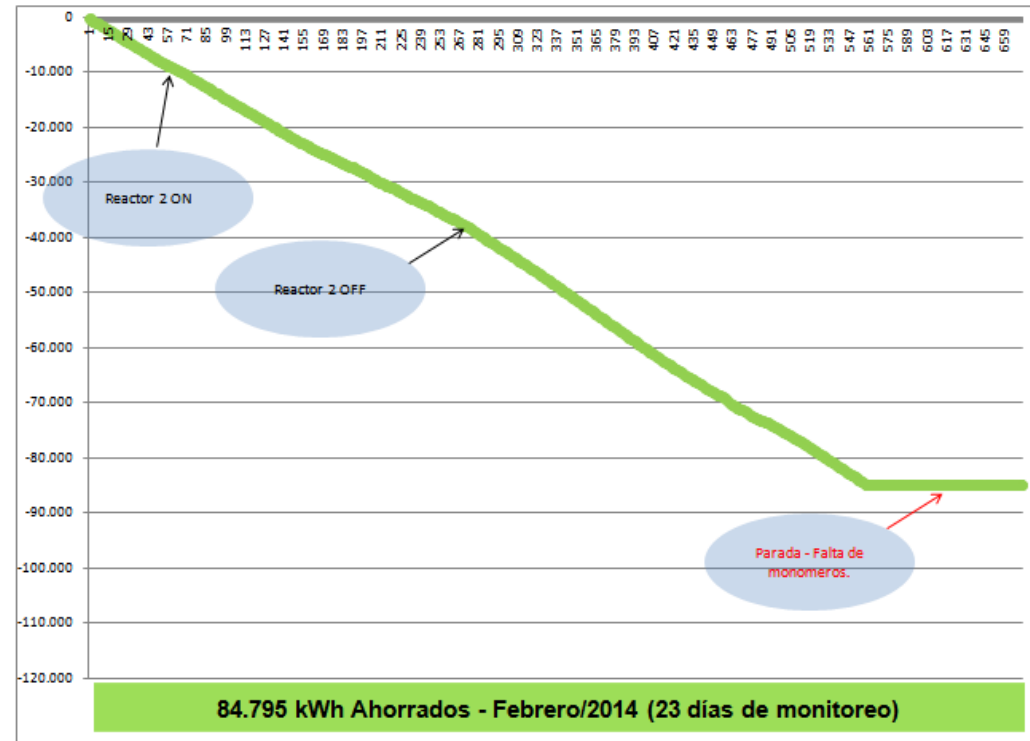
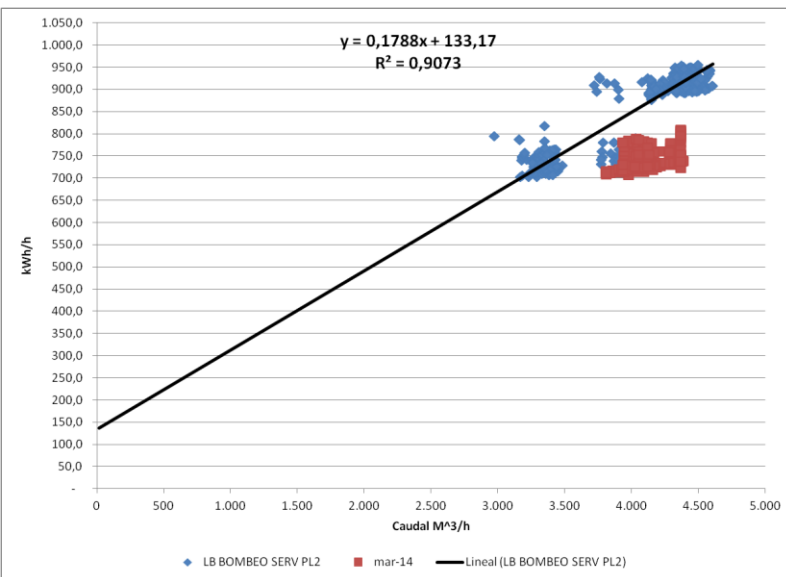
- Eliminación de bridas de estrangulamiento
 - Sustitución de motores
- Variadores de velocidad para lazos de control por temperatura en motores de torres de enfriamiento
- Manómetros en entrada y salida de cada intercambiador

Parámetros de control

- Presión de descarga
- Flujo de agua de enfriamiento
- Arreglos de bombas por tipo de referencia

Caso

Sistema de enfriamiento



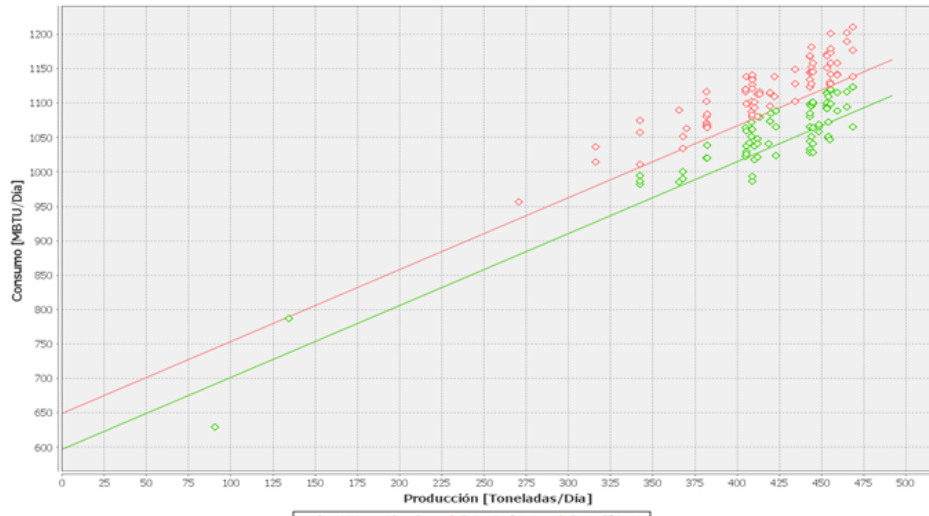
\$21.198.750 ahorrados en 23 días de labor

Caso

Sistema de enfriamiento

Línea base antes de la mejora tecnológica

Dispersión del Consumo de Energía vs Producción
 $E = 1,04 P + 648,74$ [MBTU/Día]
 $E = 1,04 P + 596,66$ [MBTU/Día]



Parámetros de control energético:

- Tiempo de trabajo de dos chiller
- Temperatura de confort en usuario final
- Flujo de aire de las manejadoras
- Temperatura de agua salida de torres
- Flujo de agua fría a manejadoras

Todas las variables fuera de control !!!!!

La demanda de aire acondicionado se controlaba de forma manual.

Cuando algún cliente se quejaba el operador del sistema aumentaba la velocidad de los ventiladores de la manejadora.

Las torres de enfriamiento trabajaban al 100% durante todo el día, al igual que la bomba de agua fría.

El sistema era apagado manualmente por la persona de seguridad del turno de la noche.

Caso

Sistema de enfriamiento

La demanda de aire se controla por zona (7 zonas) a través de dampers (se instalaron sensores de temperatura ambiente en la sala de ventas y los dampers regulan el flujo de aire de cada zona para mantener la temperatura de confort).

La presión del aire de la manejadora se mantiene constante por medio de un controlador PID que regula la frecuencia de los variadores de los ventiladores.

La carga de las torres de enfriamiento se controla teniendo como referencia la temperatura de agua de torre, este lazo de control PID regula la frecuencia de los variadores de los ventiladores de las torres.

El flujo de agua fría tiene dos consignas de velocidad: cuando esta operando un solo chiller y cuando están operando los 2 chillers.

Programación semanal para la operación automática del sistema y el encendido/apagado de los chillers según los requerimientos de frío de la sala de ventas.

Cambio de las bombas de agua fría y condensados: las bombas que tenía el sistema estaban sobre dimensionadas (se cambiaron bombas de 50HP por bombas de 30HP con motores de alta eficiencia).

Se instalaron variadores de velocidad a los motores de los ventiladores de las torres y a la bomba de agua fría.

Se instalaron dampers en cada uno de los ductos de ventilación de la sala de ventas.

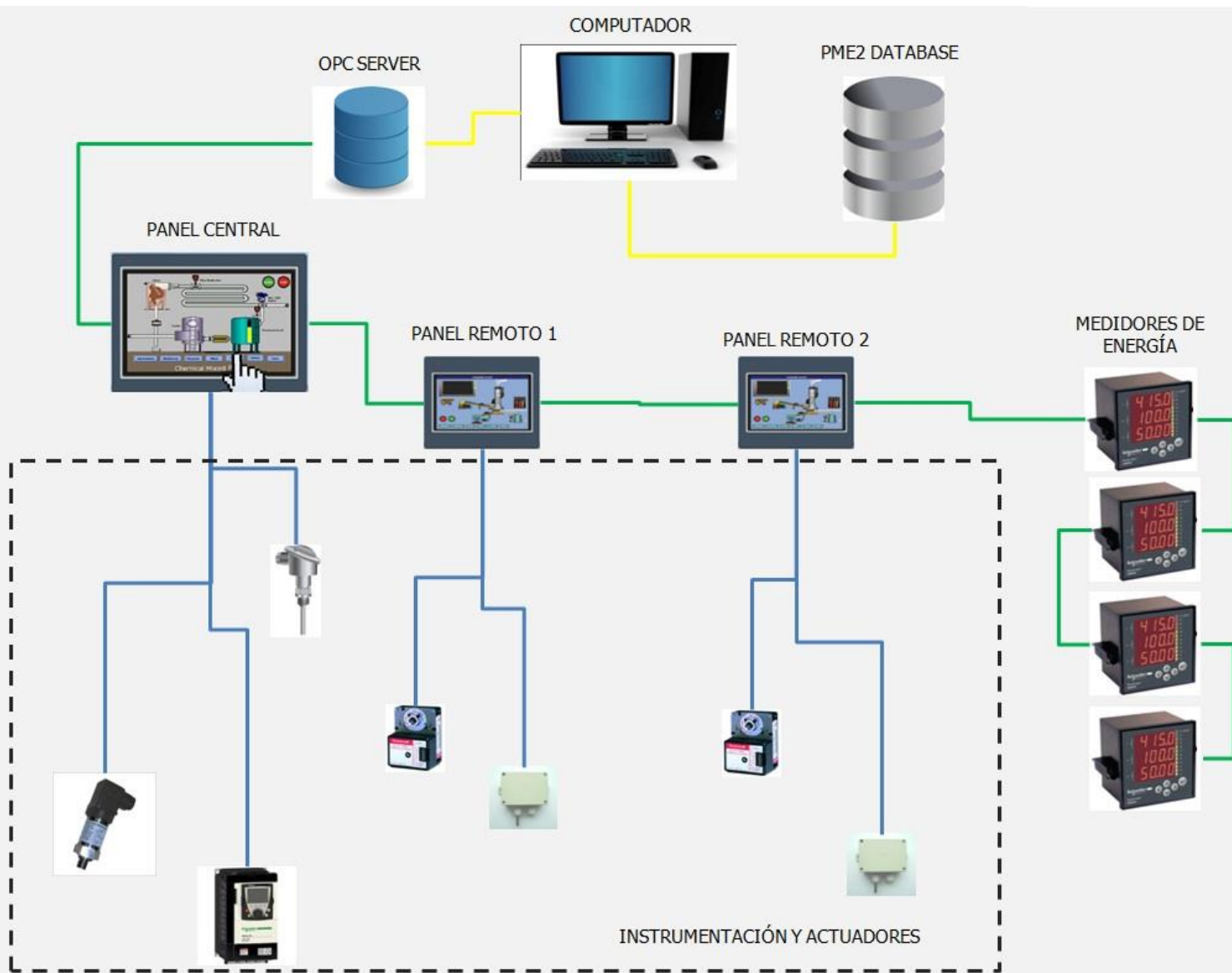
Se montaron medidores de energía para poder monitorear el desempeño energético del sistema.

Se instaló un sistema de control distribuido: con dos unidades que comandan los dampers de las zonas y controlador central que procesa los lazos de control de presión de manejadora, temperatura de agua de torres, temperatura de agua fría.

Adicionalmente, este controlador **gestiona las secuencias de arranque y parada del sistema**, la programación horaria y las seguridades.

Todas las variables en control !!!!!

ARQUITECTURA DEL SISTEMA



Pantallazos del sistema SCADA



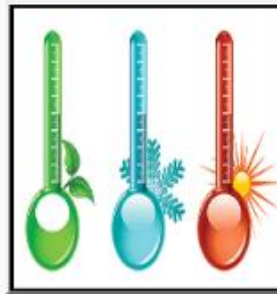
SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE



REGISTROS



CONTROLES DEL SAC



CONTROLES DE ZONA



HORARIOS



REGISTROS

VARIABLES DE PROCESO

TEMPERATURA EN LA ENTRADA DEL CHILLER [C]:

#####

TEMPERATURA EN LA SALIDA DEL CHILLER [C]:

#####

TEMPERATURA DE AGUA DE TORRE [C]:

#####

TEMPERATURA EN LA ENTRADA DE LA MANEJADORA [C]:

#####

TEMPERATURA EN LA SALIDA DE LA MANEJADORA [C]:

#####

PRESION DE AIRE EN LA MANEJADORA [Pa]:

#####

TEMPERATURA AMBIENTE [C]:

#####

HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE [%]:

#####

FRECUENCIA DE LOS VARIADORES

FRECUENCIA VFD DEL VENTILADOR 1 DE LA MANEJADORA [Hz]:

#####

FRECUENCIA VFD DEL VENTILADOR 2 DE LA MANEJADORA [Hz]:

#####

FRECUENCIA VFD DEL VENTILADOR DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO 1 [Hz]:

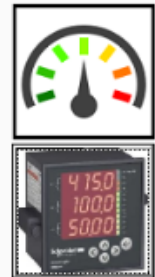
#####

FRECUENCIA VFD DEL VENTILADOR DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO 2 [Hz]:

#####

FRECUENCIA VFD DE LA BOMBA DE AGUA FRIA [Hz]:

#####



ENERGIA

Pantallazos del sistema SCADA



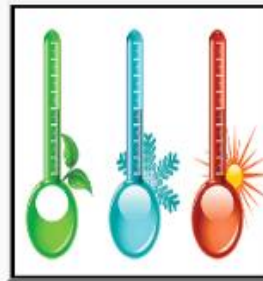
SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE



REGISTROS



CONTROLES DEL SAC



CONTROLES DE ZONA



HORARIOS



CONTROLES DEL SAC



CHILLERS

PV [C]: #####
 SP [C]: #####
 OV [%]: #####
 Velocidad 0 [Hz]: #####
 Velocidad 1 [Hz]: #####
 Velocidad 2 [Hz]: #####



MANEJADORAS

PV [Pa]: #####
 SP [Pa]: #####
 OV [%]: #####
 Velocidad 0 [Hz]: #####
 K Proporcional: #####
 Banda Muerta: #####



TORRES DE ENFRIAMIENTO

PV [C]: #####
 SP [C]: #####
 OV [%]: #####
 Velocidad 0 [Hz]: #####
 K Proporcional: #####
 Banda Muerta: #####

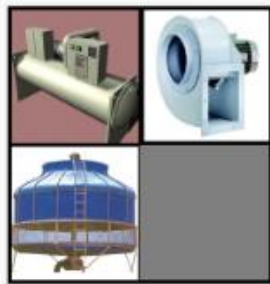
Pantallazos del Sistema SCADA



SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE



REGISTROS



CONTROLES DEL SAC



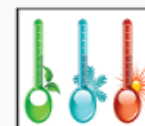
CONTROLES DE ZONA



HORARIOS



CONTROLES DE ZONA



Zona 1		Zona 2		Zona 3			
PV [C]:	#####	PV [C]:	#####	PV [C]:	#####		
SP [C]:	#####	SP [C]:	#####	SP [C]:	#####		
OV [%]:	#####	OV [%]:	#####	OV [%]:	#####		
MAN [%]:	#####	MAN [%]:	#####	MAN [%]:	#####		
Zona 4		Zona 5		Zona 6		Zona 7	
PV [C]:	#####	PV [C]:	#####	PV [C]:	#####	PV [C]:	#####
SP [C]:	#####	SP [C]:	#####	SP [C]:	#####	SP [C]:	#####
OV [%]:	#####	OV [%]:	#####	OV [%]:	#####	OV [%]:	#####
MAN [%]:	#####	MAN [%]:	#####	MAN [%]:	#####	MAN [%]:	#####

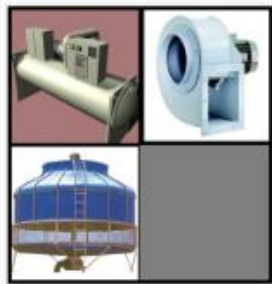
Pantallazos del Sistema SCADA



SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE



REGISTROS



CONTROLES DEL SAC



CONTROLES DE ZONA



HORARIOS



HORARIOS

Conf. Actual

	Hora	Min
Chiller 1 ON	###	###
Chiller 1 OFF	###	###
Chiller 2 ON	###	###
Chiller 2 OFF	###	###
Manej. OFF	###	###

Lunes

	Hora	Min
Chiller 1 ON	###	###
Chiller 1 OFF	###	###
Chiller 2 ON	###	###
Chiller 2 OFF	###	###
Manej. OFF	###	###

Martes

	Hora	Min
Chiller 1 ON	###	###
Chiller 1 OFF	###	###
Chiller 2 ON	###	###
Chiller 2 OFF	###	###
Manej. OFF	###	###

Miercoles

	Hora	Min
Chiller 1 ON	###	###
Chiller 1 OFF	###	###
Chiller 2 ON	###	###
Chiller 2 OFF	###	###
Manej. OFF	###	###

Jueves

	Hora	Min
Chiller 1 ON	###	###
Chiller 1 OFF	###	###
Chiller 2 ON	###	###
Chiller 2 OFF	###	###
Manej. OFF	###	###

Viernes

	Hora	Min
Chiller 1 ON	###	###
Chiller 1 OFF	###	###
Chiller 2 ON	###	###
Chiller 2 OFF	###	###
Manej. OFF	###	###

Sabado

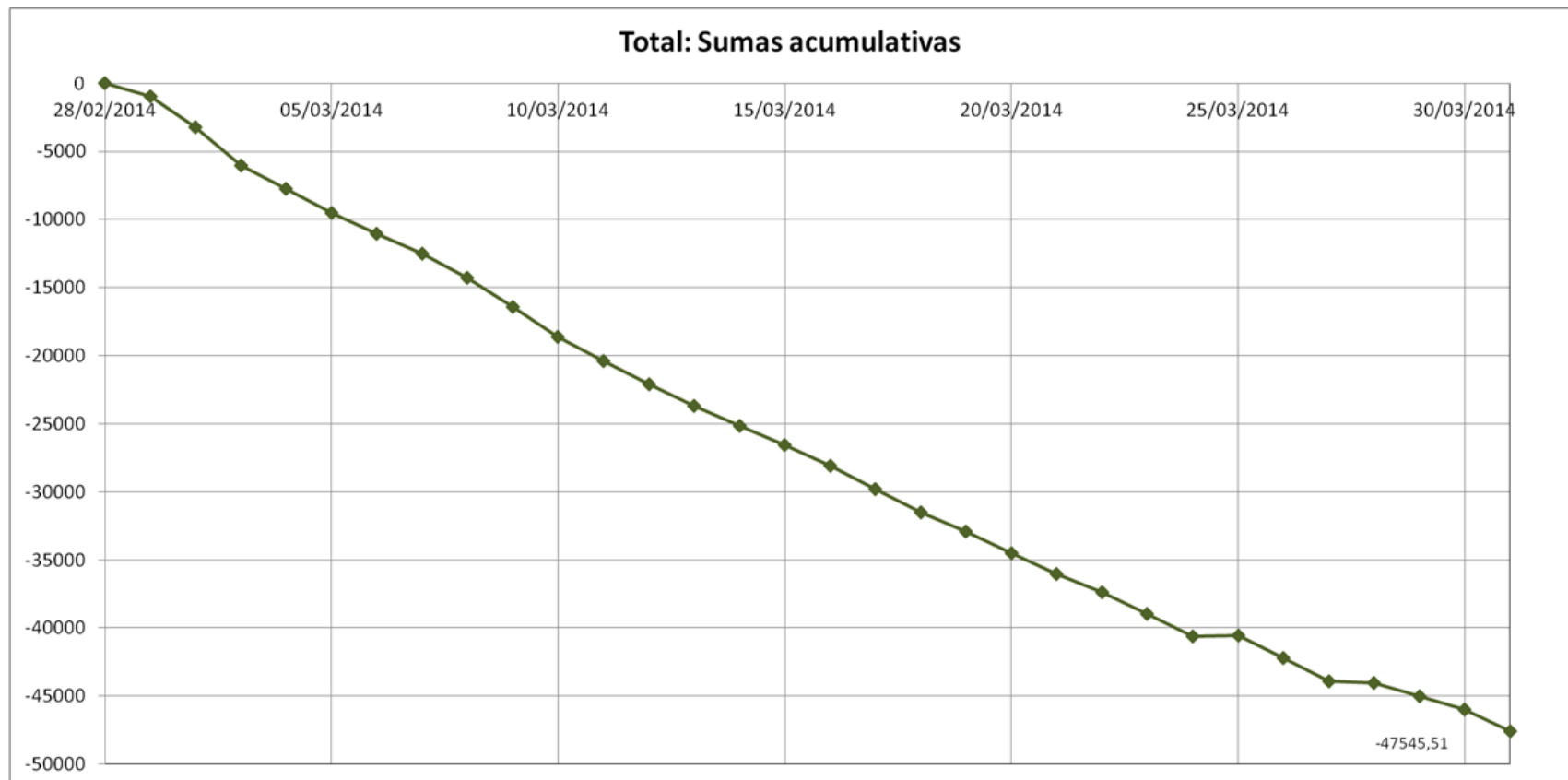
	Hora	Min
Chiller 1 ON	###	###
Chiller 1 OFF	###	###
Chiller 2 ON	###	###
Chiller 2 OFF	###	###
Manej. OFF	###	###

Domingo

	Hora	Min
Chiller 1 ON	###	###
Chiller 1 OFF	###	###
Chiller 2 ON	###	###
Chiller 2 OFF	###	###
Manej. OFF	###	###



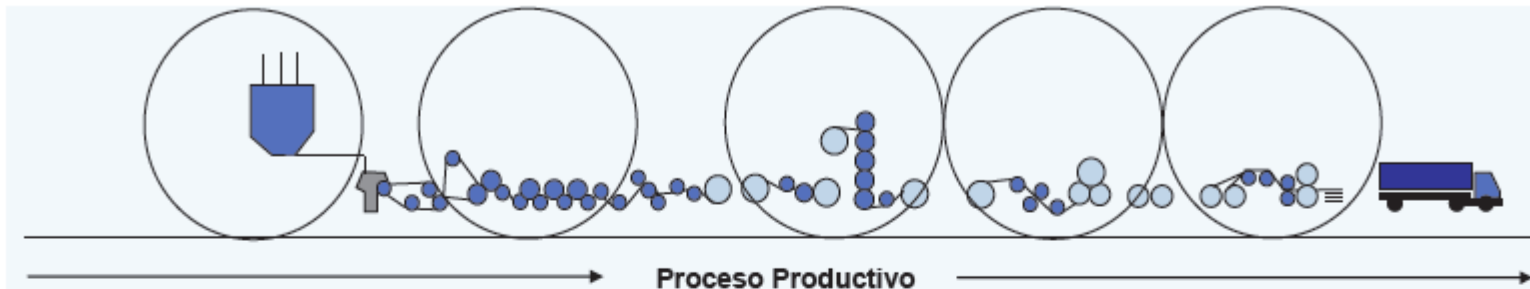
Gráfico CUSUM mes de marzo 2014



	Consumo [kWh]	Consumo [\$]
Consumo teórico	148.961,51	\$ 40.219.608
Consumo real	101.416,00	\$ 27.382.320
Ahorro propuesto	29.792,30	\$ 8.043.922
Ahorro adicional	17.753,21	\$ 4.793.366
Ahorro total	47.545,51	\$ 12.837.288

MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Por qué MCE ?



- ☐ Los equipos y sistemas antes de perder disponibilidad generalmente pierden eficiencia
- ☐ La pérdida de eficiencia del equipo genera costos operacionales generalmente no contabilizados en las empresas.
- ☐ La magnitud del incremento de los costos operacionales de un equipo o sistema desde que este comienza a perder eficiencia hasta que se realiza el mantenimiento por pérdida de disponibilidad es significativa.
- ☐ Los costos de las rutinas de mantenimiento para recuperar eficiencia son inferiores a los costos de las rutinas de mantenimiento dirigido a recuperar disponibilidad.
- ☐ Se requieren indicadores y rutinas específicas de mantenimiento dirigido a la Eficiencia en cada equipo o sistema.

MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

EJEMPLOS DE OPORTUNIDADES DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

1. Por cada 1% que aumente el %O₂ en gases de salida de caldera se incrementa el costo operacional del combustible en 0,66%
2. Por cada 10°F que aumente la temperatura de gases de chimenea en caldera se incrementa el costo operacional del combustible en 0,25%
3. Por cada 100 ppm que se incremente la concentración de CO en gases de chimenea se incrementa el costo operacional del combustible en 0,1%
4. Por cada 10 psig a que trabaje la caldera por encima de lo que se requiere se incrementa el costo operacional del combustible en 0,2%
5. Por cada 5,5°C (10°F) que se reduzca la temperatura del agua de alimentación a la caldera se incrementa el costo operacional del combustible en 1%.
6. Una trampa de vapor típica pierde 1-2 lb./hr de vapor vivo en operación normal. Una trampa fallando puede perder de 10 a 100 libras por hora de vapor vivo, incrementando los costos operacionales del sistema por combustible adicional consumido.
7. Las fugas de vapor para una planta con buen mantenimiento son < 1%, para plantas típicas del 2-4%, y para plantas con mantenimiento deficiente pueden ser del 10% o superiores.
8. Por cada 1°F que se requiera disminuir la temperatura de evaporación de un sistema de enfriamiento por incrustaciones en los intercambiadores de calor el consumo del compresor del chiller se incrementa en 1,5% y en igual medida sus costos operacionales.
9. Por cada 1°F de incremento en la temperatura del agua de condensación los costos operacionales del compresor del chiller se incrementan en un 1% por aumento del consumo de energía eléctrica.

1. Un aumento de la temperatura del agua a la salida de la torre de enfriamiento de 2 a 5 °F produce un incremento de los costos operacionales del compresor del chiller del 2 al 5%.
2. Un incremento de la temperatura del aire de admisión de un compresor de 5°F produce un incremento de costos operacionales del compresor en 1%.
3. El incremento de la temperatura de agua de postenfriamiento de aire en compresores en 1°F aumenta el costo operacional del compresor en 0,15% por incremento de consumo de energía eléctrica.
4. El incremento de 5 “ de agua en la caída de presión del filtro de succión de aire en compresores por ensuciamiento del mismo aumenta los costos operacionales del sistema en 5% por incremento del consumo de energía.
5. El incremento de la presión de compresión en 2 psig por fugas de aire comprimido o incremento de restricciones en tubería incrementa los costos operacionales del sistema en 1% por incremento del consumo de energía.
6. En compresores la pérdida de propiedades del lubricante puede incrementar los costos operacionales en 10% por incremento del consumo de energía.
7. La pérdida de tensión en correas de transmisión incrementa el costo operacional del sistema en 1,5% por incremento del consumo de energía de los motores.
8. Una trampa de aire fallando que remueve condensado puede fugar de 10 a 100 scfm que cuestan de \$950 a \$9500/año @ 18¢/kcf. (aproximadamente \$100/cfm-año).
9. El rango de fugas de aire comprimido en las instalaciones industriales van de 10-40% de la producción de aire. Una instalación con 1000 scfm de producción con un 25% de fugas está perdiendo aproximadamente \$24,000/año. El rango de las fugas individuales pequeñas (1 scfm) cuestan \$100/año, fugas medianas de 10 scfm cuestan \$1,000/año, fugas grandes de 30 scfm cuestan \$3,000/año.

MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

TECNICA DE APLICACIÓN DEL MCE CONCEPTO METODOLÓGICO

El MCE se aplica para recuperar el valor que pierde la empresa cuando el activo consume mas energía que la requerida para cumplir la función asignada.

Se considera que la empresa pierde valor por el funcionamiento del activo en condiciones de baja eficiencia energética, cuando la acción de mantenimiento para recuperar la pérdida de eficiencia energética es igual o menos costosa que el costo del consumo adicional de la energía.

El valor que esta perdiendo la empresa por el funcionamiento del activo en condiciones de baja eficiencia es la diferencia entre el costo del consumo adicional de la energía del activo y el costo de la actividad de mantenimiento requerida para evitar ese consumo adicional de energía.

Para aplicar el MCE se requiere conocer cual es el consumo adicional de energía que esta ocurriendo en el activo. Para esto se requiere una línea base de energía que indique cual es el consumo de energía que debería tener el equipo para la función que esta realizando. El consumo adicional es la diferencia entre el consumo real y el consumo según la línea base.

MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

TECNICA DE APLICACIÓN DEL MCE CONCEPTO METODOLÓGICO

Para aplicar el MCE se requiere monitorear el costo del consumo adicional de energía del equipo y conocer los costos de las actividades de mantenimiento requeridas para poder eliminarlo.

La planeación del MCE consiste en determinar previamente cuales son las causas que pueden producir un consumo adicional de energia en el activo respecto a su línea base y cuales pueden ser las actividades de mantenimiento requeridas para evitar este consumo adicional de energia.

Monitoreando el costo del consumo adicional de la energia en el activo en el tiempo, conociendo las causas probables que provocan ese incremento y los costos y las actividades de mantenimiento requeridas para actuar sobre esas causas, es posible decidir la aplicación de las mismas, de manera que pueda evitar perder valor por este concepto.

Valor recuperado = costo del consumo adicional de energia – costo de las actividades de mantenimiento aplicadas

EJEMPLO CONCEPTO METODOLOGICO MCE

1. Una caldera cuenta con un sistema del control aire combustible semimecanico, donde por medio de varillaje el modutrol (actuador) que actúa sobre la válvula de gas mueve también el damper de aire para lograr la relación aire combustible requerida para sostener la presión de trabajo a diferentes cargas térmicas.
2. Se ha identificado que este sistema se desajusta en el tiempo debido al continuo movimiento de las varillas unidas por medio de tuercas corredizas (causa raíz). El desajuste produce un alto exceso de aire promedio anual de la caldera (efecto de la causa raíz) que conlleva un incremento del consumo de combustible (efecto) , para la misma producción de vapor de la caldera (función).
3. Se conoce que la actividad de mantenimiento requerida para evitar el sobreconsumo de combustible que provoca este problema es el ajuste de la combustión en una frecuencia de tiempo determinada (actividad de mantenimiento requerida)
4. Se conoce que el costo de esta actividad de mantenimiento para esta caldera es de 500.000 COP / actividad
5. Se ha determinado el consumo adicional de combustible que produce esta falla de eficiencia de la caldera con respecto al valor de consumo que debería tener sin la falla, valorado en pérdidas de calor.



Frecuencia de ajustes/año	Exceso Aire	Perdidas de calor en gases de combustión	Exceso de aire nominal	Pérdidas nominales	Pérdidas incrementales
0	7,0%	14%	2,5%	2%	12%
1	5,0%	8%	2,5%	2%	6%
2	4,0%	5%	2,5%	2%	3%
3	3,0%	3%	2,5%	2%	1%
4	2,5%	2%	2,5%	2%	0%

NIVEL ÓPTIMO DEL MANTENIMIENTO

Ejemplo de determinación de frecuencia óptima del mantenimiento para el ajuste de combustión de una caldera

4. Se conoce que:

- Por cada 1% de pérdidas por exceso de aire en la caldera se gasta en combustible al año 100.000 COP

Se desea conocer cual será la frecuencia óptima del mantenimiento anual del ajuste de combustión de la caldera para lograr el mínimo costo anual de mantenimiento por este concepto.

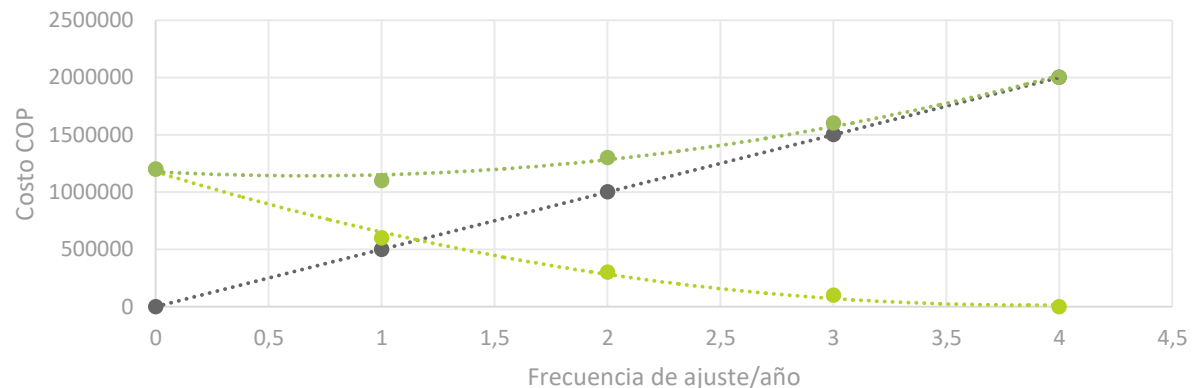
Ejemplo de determinación de frecuencia óptima del mantenimiento para el ajuste de combustión de una caldera

SOLUCIÓN

Como se observa del gráfico la frecuencia óptima de ajuste de combustión de la caldera es 1 al año, ya que es la frecuencia que produce la mínima pérdida de valor del activo anual igual a 1.100.000 COP

Frecuencia de ajustes/año	Exceso Aire	Perdidas incrementales de calor en gases de combustión	Costo pérdidas Mtto/año	Costo Mtto/año	Costo Totales/año
0	7,0%	12%	\$ 1.200.000	\$ -	\$ 1.200.000
1	5,0%	6%	\$ 600.000	\$ 500.000	\$ 1.100.000
2	4,0%	3%	\$ 300.000	\$ 1.000.000	\$ 1.300.000
3	3,0%	1%	\$ 100.000	\$ 1.500.000	\$ 1.600.000
4	2,5%	0%	\$ 0	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000

Frecuencia de ejecución de ajuste de combustión en caldera
MCE



● Costos de mantenimiento vs frecuencia

● Costos de pérdidas vs frecuencia

● Costos totales vs frecuencia

..... Lineal (Costos de mantenimiento vs frecuencia)

..... Polinómica (Costos de pérdidas vs frecuencia)

..... Polinómica (Costos totales vs frecuencia)

OBSERVACIÓN

En este ejemplo que información hemos necesitado?

1. Conocer que la caldera es un USE de la empresa
2. Conocer que el ajuste de combustión de la caldera es una variable que afecta significativamente el consumo nominal de energía para una producción de vapor dada.
3. Cuantificar el incremento del consumo de energía adicional con respecto a la variación del ajuste de la combustión.
4. Conocer donde y por qué funcionalmente se puede producir el desajuste de la combustión.
5. Conocer que actividad de mantenimiento puede corregir el desajuste de la combustión
6. Conocer cuanto puede costar la actividad de mantenimiento que corrige el desajuste de la combustión.
7. Comparar los costos y decidir la frecuencia.

Toda esta información debe salir de un análisis previo del USE, que tiene como objeto identificar tanto las variables clave como las actividades clave.

En la práctica habrá un indicador que nos diga cuanto es la desviación del consumo real de energía del nominal para una producción de vapor dada. Tendremos que identificar por qué se produce esa desviación y si es por desajuste de combustión valorar el costo de su recuperación hasta el valor nominal con el costo de la actividad y toma la decisión.

MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

TÉCNICA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA MCE

Esta es una metodología que pretende buscar la información necesaria para establecer las actividades del MCE:

1. **Estudios y preparación.** (definir USE e IDEn)
2. **Definición y selección de sistemas.** (conocer el USE y donde se puede producir el incremento del consumo de energia)
3. **Análisis funcional de la falla** (cómo se puede identificar operacionalmente la falla de eficiencia energética)
4. **Selección de subsistemas críticos** (donde y por qué se puede producir la falla de eficiencia energética. Causa raíz. Criticidad)
5. **Colección y análisis de datos** (selección de datos de monitoreo para detectar la falla y cuantificar su impacto en el consumo de energia)
6. **Análisis de los modos de fallo y sus efectos** (cuantificación del efecto del fallo)
7. **Selección de las tareas de mantenimiento** (establecer que tareas pueden eliminar los fallos)
8. **Implementación y costeo** (análisis de costos de las actividades vs beneficios de recuperación de eficiencia)
9. **Seguimiento de resultados.** (registro y evaluación de la aplicación)

MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

1. Estudio y preparación.-

Definir claramente los objetivos que se persiguen con el análisis que se va a realizar, ya que su definición condicionará el alcance del estudio.

Se selecciona los sistemas objeto de evaluación (usos significativos de energía) y se establece el criterio de medición de la eficiencia global del mismo. (Línea base y gráfico de tendencia,

Objetivo: Control de la eficiencia energética de la GV

Sistema: Generación de vapor

Criterio medición de la eficiencia:

Indicador de desempeño energético en comparación con línea base.

Herramienta de medición:

Gráfico de tendencia: suma acumulativa de las diferencias del consumo de energía del GV real vs línea base para iguales producciones de vapor.

Instrumentos de medición:

Flujómetro gas natural

Flujómetro vapor

Frecuencia de medición:
horaria

MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

2. Definición y selección de subsistemas.-

La descripción de la instalación del proceso jerárquico (registros, flujogramas) es una buena herramienta para identificar subsistemas.

Se describen e identifican los subsistemas objeto de mto centrado en la eficiencia

Instalación: sistema de tratamiento de agua; sistema de suministro de combustible; sistema de aire y gases; sistema de purgas; sistema de agua de alimentación; sistema de control.

Subsistemas objeto:

Sistema de combustible
Sistema de control aire/gas
Sistema de gases
Sistema de purgas
Sistema de tratamiento de agua
Sistema de agua de alimentación
Sistema de vapor.

MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

3. Análisis funcional de la falla.-

Finalizado el anterior paso, el siguiente es definir e identificar las funciones de los equipos y componentes de los equipos en estudio.

Para los subsistemas seleccionados en el subtítulo anterior en análisis, deben considerarse los siguientes aspectos:

- 1) Identificar y describir las funciones de los sistemas y el criterio de ejecución.
- 2) Describir los requerimientos de operación del sistema.
- 3) Identificar las formas cómo pueden fallar las funciones de los equipos seleccionados.

La aplicación de los Modos de Fallo y Análisis del Efecto es recomendado para este análisis.

Modos de fallos:

Sistema (función) tipo de falla

Sistema de combustible (presión y flujo de gas): baja o alta presión de gas; fugas de gas

Sistema de control aire/gas(relación aire/comb optima): exceso de aire; defecto de aire; deterioro del quemador

Sistema de gases (extraer gases a baja temp. Posible): alta temperatura de gases

Sistema de del agua con menores pérdidas): exceso o defecto de purgas

Sistema de tratamiento de agua (calidad del agua para evitar incrustaciones): alta dureza

Sistema de agua de alimentación (flujo de gua con la mayor temp. Posible): baja temperatura del agua

Efecto: mayor consumo de gas combustible.

MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

4) Selección de subsistemas críticos.-

El objetivo fundamental de esta tarea es la identificación de los componentes que se consideran críticos para el adecuado funcionamiento del sistema en cuestión.

La catalogación de un componente como crítico supondrá la exigencia de establecer alguna tarea eficiente de mantenimiento preventivo o predictivo que permita impedir sus posibles causas de fallo.

Para la determinación de la criticidad del fallo de un equipo deben considerarse dos aspectos:

- probabilidad de aparición
- su severidad.

La probabilidad de aparición mide la frecuencia estimada de ocurrencia del fallo considerado, mientras que la severidad mide la gravedad que el impacto que ese fallo puede provocar sobre la instalación.

Subsistemas Críticos:

Sistema de control de la combustión

Planta de tratamiento de agua

Tanque de recuperación de condensado

Sistema de suministro y regulación de combustible

Sistema de purgas

Tubería interna de calderas

Cuerpo externo de la caldera

Fallos:

Desajuste de combustión (AP, AS)

Mala calidad del agua (BP, BS)

Baja temperatura del agua (BP, AS)

Baja presión del combustible (BP, MS)

Fugas de combustible (MP, BS)

Altas purgas (AP, AS)

Ensuciamiento de superficie de calderas (MP, MS)

Deterioro del aislamiento térmico. (MP, MS)

A,B,M- alto, bajo, medio; P,S-probabilidad, severidad

MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

5) Colección y análisis de los datos.-

Los datos necesarios para el análisis pueden ser categorizados en los siguientes tres grupos:

Datos de diseño.

Datos operacionales.

Datos estándares.

El tipo de análisis es aquel que relaciona los posibles modos de fallo con la información obtenida y/o procesada.

Análisis de combustión:

Diseño: 2% O₂; 10,5 % CO₂; 0 ppm CO

Operacionales: 4% O₂; 8,5 % CO₂; 0 ppm CO

Estándar: 1,6 % O₂; 11% CO₂; 250 ppm CO

Temperatura agua alimentación:

Diseño: 90 ° C

Operacional: 80 ° C

Estándar: 85-90 ° C

Colección de datos:

Presión de gas

Temperatura AA

Composición gases de combustión

Composición agua tratada

Composición agua purgas

Temperatura de gases chimenea

Temperatura exterior cuerpo GV

Consumo gas

Producción vapor

Presión máxima requerida en procesos

Composición del vapor producido.

MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

6. Análisis de los Modos de Fallo y sus Efectos.-

El objetivo de este paso es cuantificar el efecto del fallo de eficiencia por cada tipo de causa que puede provocarlo:

1. Por cada 1% que aumente el %O₂ en gases de salida de caldera se incrementa el costo operacional del combustible en 0,66%
2. Por cada 10°F que aumente la temperatura de gases de chimenea en caldera se incrementa el costo operacional del combustible en 0,25%
3. Por cada 100 ppm que se incremente la concentración de CO en gases de chimenea se incrementa el costo operacional del combustible en 0,1%
4. Por cada 10 psig a que trabaje la caldera por encima de lo que se requiere se incrementa el costo operacional del combustible en 0,2%
5. Por cada 5,5°C (10°F) que se reduzca la temperatura del agua de alimentación a la caldera se incrementa el costo operacional del combustible en 1%.

MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

7) Selección de las tareas de mantenimiento.-

En esta tarea se realiza la lista de componentes críticos a los que convendrá identificar una tarea eficiente de mantenimiento preventivo o predictivo.

El proceso de selección de tareas de mantenimiento se inicia con la identificación de las causas más probables asociadas a los distintos modos de fallo de los componentes considerados.

El resultado de esta tarea será el conjunto de actividades de mantenimiento recomendados para cada equipo.

Se definirá el contenido concreto de las actividades específicas que deben realizarse y sus frecuencias de ejecución correspondientes.

Puede resultar de utilidad la elaboración de “plantillas” con el fin de establecer las tareas y frecuencias de ejecución de forma sistemática y homogénea, en función de aspectos tales como la criticidad del equipo o su frecuencia de uso.

A continuación un ejemplo de registro de tareas de mantenimiento de calderas pirotubulares.

Item críticos	Tareas de mantenimiento	Frecuencia
Sistema de suministro y regulación de combustible	Inspección presión de entrada al quemador, presiones entrada y salida válvula reguladora, fugas de gas en uniones y válvula reguladora.	semestral
Sistema de regulación aire/gas	Inspección recorrido modutrol, ajuste varillaje de transmisión. Inspección al dámper de aire de combustión, presión de aire de combustión. Medición composición de gases de combustión.	mensual
Chimenea. Sistemas de gases	Medición del tiro en chimenea. Medición de la temperatura de gases en chimenea. Inspección y Evaluación de corrosión interna y externa en chimenea	mensual
Purgas	Inspección estado hermeticidad válvula de purgas. Inspección tiempo y frecuencia de purgas. Inspección composición del agua de calderas.	turno
Tratamiento de agua	Inspección composición del agua tratada.	turno
Agua de alimentación	Inspección estado de aislamiento tanque de alimentación, inspección temperatura de agua de alimentación y caudal de la bomba de alimentar. Inspección nivel de revaporización a la atmósfera en tanque de condensado.	turno
Sistema de vapor	Inspección al estado y parámetros de regulación de los prensostatos de las calderas; inspección al estado de las trampas del cabezal de vapor.	mensual

FORMATO PARA CONTROL OPERACIONAL CALDERA

Formato de registro de diagnóstico operacional del generador de vapor. Hoja 1.

www.energía2.com

Formulario de registro de diagnóstico operacional del generador de vapor. Hoja 1.															
REGISTRO DE DIAGNÓSTICO OPERACIONAL DEL GENERADOR DE VAPOR		TIPO DE COMBUSTIBLE									SEMANA		AÑO		
											CALDERA NUMERO		CALDERA TIPO		
CHEQUEO DIARIO															
ACTIVIDAD DE OPERACIÓN		PARAMETRO ESTANDAR											DESVIACIÓN PERMITIDA	POSIBLES CAUSAS DE DESVIACIÓN	ALTERNATIVAS DE SOLUCION
Restar a ALTO FUEGO, temperatura de gases en chimenea de la temperatura del vapor		Menor de 50°C	Turno 1										35°C-65°C	Mala combustión, ensuciamiento de la superficie interior de la caldera, desajuste del tiro de gases.	Diagnosticar y ajustar la combustión y el tiro de la caldera, limpieza de la superficie interior de calderas.
			Turno 2												
			Turno 3												
Análisis de sólidos totales disueltos en el agua interior de la caldera.		menor de 3500 mg/l	Turno 1										Hasta 3500 mg/l	Falta de purgas de fondo.	Realizar purga de fondo.
			Turno 2												
			Turno 3												
Análisis del contenido de sílice en el agua interior de calderas.		menor de 125 mg/l	Turno 1										Hasta 125 mg/l	Falta de purgas de fondo	Realizar purgas de fondo
			Turno 2												
			Turno 3												
Análisis de la composición de CO en los gases de escape a ALTO y BAJO FUEGO.		100-150 ppm	Turno 1										Hasta 400 ppm.	Falta de aire de combustión	Incrementar la cantidad de aire o aumentar el tiro de gases en la chimenea.
			Turno 2												
			Turno 3												
Análisis de la composición de Oxígeno en los gases de la combustión.		3% a ALTO FUEGO Y 5% A BAJO FUEGO PARA CALDERAS A GAS Y 8-10% A ALTO FUEGO Y 15% A BAJO FUEGO PARA CALDERAS DE FUEL OIL.	Turno 1										Hasta 4% a alto fuego y 6% a bajo fuego para calderas a gas y hasta 12% a alto fuego y 17% a bajo fuego para	Exceso de aire de combustión o exceso de tiro en chimenea.	Disminuir la cantidad de aire en VTF o disminuir el tiro en chimenea.
			Turno 2												
			Turno 3												

MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

8) Implementación y costeo

Una vez definidas las tareas e intervalos del mantenimiento centrado en la eficiencia se efectúa la comparación de estas tareas con las vigentes dentro de la instalación y se agregan aquellas que no se encuentren o se modifican en alcance o intervalos las existentes.

Con estos resultados se redacta el nuevo plan de mantenimiento que debe ser aprobado por la gerencia quien definitivamente fija los criterios de aplicación y asigna los recursos correspondientes para su aplicación.

La aplicación de las medidas debe ser evaluada con dos criterios:

Aplicabilidad y Efectividad

Aplicabilidad: capacidad de la tarea de eliminar o reducir la falla.

Efectividad: costo de aplicación de tareas de mtto menor que costo de falla.

El resultado de esta evaluación es la mejora de la tarea de mantenimiento hasta que sea aplicable y efectiva. Logrado esto se mantiene en el plan de Mtto.



SEGUIMIENTO DE RESULTADOS.

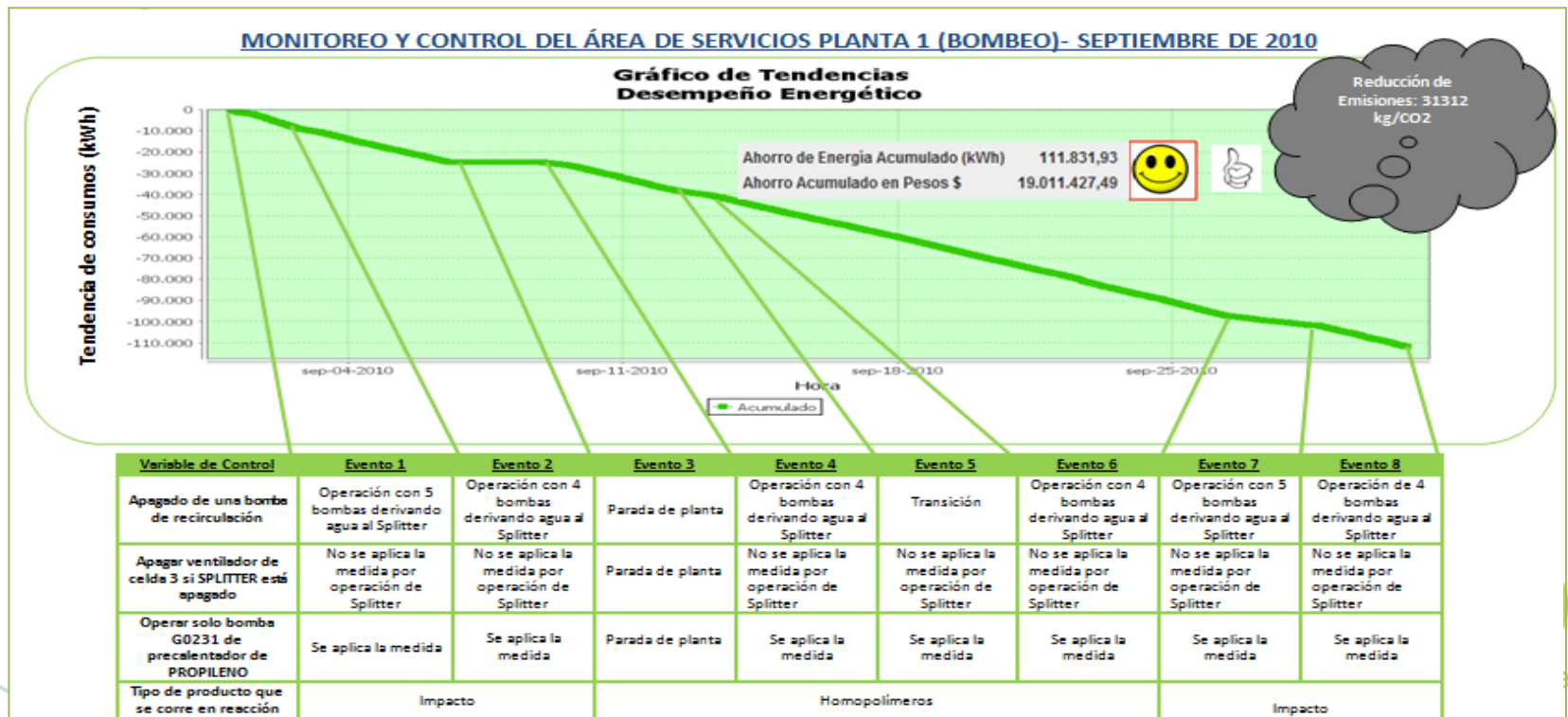
Asociación de variables al IDE

El seguimiento y el análisis de los resultados de la implantación del nuevo programa de mantenimiento son tareas que resultan de capital importancia para la evaluación de su eficacia.

Este proceso requerirá por una parte, la definición de los parámetros e índices de seguimiento, la implantación de los pertinentes procesos de captación de la información básica necesaria, el establecimiento del adecuado procedimiento de actuación y la correspondiente asignación de recursos.

Se propone como indicador de seguimiento la suma acumulativa de las desviaciones del consumo respecto a la línea base. La herramienta para este indicador es el gráfico de tendencia de consumo o CUSUM.

Adicionalmente este gráfico permite correlacionar la tendencia del consumo energético con los eventos de mantenimiento y evaluar su aplicabilidad y efectividad en tiempo real.



SEGUIMIENTO DE RESULTADOS.

Los resultados del EECM se miden fundamentalmente por dos indicadores:

- Indicador base 100
- Suma acumulativa de consumos o CUSUM

Indicador base 100

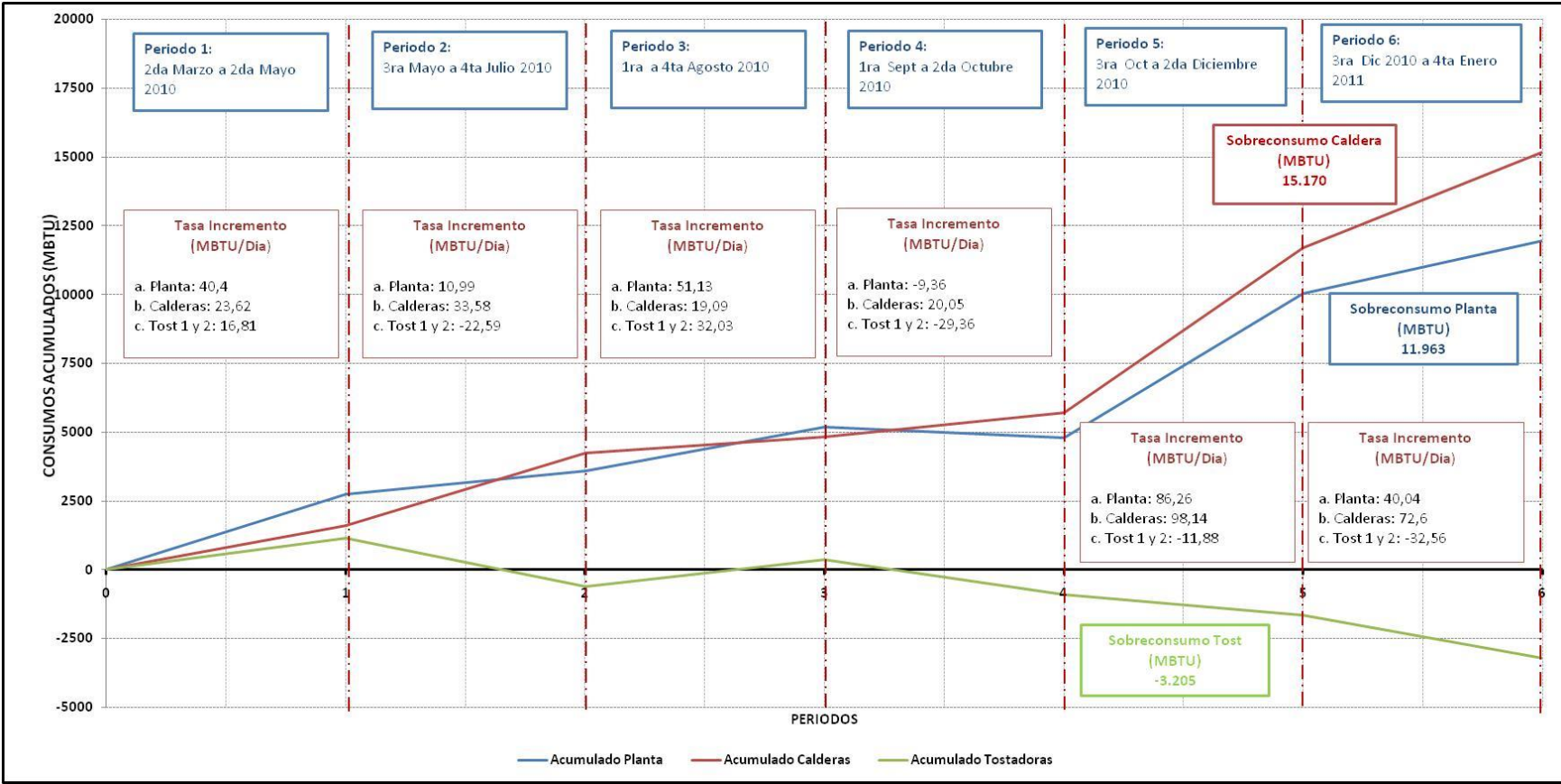
Se requiere la elaboración de la línea base que dará el modelo de $E_{LB} = F(P)$, el indicador es:

$ID_{100} = E_{real} / E_{LB} * 100$, en el período de medición acordado

CUSUM

Sumatoria $(E_{real} - E_{LB})$, al final del periodo de medición acordado.

Ejemplo de Seguimiento de resultados por CUSUM.



Análisis de eventos planta de tostado de cebada. Producción de Malta

EQUIPOS	PERIODO 1	PERIODO 2	PERIODO 3	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 6
CALDERAS	Medidor gas natural nuevo	Medidor gas natural nuevo	Medidor gas natural nuevo	Medidor gas natural nuevo	Medidor gas natural nuevo	Medidor gas natural nuevo
	Medidor gas natural nuevo	Puesta en funcionamiento Optimizador	Operación Calderas a una Presión 50 psig con Optimizador	Operación Calderas a una Presión 60 psig con Optimizador	Operación Calderas MIX: manual (100 psig) + Optimizador	a. Operación normal optimizador b. Aumento Temp Gases Caldera 3
TOSTADORAS	Instalación 6 paneles nuevos tostador	Modificación operación Compuertas recirculación aire	Sostenimiento operación nueva compuertas recirculación	Sostenimiento operación nueva compuertas recirculación	Sostenimiento operación nueva compuertas recirculación	Sostenimiento operación nueva compuertas recirculación
	1	Limpieza tostadoras 1 y 2	Producción cebada baja densidad	Producción cebada con densidad típicas	Aumento HR y reducción Temp ambiente por lluvias	Normalización humedad y temperatura ambiente
		Aumento tiempo 10 horas 2 etapa tostación	Sostenimiento tiempo 10 horas, 2etapa tostación	Sostenimiento tiempo 10 horas, 2etapa tostación	Cambio velocidades en productos	
		Vent. 100%, 4ta h 2da etapa	Vent. 100%, 6ta h 2da etapa	2da etapa 100% (24 a 27/09/10)		



GRACIAS POR SU ATENCIÓN!