

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electromecánica**



Productos de Concreto, S.A

“Sustitución de sistema de producción de vapor”

“Programa de mantenimiento preventivo”

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el grado de
Bachiller en Ingeniería en Electromecánica**

Alumno: Esteban Vega Solís

Profesor: Ing. Juan Rojas

Asesor Industrial: Sr. Herbert Arguedas

Cartago. Octubre, 2002

RESUMEN	3
SUMMARY	4
CAPITULO I. INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA.	5
1.1 MISIÓN DE LA EMPRESA	5
1.2 VISIÓN	5
1.3 ANTECEDENTES HISTÓRICOS	5
1.4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	6
1.5 RED DE DISTRIBUCIÓN	7
1.6 PRODUCTOS QUE DESARROLLA	7
1.7 LA ORGANIZACIÓN	7
1.8 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA:	8
1.9 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA Y SUS PROCESOS	9
1.10 JUSTIFICACIÓN DE LOS PROYECTOS	12
1.11. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS	14
CAPITULO II. SUSTITUCIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE VAPOR.	15
2.1 INTRODUCCIÓN	15
2.2 MARCO TEÓRICO	15
2.3 METODOLOGÍA	21
2.4 ESTUDIO DE LA FORMA DE CURAR	21
2.5 DETERMINANDO LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL CUARTO	23
2.5.1 PRUEBA DE TEMPERATURA	23
2.5.2 PRUEBA DE RESISTENCIA	31
2.6 ESTUDIO DE LA RED DE VAPOR ACTUAL	38
2.7 CONCLUSIONES GENERALES	69
CAPITULO III. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.	74
3.1 INTRODUCCIÓN	74
3.2 MARCO TEÓRICO	74
3.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PMP	75
3.4 SITUACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA	76
3.5 FORTALEZAS Y DEBILIDADES ANTE LA INSTAURACIÓN DEL PMP	77
3.6 METODOLOGÍA	79
3.7 LISTA DE EQUIPO CRÍTICO DE LA PLANTA BELÉN	80
3.8 PARÁMETROS PARA MEDIR RESULTADOS DEL PLAN:	90
3.9 ELABORACIÓN DEL MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	91
3.10 DISPONIBILIDAD PARA EL PMP	91
3.11 SOSTENIBILIDAD DEL PMP	94
3.12 CONCLUSIONES GENERALES	96
BIBLIOGRAFÍA	97
ANEXOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Resumen

La empresa Productos de Concreto S.A ha efectuado un cambio notorio en el proceso de prefabricado, lo que ha provocado alteraciones en el funcionamiento de otras áreas de la planta, incluyendo a la red de vapor.

La cantidad de producto que requiere ser tratado por la caldera disminuirá aproximadamente un 65% dentro de seis meses debido a la entrada de nuevos procesos productivos. Lo anterior impulsa a la empresa a realizar un balance de la carga térmica y a evaluar cuáles de los componentes de la red de vapor deben ser cambiados para asegurar una alta eficiencia. Éste estudio recibe el nombre de selección tecnológica.

El segundo trabajo consiste en la implementación de un plan de mantenimiento preventivo para la Planta Belén. La empresa tiene trabajos previos sobre el tema, de ahí que se emprendió la labor de uniformar y consolidar las inspecciones existentes en un formato acorde con la situación actual.

Palabras claves: productos de concreto, red de vapor, curado con vapor, mantenimiento preventivo, equipo crítico.

Summary

The company Products of Concrete S.A has made in this year a notorious change in the prefa process, what has caused modifications in the operation of other areas of the plant. One of those areas are the steam system.

The vapor is used in the cured in the products like a way of accelerating the one forged and hardening of the pieces, maintaining to change a control on the final resistance. However, the cured tonnage in six months will be much smaller, approximately 65% less than that cured with the process of old prefabricated. The above-mentioned impels to the company to carry out a balance of the thermal load and to evaluate the components of the system (technological selection), aspects contemplated in this work.

The second work consists on the implementation of a plan of preventive maintenance for the Planta Belén. The company has previous works on the topic, with the result that the work was undertaken of to standardize and to consolidate the existent inspections in an in agreement format with the current situation. This caused the necessity to revise the list of teams, to include teams that were not coded, to select them according to their criticism, to revise the technical material, to create an up-to-date format for the manual of inspections, to create the routes of inspections, to make the listing of critical teams and to define the sustainability of the plan, everything according to the way of operation of the plant.

Key words: products of concrete, steam, steam cured, preventive maintenance, critical equip.

CAPITULO I. Información general de la empresa.

Descripción de la empresa.

1.1 Misión de la Empresa

Satisfacer las necesidades de nuestros clientes mediante soluciones basándose en sistemas constructivos de alto valor percibido y de alto valor agregado (ingeniería).

1.2 Visión

Somos una empresa de servicio al cliente.

Somos una empresa líder en productos de concreto de alto valor percibido.

Tenemos fuerte presencia nacional.

Somos una organización integrada, liviana, competitiva y motivada.

Somos una empresa comprometida con el uso responsable del medio ambiente.

Somos la empresa preferida de nuestros clientes, colaboradores, accionistas y comunidad.

Creemos rentablemente y en forma ordenada.

1.3 Antecedentes Históricos

Hace 54 años, el Ing. Trino Araya empezó a fabricar tubos de 7,5 cm a 20 cm de diámetro en el patio de su casa, el desarrollo empresarial de Productos de Concreto (PC) ha estado marcado por la continua innovación tecnológica y de productos.

Desarrollo de PC:

1959: Bloques de concreto y piso terrazo

1963: Sistemas de vivienda prefabricada

1966: Tubos de concreto de grandes diámetros

1968: Entrepisos de doble Tee

1969: Vigas de puente postensado y pavimentos de adoquines

1971: Naves Industriales

1981: Estadios, puertos y durmientes para ferrocarril

En la década de 1980, el desarrollo de la industria de la construcción se vuelve más lento. Pese a esto, se hicieron innovaciones en nuevos sistemas para edificios, se construyeron puentes prefabricados como el Juan Pablo II y el de la Hispanidad. Se modificó el sistema de postes de electrificación y el sistema de paredes para vivienda Prefa (1983) y se dio una fuerte exportación de tuberías a Guatemala.

En 1990 se introdujo un nuevo sistema prefabricado para condominios, se desarrollaron los entrepisos livianos (1992), el sistema de tierra armada para muros de retención y bastiones de puentes (1996), también se lanzó al mercado el teknoblock que es un método de construcción modular.

En 1997 se inició la modernización de la planta de pretensados, lo que representa una ampliación de su capacidad instalada y una mayor eficiencia de sus procesos productivos. En este mismo año se concretó la integración administrativa y accionaria con las otras empresas que hoy conforman la Corporación INCSA.

1.4 Ubicación Geográfica

Con el pasar de los años, Productos de Concreto se ha desarrollado y extendido, en la actualidad la empresa cuenta con tres plantas y bodegas ubicadas en Cartago, San Antonio de Belén y Patarrá. Además de ellas se cuenta con salas de exhibición y ventas en San Francisco de Dos Ríos.

1.5 Red de Distribución

PC vende sus propios productos en todo el país mediante sucursales en Guanacaste, Alajuela, Heredia, Cartago y una amplia red de más de 100 distribuidores. Además, la empresa ha extendido sus ventas más allá de nuestras fronteras, y en la actualidad se da la exportación de productos (tubos, prefa y otros) a países latinoamericanos.

Productos de Concretos es una empresa que se ha caracterizado no solo por el producto que vende, sino también, por la asesoría técnica que ofrece en los productos y en la aplicación de los mismos. Otro aspecto importante de resaltar es que la empresa siempre ha dispuesto con el personal altamente especializado.

1.6 Productos que desarrolla

Con el pasar de los años, el aumento de la tecnología y el creciente desarrollo del país en el campo de la construcción, PC ha desarrollado una amplia gama de productos que cumplen con las normas de calidad establecidas por los entes internacionales. Entre los productos más importantes que ha desarrollado PC están: Sistema Prefa para vivienda, CasaPac PC, Tubos de concreto reforzado y sin refuerzo, Pavimentos de adoquines, Postes de Electrificación, Bloques, bloques arquitectónicos, teknoBLOCK, entresijos pretensados, Elementos prefabricados para la construcción de edificios comerciales, naves industriales y puentes. Para efectos de éste trabajo, Prefa produce columnas y baldosas en gran variedad de tamaños y formas.

1.7 La Organización

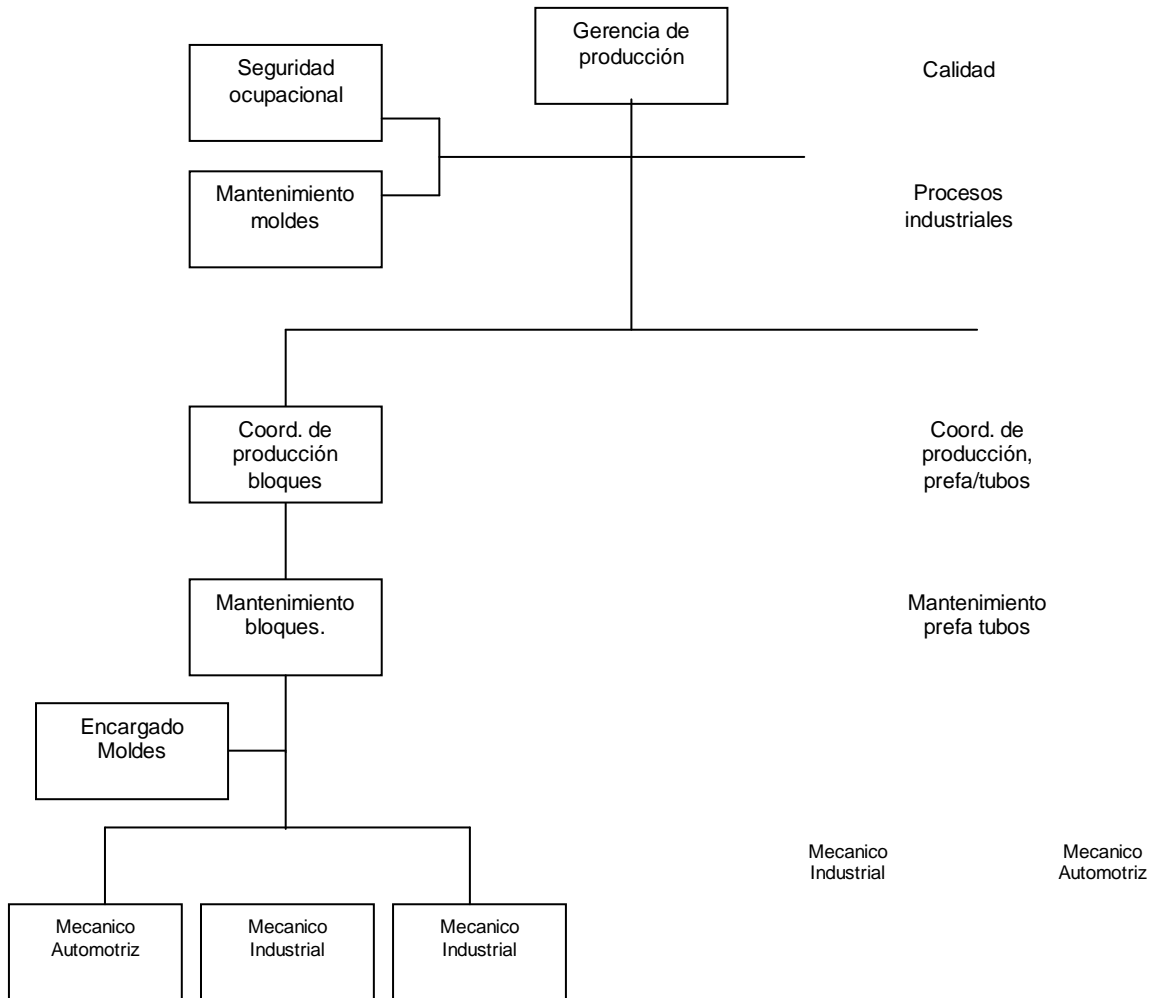
En el caso de la Planta Belén, los equipos están divididos de la siguiente manera:

- a. Producción de concreto.

- b. Prefa
- c. Dirección planta
- d. Tubos
- e. Caldera

A cada centro se cargan costos porque cada uno contiene una serie de equipos que más adelante se detallan.

1.8 Organigrama de la empresa:



1.9 Descripción de la planta y sus procesos.

La empresa basa toda su producción sobre el trasiego y el procesamiento de agregados (distintos tipos de arena y piedra) y cemento. Desde el patio de agregados los materiales son transportados por la banda principal hacia las tolvas ubicadas en la parte superior de una torre.

De manera independiente, los materiales bajan hasta un sistema de pesado automatizado. La combinación y cantidad de materiales dependerá del producto a realizar porque tubos, baldosas y columnas son trabajados con distintas “recetas”. Por medio de ductos, dos mezcladoras reciben de manera independiente los agregados y el cemento.

En cada mezcladora, el operador inicia la batida agregando varios elementos que fortalecen el concreto hasta que, de acuerdo a su destreza, el material se encuentre listo para ser procesado por las máquinas. El agua agregada se llama “agua libre”.

Las mezcladoras alimentan varios procesos:

- a. Una máquina de hacer tubos.
- b. Una máquina de tubos de gran diámetro.
- c. Una máquina de hacer baldosas (proceso viejo).
- d. Una máquina de hacer baldosas (proceso nuevo).
- e. Una máquina de hacer columnas (proceso nuevo).
- f. Un grupo de bancadas donde se elaboran columnas (proceso viejo).

El material es llevado hasta la tolva de cada máquina y es descargado, para luego chorrear los moldes de tubos, baldosas y columnas con mezclas que presentan variaciones.

Conceptos:

Fraguado: Es el proceso mediante el cual el cemento se endurece y comienza a ganar resistencia. El tiempo de fraguado de la pasta se define como fraguado inicial y fraguado final. Ambos son tiempos arbitrarios e indican el momento en que la pasta comienza a endurecerse considerablemente. El fraguado inicial ocurre generalmente entre 1 y 4 horas y el final entre 3 y 7 horas. Cuando las piezas prefabricadas empiezan a fraguar, se manifiesta superficialmente en forma de una especie de piel. Entre más lento sea el fraguado, mayor es la resistencia final, sin embargo en el caso del prefa, interesa un tiempo menor para que se dé un desmolde rápido.

(<http://spanish.besser.com/e-services/cmuprocess.htm>).

Las piezas ya chorreadas son sometidas luego al proceso de curado. El curado se hace aplicando vapor vivo, éste tiene como propósito mantener 100% de humedad y una temperatura entre 65 y 85 °C. En algunos climas cálidos, el calor generado por el proceso químico del fraguado del cemento, llamado "Calor de Hidratación", es suficiente para elevar la temperatura a los niveles deseados sin utilizar vapor. Todo el proceso de curado toma normalmente 24 horas, pero puede ser acortado a través de ajustes en el diseño de la mezcla y las temperaturas del curado.

Para efectos del trabajo se dará una breve explicación de algunos conceptos relacionados con el proceso.

Precura: es un periodo de tiempo que transcurre entre la chorrea del molde y el comienzo de la aplicación del vapor. Teóricamente se recomienda darle dos horas de tiempo antes de aplicar el vapor a las columnas y de éstas dos horas conviene cubrirlas con una lona durante al menos una hora. El viento y la temperatura ambiental son dos variables que afectan el acabado y la resistencia

final a tal punto que durante las noches frías se amplía la precaura para evitar las fisuras y las pulverizaciones de las columnas.

Cura: es un periodo de tiempo de una hora durante la cual se aplica vapor vivo. Esto puede ocurrir en una bancada tapada con lona, ó dentro de una cubierta metálica conocida como “gorro” ó dentro de un cuarto aislado conocido en inglés como “kiln”. Los tubos raras veces son curados con vapor.

Reposo: son dos horas posteriores a la cura. Resultan de gran importancia ya que la exposición a un cambio brusco de temperatura puede provocar fisuras en las columnas y en las baldosas. Precede al desmolde.

Completado el proceso anterior, los operarios desmoldan y proceden a desarmar los moldes para luego trasladar las columnas al patio, donde el concreto continua el proceso natural de maduración. Los moldes siguen otro importante proceso aparte, ya que luego son limpiados, armados y se les aplica desmoldante. Los productos de concreto llevan en la mayoría de casos una armadura de acero.

Pretensado: el concreto por naturaleza tiene poca resistencia a la flexión, por eso se acostumbra colocarle una alma de acero en el interior de las columnas para mejorar la resistencia. Ésta alma es un torón al que se le aplica una gran tensión por medio de equipo especial. Luego los moldes son chorreados. Los moldes de columnas nuevas tienen distintas dimensiones y su disposición es muy diferente al proceso viejo, desde el pretensado hasta el modo de chorrear las columnas.

1.10 Justificación de los proyectos.

Proyecto de Diseño de Ingeniería:

La principal justificación del proyecto es el sobre-diseño de la caldera. Como ya se mencionó en el resumen, se proyecta una drástica disminución en el tonelaje curado, debido a la incorporación del nuevo proceso de baldosas el cual no requiere del uso del vapor. Las nuevas baldosas son producidas utilizando aditivos especiales.

La empresa Productos de Concreto S.A. basa la mayoría de sus actividades contables y administrativas en una unidad de medida: la tonelada (1000 kg), por lo que es común escuchar la expresión “tonelaje” y “tonelaje curado” aunque no sea una unidad perteneciente al S.I.

El hecho es que las nuevas columnas si requieren curado. Se calculó una producción de 57900 kg de columnas nuevas que deben ser tratadas con vapor, lo que equivalen a 7 curadas por día. Éste tonelaje no se compara con el tonelaje del proceso viejo, principalmente en los períodos de mayor producción.

Tomando en cuenta la sub-utilización de la caldera y la baja eficiencia que va a tener, se quiere evaluar la posibilidad de adquirir una nueva caldera de menor potencia que sustituya a la caldera Kewanee de 100 BHP. También se desea evaluar todo accesorio y equipo relacionado con la red de vapor, o sea, el cuarto de cura, válvulas, trampas, aislamiento, etc. El propósito del proyecto es hacer recomendaciones con números en mano, cambios que sean rentables en un periodo de tiempo pequeño.

Dentro de las normas que rigen la Corporación y con relación al Proceso de Gestión Energética, existe el paso llamado “controlling” que dice: “una desviación inusual da lugar a un inmediato análisis de las causas y a la eliminación del fallo”. La desviación sería el decremento de tonelaje curado y el fallo sería la baja eficiencia de la caldera.

Proyecto de Gestión Administrativa.

El plan de Mantenimiento Preventivo ha sido el tema de varios practicantes en Productos de Concreto. Es por eso, que la empresa decide trabajar con todo el material acumulado hasta la fecha y acondicionarlo a los estándares de MAC (Mantenimiento aplicado a Concreteras).

Este proyecto pretende ser implementado y que funcione realmente. Actualmente la empresa funciona bajo la modalidad del mantenimiento correctivo junto con el programado, esto acarrea las desventajas normales: ausencia de documentación en una época en lo que no está escrito no existe, pérdida de horas productivas ante fallos imprevistos, cargas de trabajo elevadas en cortos períodos de tiempo, etc. Dada la flexibilidad que caracteriza al Mantenimiento Preventivo la empresa desea adoptarlo siguiendo el ejemplo de otras empresas de la Corporación y por el mismo motivo, se tiene la certeza de aplicarlo a varios equipos nuevos que merecen un mantenimiento sustentado en las inspecciones periódicas.

El asesor de la empresa, junto con personeros de la misma solicitaron que éste preventivo tenga características especiales, ya que se quiere direccionar hacia el Mantenimiento Autónomo y por lo tanto, se le dará énfasis a la limpieza y al criterio técnico de los operadores de cada equipo, situación que es ampliamente valorada por la dirección de la empresa.

1.11. Objetivos generales y específicos.

Objetivo general del Proyecto de Diseño de Ingeniería:

- a. Selección tecnológica de la red de vapor.

Objetivos específicos del Proyecto de Diseño de Ingeniería:

- a. Evaluar los componentes de la red de vapor ante la disminución en la demanda de vapor, producto de los cambios de proceso.
- b. Determinar la eficiencia energía / tonelaje curado (actual y futuro).
- c. Realizar el levantamiento del plano de la red actual.
- d. Justificación económica.

Objetivo general del Proyecto de Gestión Administrativa:

- a. Implementar un Plan de Mantenimiento Preventivo para la Planta Belén que cubra las áreas mecánica, eléctrica, automotriz, civil.

Objetivos específicos del Proyecto de Gestión Administrativa:

- a. Revisar material ya existente.
- b. Adecuar ése material a la situación actual de la planta.
- c. Crear una base documental para el proyecto.
- d. Asegurar la sostenibilidad del Plan.

CAPITULO II. Sustitución del sistema de producción de vapor.

2.1 Introducción.

Este proyecto se trabajó de la siguiente forma:

- a. Se practicó un reconocimiento de los componentes actuales de la red de vapor.
- b. Se estudió la forma en la que se realiza el curado de los productos prefabricados.
- c. Se plantearon ejercicios que permitieran determinar las condiciones de funcionamiento del cuarto de cura.
- d. Se realizaron cálculos para obtener los datos de caudal, eficiencia y resistencia.

2.2 Marco teórico.

El vapor es una etapa intermedia entre la fase líquida y la fase gaseosa que se genera cuando se le añade energía calorífica al agua dentro de una caldera, a partir de un combustible que puede ser diesel, bunker, gas ó carbón. Simplemente se añade suficiente energía para que se eleve la temperatura del agua hasta su punto de ebullición. Después de ello, cualquier energía adicional transforma el agua en vapor, sin un incremento en la temperatura (calor latente).

En el caso de la Planta, el vapor es usado para transportar la energía transferida por el bunker desde un punto central (la caldera Kewanee) hasta los lugares donde se va a utilizar (el cuarto de cura).

Como ya se mencionó, se requiere de energía (kJ) adicional para transformar agua hirviendo a vapor de agua. Esta energía en realidad no se pierde si no que se almacena en el vapor hasta que es utilizada en el proceso.

La cantidad requerida de calor latente es diferente para cada combinación de presión/temperatura, como se muestra en la Tabla del Vapor (figura 2.1).

El Calor

Se define como energía en transición. “El calor fluye de un punto a alta temperatura a un punto a temperatura menor, ésto es lo que se conoce como transferencia de calor. Empezando en la cámara de combustión de la caldera, el calor fluye a través de la pared de los tubos de la caldera hasta el agua. Cuando la presión más alta de la caldera empuja el vapor hacia afuera de la caldera, los tubos de distribución se calientan. Entonces el calor fluye, a través de la pared de los tubos, hacia el aire a temperatura menor alrededor de la tubería. Esta transferencia de calor transforma una cierta cantidad del vapor en agua nuevamente. Ésta es la razón por la que usualmente las tuberías de distribución están aisladas, ya que así se minimiza el desperdicio de energía de esta transferencia de calor indeseable” (Armstrong, 2001)

El condensado es un producto secundario de la transferencia de calor en un sistema de vapor. Se forma en las tuberías de distribución debido a la pérdida de calor por radiación.

El condensado todavía es agua caliente con valor energético y se debe de regresar a la caldera, aún cuando el calor disponible en un kilogramo de condensado es relativamente poco comparado al de un kilogramo de vapor.

En las aplicaciones de vapor vivo resulta difícil recuperar el condensado ya que se contamina al entrar en contacto con superficies como la de los moldes y las paredes del cuarto de cura.

La transmisión de calor se puede dar por lo general como una combinación de la radiación y la conducción. En la radiación la transmisión se da por medio de las ondas que irradian desde un cuerpo con temperatura T_1 hasta un cuerpo de temperatura T_2 , siendo T_1 mayor que T_2 . Para que se dé la conducción, la diferencia de temperatura entre ambos cuerpos se manifiesta a través de un medio físico.

Tablas de vapor.

Es un compendio de las variables mas utilizadas en los cálculos de energía. La figura 1.1 es una tabla de vapor del manual Armstrong:

Propiedades del Vapor Saturado

(Tomadas de "Propiedades Termodinámicas del Vapor", por Keenan y Keyes, con permiso de John Wiley & Sons, Inc.)

Columna 1 Presión Manométrica (bar)	Columna 2 Presión Absoluta (bar)	Columna 3 Temperatura del Vapor (°C)	Columna 4 Calor del Líquido Saturado (kJ/kg)	Columna 5 Calor Latente (kJ/kg)	Columna 6 Calor Total del Vapor (kJ/kg)	Columna 7 Volumen Específico del Líquido Saturado (m ³ /kg)	Columna 8 Volumen Específico del Vapor Saturado (m ³ /kg)
-1.008	0.0061	0.01	0.01	2501.3	2501.4	0.001 000	206.14
-0.99	0.02	17.50	73.48	2460.0	2533.5	0.001 001	67.00
-0.96	0.05	32.88	137.82	2423.7	2561.5	0.001 005	28.19
-0.91	0.10	45.81	191.83	2392.8	2584.7	0.001 010	14.67
-0.76	0.25	64.97	271.93	2346.3	2618.2	0.001 020	6.204
-0.51	0.50	81.33	340.49	2305.4	2645.9	0.001 030	3.240
-0.26	0.75	91.78	384.39	2278.6	2663.0	0.001 037	2.217
-0.01	1.00	99.63	417.46	2258.0	2675.5	0.001 043	1.6940
0.24	1.25	105.99	444.32	2241.0	2685.4	0.001 048	1.3749
0.49	1.50	111.37	467.11	2226.5	2693.6	0.001 053	1.1593
0.74	1.75	116.06	486.99	2213.6	2700.6	0.001 057	1.0036
0.99	2.00	120.23	504.70	2201.9	2706.7	0.001 061	0.8857
1.24	2.25	124.00	520.72	2191.3	2712.1	0.001 064	0.7933
1.49	2.50	127.44	535.37	2181.5	2716.9	0.001 067	0.7187
1.74	2.75	130.60	548.89	2172.4	2721.3	0.001 070	0.6573
1.99	3.00	133.55	561.47	2163.8	2725.3	0.001 073	0.6058
2.24	3.25	136.30	573.25	2155.8	2729.0	0.001 076	0.5620
2.49	3.50	138.88	584.33	2148.1	2732.4	0.001 079	0.5243
2.74	3.75	141.32	594.81	2140.8	2735.6	0.001 081	0.4914
3.0	4.0	143.63	604.74	2133.8	2738.6	0.001 084	0.4625
3.5	4.5	147.93	623.25	2120.7	2743.9	0.001 088	0.4140
4.0	5.0	151.86	640.23	2108.5	2748.7	0.001 093	0.3749
4.5	5.5	155.48	655.93	2097.0	2753.0	0.001 097	0.3427
5.0	6.0	158.85	670.56	2086.3	2756.8	0.001 101	0.3157
6.0	7.0	164.97	697.22	2066.3	2763.5	0.001 108	0.2729
7.0	8.0	170.43	721.11	2048.0	2769.1	0.001 115	0.2404
8.0	9.0	175.38	742.83	2031.1	2773.9	0.001 121	0.2150
9.0	10.0	179.91	762.81	2015.3	2778.1	0.001 127	0.194 44
10.0	11.0	184.09	781.34	2000.4	2781.7	0.001 133	0.177 53
11.0	12.0	187.99	798.65	1986.2	2784.8	0.001 139	0.163 33
12.0	13.0	191.64	814.93	1972.7	2787.6	0.001 144	0.151 25
13.0	14.0	195.07	830.30	1959.7	2790.0	0.001 149	0.140 84
14.0	15.0	198.32	844.89	1947.3	2792.2	0.001 154	0.131 77
16.5	17.5	205.76	878.50	1917.9	2796.4	0.001 166	0.113 49
19.0	20.0	212.42	908.79	1890.7	2799.5	0.001 177	0.099 63
21.5	22.5	218.45	936.49	1865.2	2801.7	0.001 187	0.088 75
24	25	223.99	962.11	1841.0	2803.1	0.001 197	0.079 98
29	30	233.90	1008.42	1795.7	2804.2	0.001 217	0.066 68
34	35	242.60	1049.75	1753.7	2803.4	0.001 235	0.057 070
39	40	250.40	1087.31	1714.1	2801.4	0.001 252	0.049 780
49	50	263.99	1154.23	1640.1	2794.3	0.001 286	0.039 440
59	60	275.64	1213.35	1571.0	2784.3	0.001 319	0.032 440
69	70	285.88	1267.00	1505.1	2772.1	0.001 351	0.027 370
79	80	295.06	1316.64	1441.3	2758.0	0.001 384	0.023 520
89	90	303.40	1363.26	1378.9	2742.1	0.001 418	0.020 480
99	100	311.06	1407.56	1317.1	2724.7	0.001 452	0.018 026
119	120	324.75	1491.3	1193.6	2684.9	0.001 527	0.014 26
139	140	336.75	1571.1	1066.5	2637.6	0.001 611	0.011 485
159	160	347.44	1650.1	930.6	2580.6	0.001 711	0.009 306
179	180	357.06	1732.0	777.1	2509.1	0.001 840	0.007 489
199	200	365.81	1826.3	583.4	2409.7	0.002 036	0.005 834
219.9	220.9	374.14	2099.3	0.0	2099.3	0.003 155	0.003 155

Figura 1.1 Tabla de vapor

Los conceptos más importantes que se van a utilizar en éste trabajo son:

Vapor Saturado:

Es vapor puro a una temperatura igual a la temperatura a que hierve el agua a una presión dada.

Presiones Absoluta y Relativa:

Presión absoluta es la presión medida con respecto al vacío perfecto.

Presión manométrica es la presión medida con respecto a la presión atmosférica, la cual es igual a 1.01 bar absoluta. Presión Absoluta es la suma de la presión manométrica más la atmosférica.

Relaciones Presión/Temperatura (Columnas 1, 2 y 3):

A cada presión del vapor puro le corresponde una temperatura única. Por ejemplo: al vapor puro a 10 bar absolutos siempre le corresponde una temperatura de 180°C.

Calor del Líquido Saturado (Columna 4):

Es la cantidad de calor requerida para elevar la temperatura de un kilogramo de agua desde 0°C hasta el punto de ebullición a la presión y temperatura mostradas. Se expresa en kJ/kg.

Calor Latente o Calor de Vaporización (Columna 5):

Es la cantidad de calor expresada en kJ/kg que se requiere para cambiar un kilogramo de agua hirviendo a un kilogramo de vapor. Esta misma cantidad de calor se libera cuando un kilogramo de vapor se condensa y se vuelve un kilogramo de agua. El calor latente es diferente para cada combinación de presión/temperatura.

Calor Total del Vapor (Columna 6):

Es el calor total en vapor arriba de 0°C. Es igual a la suma del Calor del Líquido Saturado (Columna 4) y el Calor Latente (Columna 5), expresado en kJ/kg.

Entalpía:

Es la cantidad de calor total que tiene la unidad de peso de un fluido en su estado líquido o en su fase de vapor, es una manera de ver la energía calórica presente en un cuerpo. Se expresa en kJ/kg. Si se trabaja con unidades de presión inglesas se usa la unidad de presión lb/pulg² y con temperatura en grados Fahrenheit (° F), entonces la entalpía debe expresarse como BTU/lb, lo cual es muy común en la mayoría de libros de texto y en los manuales de los proveedores con los que se trabajó. Por ejemplo, un vapor saturado a 1.72 bar tiene una temperatura de saturación de 115.5 °C y los valores de entalpía son:

$$h_f = 484.7 \text{ kJ/kg (líquido)}$$

$$h_g = 2700 \text{ kJ/kg (gas)}$$

Lo anterior se interpreta: si tenemos vapor a 1.72 bar y pasa de vapor a líquido con presión y temperatura constantes, entonces por cada kilogramo de vapor que se condense se obtienen $h_g - h_f$ (kJ/kg). Esta diferencia se llama entalpía de vaporización.

$$h_g - h_f = \mathbf{2214.4 \text{ kJ/kg}} \text{ ó } 952.1 \text{ BTU/lb}$$

O sea que con 1 kg de ese vapor que sea condensado, teóricamente se obtiene una energía de 2214.4 kJ/kg.

Caballo caldera.

Una caldera tiene una capacidad de 1 caballo caldera cuando es capaz de producir 15.65 kg/h (34.5 lb/h) de vapor saturado a una temperatura de 100 °C (212 °F) utilizando agua de alimentación a la misma temperatura.

2.3 Metodología

Se consideró necesario obtener los siguientes datos, tanto en las condiciones de funcionamiento actuales como en las condiciones en que estará la planta dentro de unos meses:

- a. potencia de la caldera.
- b. Consumo de bunker del cuarto (l/h).
- c. Cantidad de vapor consumido en el cuarto (kg/h).
- d. Horas de operación de la caldera.
- e. Costo del bunker.

El cuarto de cura no cuenta con ningún estudio acerca del caudal de vapor requerido ni del consumo de bunker por cantidad de producto curado, de ahí la importancia de elaborar un método para encontrar la carga térmica por medio de pruebas de campo.

El proyecto “Sustitución del sistema de producción de vapor” sigue el siguiente orden:

- a. Estudio de la forma de curar.
- b. Determinar los parámetros de operación del cuarto.
- c. Estudio de la red de vapor actual.
- d. Conclusiones generales

2.4 Estudio de la forma de curar

El curado de las columnas es una labor en la que se necesitan operarios con mucho conocimiento sobre las reacciones del concreto con la temperatura ambiental y con el aire. El encargado de la cura cuenta con muchos años

dedicados a trabajar con productos de clases diferentes, con diversidad de agregados y mezclas. Por el tipo de labor, se da una constante comunicación entre el encargado de la cura que es además el operador de la caldera, y los operadores de las mezcladoras.

El proceso nuevo cuenta con una maquina de columnas la cual alimenta los moldes. Cada molde es colocado sobre una mesa especialmente diseñada, luego el alimentador se desplaza descargando el material sobre el molde. Simultáneamente unos motores vibradores se activan y compactan la mezcla mientras los operarios dan el acabado final a las columnas. El proceso de curado es el siguiente paso.

Los operarios se encargan de ir apilando filas de moldes listos en un carro montado sobre los rieles que cruzan el cuarto. Cada molde contiene cierto número de columnas y cada carro un cierto número de filas. Un segundo carro es alistado y colocado consecutivamente al anterior. Chorreado el último molde, se inicia el tiempo de precura.

Como el periodo en el que se elaboró este proyecto es prácticamente de pruebas y no es tan exigente la producción, la precura se extendía por más de 2 horas cuando en realidad esto no es viable en los periodos de alta producción. Por medio del personal, se supo que la precura de columnas en éstos casos suele ser de poco más de 1 hora. Cuando eso ocurre, entonces se busca variar la mezcla y los tiempos de curado, con el fin de llegar a la resistencia adecuada. El parámetro de las columnas es la resistencia, dependiendo de la resistencia se hacen los ajustes de agregados necesarios. Por iniciativa del mismo personal, se realizaron pruebas de resistencia con el tiempo de precura critico de una hora, de lo que se hablará más adelante.

2.5 Determinando los parámetros de operación del cuarto.

Para determinar los parámetros con los que funciona el nuevo cuarto de cura, se procedió a realizar dos ejercicios:

1. Prueba de temperatura.

2. Prueba de resistencia.

El objetivo general de éstas dos pruebas es que la empresa sea capaz de comparar con datos previos el consumo de combustible por cada 1000 kg de producto curado. Los objetivos específicos son encontrar tanto los valores del consumo de bunker, como los valores del consumo de vapor del nuevo cuarto de cura.

2.5.1 Prueba de temperatura.

Ése documento contiene la lista de requerimientos necesarios para obtener una serie de variables que no estaban documentadas:

- a. La temperatura de la pila de moldes en el interior del cuarto antes, durante y después de la cura.
- b. El consumo de búnker resultante del curado de columnas nuevo.
- c. El caudal de vapor resultante.

Estas tres variables se usarían en:

- a. La determinación de la carga térmica del sistema proyectado dentro de unos meses.
- b. La elaboración de una curva de temperatura que describiera el comportamiento de la temperatura de los moldes durante el tiempo que dura la precura, la cura y el reposo en el interior del cuarto.

Disponibilidad del cuarto de cura.

Las pruebas se realizaron una vez que se curó reuso **(1)** en la mañana, de ahí que se contó con el uso del cuarto de las 12:00 md a las 04:30 pm. Durante éste periodo no se curaron ni bancadas ni gorros de modo que se tomaron los consumos de búnker **sólo del cuarto de cura**, lo que permitió calcular el caudal de vapor una vez finalizadas las pruebas.

(1) Reuso: Moldes que son usados nuevamente durante la jornada

Cantidad de mediciones.

En total se obtuvieron datos de temperatura y tiempo de una precura, tres curas y un reposo, todo en el interior del cuarto. Se trabajó en cada ocasión con un carro de 4 filas de moldes chorreados. El último molde se chorreó a las 11:30 am, por lo que se cumplió el tiempo recomendado de precura estimado en 2 horas.

Equipo utilizado.

Termómetro infrarrojo Fluke, modelo 65. Se usó el termómetro siguiendo las indicaciones del manual para obtener datos confiables:

- a. Los materiales a los que se les tomó temperaturas cumplen con el rango de emisividad especificada (0.8 – 0.9 acero y concreto).
- b. Los datos se tomaron a la distancia especificada (203 mm min.).
- c. Se escogieron zonas que no presentaran irregularidades en las partes bajas, medias y altas de la pila de moldes.

Procedimiento empleado.

Se diseñaron hojas de datos para apuntar la temperatura cada 15 minutos. Se le dio seguimiento a cada grupo de moldes por medio de una hoja independiente, según la zona del cuarto donde estuviera: el carro evaluado cuenta con una primera hoja de temperaturas perteneciente a la zona 1, o sea, a la zona de precura. Ése mismo carro cuenta con una segunda hoja de temperaturas perteneciente a la zona 2 (zona de cura).

Por último, una tercera hoja de temperaturas describe el comportamiento del carro en la zona 3, o sea, la zona de reposo.

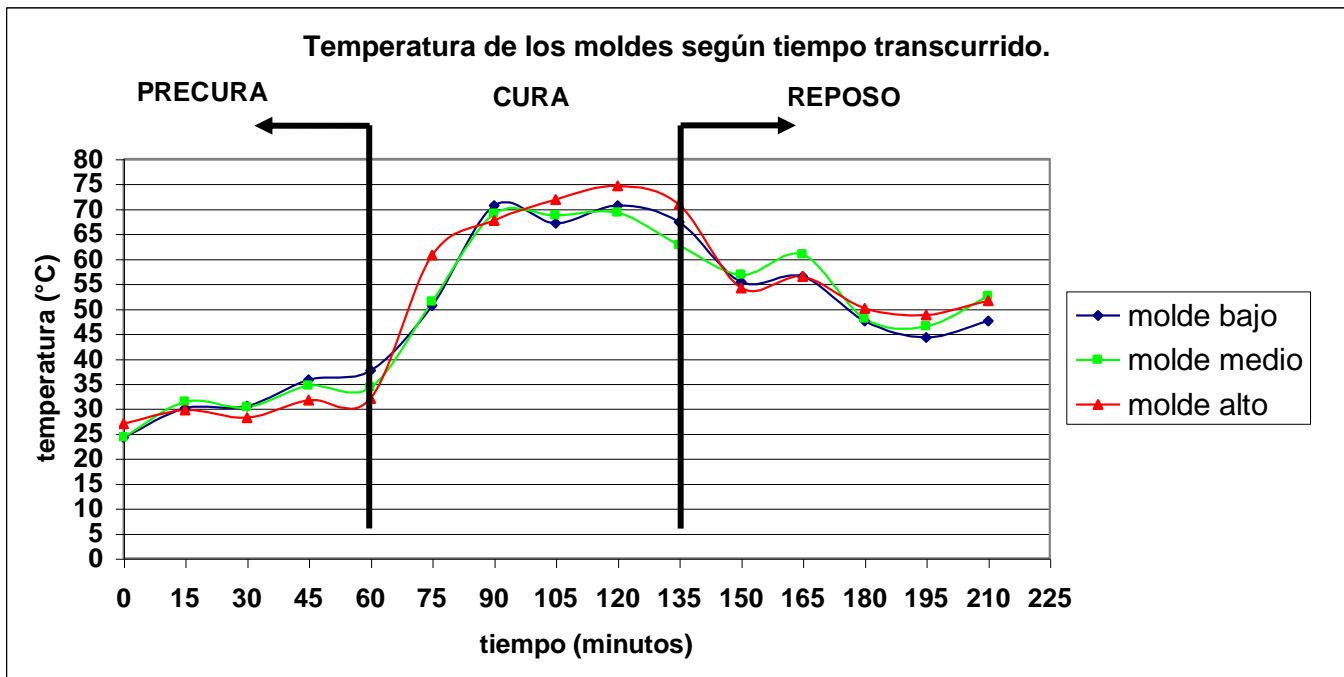
Las hojas recogen información de campo acerca de cuántos moldes contenían los carros que fueron curados, fecha, hora de inicio de la prueba, las temperaturas tomadas cada 15 minutos en el molde bajo, en el medio y en el alto, la hoja también indica en cual zona del cuarto se tomaron los datos y por último se indican las observaciones consideradas como importantes, por ejemplo el nivel inicial y final de bunker, la temperatura ambiental dentro del cuarto antes de iniciar la prueba, la temperatura en los exteriores del cuarto, etc. El formato empleado para registrar los datos de la prueba fue el siguiente:

Las mediciones dentro de la zona de curado fueron realizadas por un costado del cortinaje dado lo inaccesible de los moldes. Se decidió tomar dos tipos de medición de temperatura en el grupo de moldes en reposo: la primera en la cara contigua al cortinaje y la segunda en la cara frontal en la que el viento choca de lleno, ésto con el fin de determinar cómo pierde calor el grupo de moldes.

Resultados obtenidos

El resultado más importante de ésta prueba es la obtención del gráfico, porque a partir de él se pueden justificar las conclusiones que se dan más adelante.

figura 2.1. Curva característica de temperatura que experimentaron los moldes de columnas a través del cuarto de cura durante los procesos de precura, cura y reposo.



El gráfico fue revisado por el Sr. Andrés Mata y por el Sr. Jorge Morales de

Planta Patarrá y Planta Belén respectivamente, y de acuerdo a su experiencia se concluyó que tiene una forma muy cercana a la normal en cuanto a los incrementos paulatinos de temperatura en los períodos de 15 minutos.

Los moldes en la etapa de reposo muestran una diferencia de temperatura de hasta 10°C entre la cara que recibe el viento de frente y la cara que permanece protegida dentro del cuarto. La gran diferencia de temperatura se debió a la acción enfriadora del viento resulta significativa, pues el proceso no debe ser sometido a éste tipo de choque térmico. Además la acción del viento empeora la pérdida de vapor por las cortinas, ya que entra por un extremo del cuarto empujando el vapor a través de los rificios y contribuyendo a la gran condensación dentro del cuarto.

El gráfico no mostró diferencias de temperatura significativas entre el molde más bajo y el molde más alto de la pila lo que significa que el calor del vapor se distribuyó uniformemente durante el curado.

En 2 hrs de curado, la temperatura de la loza del techo pasó de la temperatura ambiente (aprox. 26°C) a una temperatura de hasta 56°C. En el caso de las paredes, la temperatura se incrementó 4°C en el mismo lapso de tiempo. Por otra parte las cortinas alcanzan en su parte externa hasta 68°, durante 2 horas de curado. Esos incrementos en la temperatura exterior de las paredes que forman el cuarto demuestran que es válida la opción de aislar el cuarto con una pared con barrera de aire.

El consumo de bunker de ésta prueba en particular fue de 69.7 litros. La presión de la caldera se determinó entre 6 kg/cm² y 7 kg/cm².

La prueba dará paso a las mediciones siguientes, las cuales evaluarán el comportamiento del consumo de bunker ante la cura simultánea de gorros pero manteniendo los mismos formatos.

Cálculos

La siguiente es la fórmula empleada para determinar Caudal:

$$Q_T (\text{lb} / \text{hr}) = \frac{\text{Consumo}(\text{Gal} / \text{hr}) \times PC_{\text{bunker}} (\text{Btu} / \text{Gal})}{\text{Entalpía}_{\text{vapor}} (\text{Btu} / \text{lb})}$$

donde:

PC_{bunker} = Poder calorífico del bunker (150000 Btu/Gal = **41809.77 kJ/l**).

$\text{Entalpía}_{\text{vapor}}$ = A la presión de trabajo de la caldera (kg/cm^2).

Consumo = Es el consumo de bunker determinado por la tabla de diferencia de volumen usada por la empresa.

Consumo = 69.7 litros/2 hrs = **34.85 l/h**

= 9.2 gal/hr

Presión absoluta = $P_{\text{manométrica}} + P_{\text{atmosférica}}$

Atmosférica = **0.921 Bar** * ($1 \cdot 10^5 \text{ Pa} / 1 \text{ Bar}$) = 92.1 kPa = 13.35 psi

P_{trabajo} = $6.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ * ($1 \text{ Bar} / 1.02 \text{ kg}/\text{cm}^2$) = **6.37 Bar** = 637 kPa = 92.36 psi

PABSOLUTA = **7.29 Bar** = 729.1 kPa = 105.71 psi

$\text{Entalpía}_{\text{vapor}}$ = @0.729 MPa = **2764.95 kJ/kg** = 1187.2 Btu/lb

Q_T = 1162.4 lb/hr = **527 kg/h**

Los caudales totales calculados más adelante emplean la misma fórmula y se determinan usando la misma metodología.

Conclusiones de la prueba 1.

- 1) **El consumo de vapor** obtenido en ésta prueba fue :
 $Q_T = 527 \text{ kg/h}$ de vapor por molde de columnas nuevo en la primer medición realizada.

- 2) **Acción del aire.** Se observó que las corrientes de aire tienen los siguientes efectos sobre el proceso:
 - a. **Enfriamiento extra de las caras laterales de los moldes que están en reposo.** Existe un diferencial de temperatura de hasta 10°C entre un costado de los moldes y el otro.
 - b. **Fugas de vapor.** El aire está actuando como un pistón que expulsa al vapor por uno de los orificios del cortinaje

- 3) **Transferencia de calor.** La loza está actuando como un medio que transfiere calor hacia la atmósfera porque incrementa la temperatura de sus paredes en un 100 % en término de 2 horas de funcionamiento del cuarto.

- 4) **El pico de temperatura** alcanzado en la zona 2 del cuarto es muy cercano a los 80°C (se tomaron mediciones de hasta $74,6^\circ\text{C}$, o sea una desviación de 5.4°C).

- 5) **Gráfico de temperatura.** El gráfico resultante se ajusta bastante a la curva teórica esperada.

Recomendaciones.

- 1) Instalación de barbas en la entrada y salida del cuarto.

- 2) Incrementar la distancia de separación entre cada fila de moldes, lo que aumentaría la superficie de intercambio de calor (actualmente la distancia de separación es de 1 cm).

- 3) Sellado e impermeabilización del cuarto. Se deben eliminar las fugas de vapor ya sea cambiando la posición de los rodillos ó colocando compuertas en lugar de las cortinas. Esto debe evaluarse cuidadosamente. Conviene aplicar algún aditivo en las paredes que evite la acumulación de agua en las mismas, de lo contrario, se incrementarían las pérdidas de calor del cuarto. Se está determinando cual producto podría cumplir con las características de impermeabilización y aislamiento requeridas.

Realizada esta primer experiencia con el cuarto, se inició la segunda prueba: la prueba de resistencia. Se decidió seguir calculando el consumo del cuarto pero además se determinó cuanta resistencia (kg/cm^2) daban las columnas haciendo más critico el tiempo de precura, o sea, reduciéndolo a una hora.

2.5.2 PRUEBA DE RESISTENCIA

Se utilizó el procedimiento empleado por el Laboratorio de Pruebas de Productos de Concreto SA para fallar unas probetas cilíndricas llamadas “testigos”.

Los testigos son hechos con la misma mezcla empleada en la chorro de las columnas. Luego son introducidos al cuarto de cura siguiendo exactamente el mismo proceso que las columnas, o sea, tiempo de precura, cura y reposo, además son expuestos a la misma temperatura y humedad. Una vez curados, los cilindros reposan junto a los moldes y alcanzan la misma maduración. Por lo tanto son un parámetro de las piezas prefabricadas, ya que la resistencia es el principal indicador de la calidad de las columnas y baldosas. Por último el Laboratorio luego hace fallar los cilindros mediante una prueba de compresión. Se espera que alcancen 210 kg/cm^2 al cabo de 6 horas de reposo.

El personal de Laboratorio tiene la importante misión de llevar éste control, y para ello realiza pruebas aun más exactas que la prueba de testigos, la cual tiene algún rango de incertidumbre.

Se solicitó al personal la colocación de cilindros en grupos de moldes con precuras de 2 horas y con precuras de 1 hora. Luego se hicieron pruebas fallando los cilindros para conocer la resistencia alcanzada por las columnas después de haber sido curadas, o sea con reposo de 6 h, 16 h, 24 h, 48 h y 72 h.

El objetivo de la prueba de resistencia fue determinar el efecto de la aplicación del vapor cuando las columnas tienen un tiempo de precura menor que el normal. Un tiempo de precura menor que 2 horas es la situación crítica del proceso, cuando hay períodos de alta producción y el uso de los moldes es continuo.

El formato empleado para registrar los datos de la prueba fue el siguiente:

Figura 2.2 Formato empleado para la prueba de resistencia.

Fallado a las 5 hrs			
Cilindro hecho el:		<u>8/10/2002 09:30:00 a.m.</u>	
Cilindro fallado el:		<u>8/10/2002 04:30:00 p.m.</u>	
posición del cilindro	resistencia (kg/cm2)	resistencia promedio	calidad de la falla
arriba	152	144,5	mala
arriba	137		regular
abajo	91	92,5	excelente
abajo	94		excelente

<p>Observaciones :</p> <p>1 hr de precura 8 moldes 1 cuarto curado con + 6 gorros(4 + 2 adicionales) 1 hr de curado presión de caldera aprox 6,5 kg/cm2 temperatura termocupla aprox 76- 78 °C prueba empieza con caldera ya arrancada</p>

Variables de la prueba.

El cilindro falla de acuerdo a las irregularidades superficiales, es decir, es una prueba en la que existe cierto margen de error. Para compensar un poco esta situación se procedió a catalogar la calidad de la falla como:

Mala: Si se desprenden pequeñas porciones de la probeta.

Buena: Si al menos un 30% de la cara presenta agrietamiento.

Excelente: Si la falla tiende a tener forma cónica ó a desprender una amplia porción del cilindro. En ésta prueba se dará prioridad a los datos provenientes de aquellas fallas catalogadas como excelentes ó buenas.

Equipo utilizado.

Máquina AccuTek de Soil Test.

Prueba de consumo.

Como complemento a la prueba de resistencia, se decidió aprovechar la curada de columnas para recoger la mayor cantidad posible de datos de consumo de bunker, repitiendo la metodología de la primer prueba explicada anteriormente.

Una vez realizada esta segunda prueba, fue posible hacer lo siguiente

a. Documentar con más datos el consumo de vapor empleado durante el proceso de cura de las columnas nuevas.

b. Determinar la resistencia alcanzada por las columnas nuevas ante variables como tiempo de precura, tiempo de reposo, número de moldes curados dentro del cuarto, curado simultáneo de gorros y bancadas, etc.

Se empleó una hoja electrónica que trabaja con nivel de bunker, presión de trabajo y tiempo como variables; las constantes que utiliza son la entalpía y el poder calorífico del bunker. La hoja se muestra en el anexo de éste trabajo.

El consumo de bunker se obtuvo mediante la diferencia de volúmenes detectados en el tanque por medio del nivel, la tabla proporcionada por la empresa brinda el volumen consumido en litros. Asimismo la fórmula para obtener el caudal es la misma que se empleó en la primer prueba.

Simbología empleada.

Color rojo en el texto.

Se decidió que el uso del texto color rojo se emplearía en el caso de la existencia de cierto grado de reserva sobre la exactitud del dato obtenido.

Casillas en color gris.

Un dato ubicado en una celda con relleno gris significa que ése es el valor más cercano a la realidad. Se usa en ocasiones donde existen fluctuaciones, por ejemplo, durante la obtención de la presión de trabajo del sistema, el cual fluctúa entre 5 y 6.5 kg/cm².

Color de los gráficos.

En los gráficos de resistencia, la curva de color rojo representa al molde superior y la curva de color azul representa al molde ubicado en la parte inferior. Esta simbología se mantiene desde que se determinó el gráfico de temperatura del cuarto.

Resultado de la prueba de resistencia.

Al igual que en la primer prueba, el gráfico resume los resultados obtenidos con las pruebas de campo. Se muestran a continuación un gráfico con la resistencia obtenida de las columnas con 2 h de precura y el gráfico de la resistencia de las columnas con 1 h de precura.

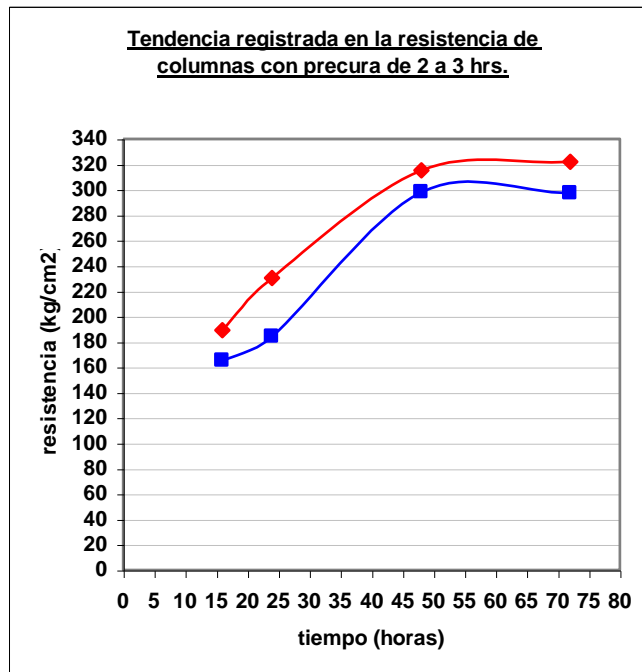


Figura 2.3 Resistencia de columnas con 2 h de precura.

Línea roja: correspondiente al molde superior.

Línea azul: correspondiente al molde inferior.

En la figura 2.5 se observa una resistencia normal después de 16 horas de reposo. Nótese que los moldes ubicados en la zona inferior del cuarto mostraron una resistencia menor que los moldes ubicados en las zonas más altas del cuarto de cura. Veinticuatro horas después de curados, el molde superior ya alcanza la resistencia meta.

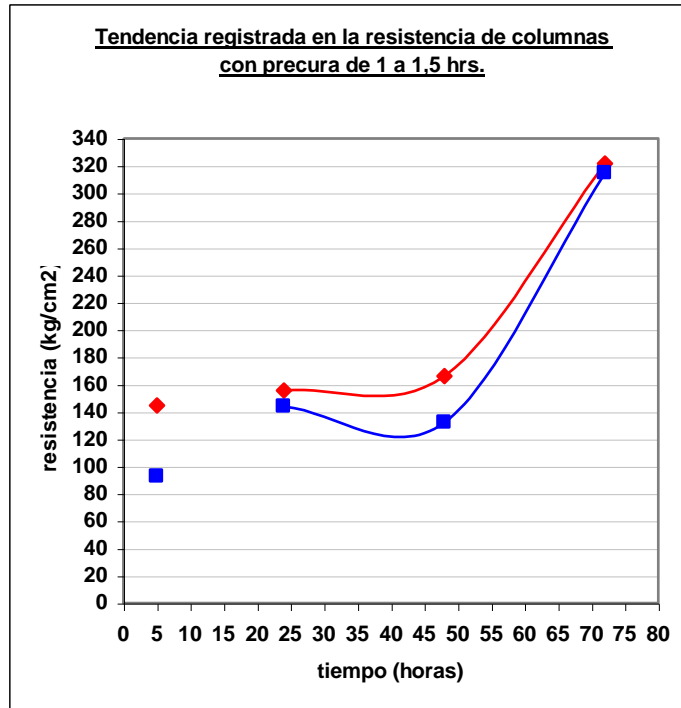


Figura 2.3 Resistencia de columnas con 2 h de precura.

Los resultados obtenidos con sólo 1 h de precura demuestran una baja sensible en la resistencia final durante las primeras 48 horas posteriores a la cura. Es posible observar una menor resistencia del molde inferior, al igual que lo detectado en la figura 2.5.

Se puede notar que a las 72 horas ya las columnas han alcanzado una resistencia por encima del valor meta.

Los anteriores resultados están sujetos a lo expuesto con anterioridad, es decir, a un porcentaje de error acarreado por la forma en que fallan los cilindros. Se sacaron varias probetas y muchas de ellas no cumplieron con lo que se podría catalogar como una “buena falla”, sin embargo se tomó nota de cuáles fallas podrían ser incluidas en los resultados.

Conclusiones de la prueba 2.

- 1) La temperatura dentro del cuarto de cura cae un **16%** cuando se curan simultáneamente 5 gorros.
- 2) La temperatura dentro del cuarto de cura cae un **22%** cuando se curan simultáneamente los gorros y una bancada durante la noche (tiempo frío).
- 3) El caudal de vapor del nuevo cuarto es en promedio de 2750 lb/h = **1247 kg/h** por cada curada. Esto implica que requiere una caldera de **80 BHP** (la actual caldera es de **100 BHP**).

El consumo de vapor durante 1 hora de cura simultánea del cuarto junto con 5 y hasta 7 gorros es de 3500 lb/h = **1587.6 kg/h**. La caldera de 80 BHP se calculó asumiendo que la red queda exactamente igual que como está ahora, es decir, sin aislar, con fugas y con problemas de condensados.

- 4) La resistencia de las columnas probadas alcanzó en todos los casos más de **300 kg/cm²** a las **72** horas.
- 5) Efectos de un menor tiempo de precura en la resistencia:
 - a. La resistencia cae **47%** en las primeras 48 horas, en los moldes superiores.
 - b. La resistencia cae **55%** en las primeras 48 horas, en los moldes inferiores.

2.6 Estudio de la red de vapor actual.

La caldera.

La caldera es el componente más importante de una red de vapor. Para obtener una idea clara de sus características más importantes, se examinó la placa y los manuales, de donde se extrajeron los siguientes datos:

Tabla 2.1. Datos de la caldera:

Marca	Kewanee
Potencia	100 BHP
Presión de trabajo	7 kg/cm ² , aprox 100 psi, 7 bar
Producción de vapor	3450 lb/h @ 212 ° F 1565 kg/h @ 100 °C
Superficie de calefacción	46.45 m ²
Temperatura promedio de chimenea	210 ° C , 410 ° F
Quemador	Bunker con piloto de gas.
Relación de fuego	27.9 gal/h @ 150000 BTU/gal 105.6 l/h @ 41810 kJ/l
Uso promedio	13 h al día.
Eficiencia de combustión	79 % @ 16/07/2002
Presostato de trabajo	8 kg/cm ²

Cambio de caldera.

La Planta Belén cuenta con un cuarto de calderas ya instalado, de manera que la forma y el volumen del espacio disponible limitan la capacidad de la caldera que se piense comprar, el combustible que se piense usar y por lo tanto el quemador a emplear.

Si el personal de la planta conoce el funcionamiento de un determinado equipo o si la instalación se ha proyectado con vistas a la utilización de un determinado equipo y si es antieconómico introducir cambios, entonces deben tenerse en cuenta las preferencias personales, pero no deben desestimarse los posibles beneficios en el rendimiento y la capacidad.

Por lo general una caldera se sustituye por las siguientes razones:

- a. alto costo combustible
- b. alto costo mantenimiento
- c. alto costo terceros
- d. aumenta demanda de vapor de la planta

En reuniones con la jefatura de la Planta se conoció que existe un marcado interés en considerar otras opciones aparte del bunker, por ejemplo las calderas eléctricas ó una caldera nueva que se ajuste a la nueva demanda.

Una caldera nueva tiene las siguientes ventajas:

- a. reduce el costo de la libra de vapor producida
- b. ofrece mayor seguridad de operación y mejor control.
- c. prácticamente elimina los paros.

No se recomienda pagar por una capacidad que no se va a utilizar en algún momento, por lo tanto conviene calcular la capacidad de la nueva caldera antes y después de las correcciones planteadas en éste trabajo.

Parámetros de funcionamiento de la caldera.

Las máximas presiones y temperaturas no significan ventaja económica, excepto cuando se trabaja con máximas capacidades. Las calderas de bunker se

caracterizan porque cuando funcionan de forma intermitente pueden dar un buen rendimiento en los momentos de plena carga.

Guiándose con la última prueba de concentración de O₂ (ver anexo), donde se aconseja reajustar el nivel de exceso de aire, se recomienda mantener un exceso de aire de 15% a 30% por encima del rango mínimo aceptado. En caso de mantener la caldera, se recomienda un régimen de fuego que se mantenga en un 50% a un 80% de la capacidad, durante el mayor tiempo posible. Esto será posible en el proceso de columnas solo si se vuelve fluido el proceso de producción.

Las mejoras en la eficiencia de una caldera son el resultado de las reducciones de las pérdidas de energía térmica en los gases de la chimenea (control del exceso de aire) y las reducciones de pérdidas debidas a la purga de fondo.

Un aumento en la eficiencia de combustión provoca directamente un aumento en la eficiencia caldera. Debido a los problemas de incrustación que presentan los tubos por el lado del agua, conviene controlar de forma cuidadosa el nivel de exceso de aire para evitar que la eficiencia baje aún mas. El problema de la alta temperatura de los gases de salida se resuelve mejorando la transferencia de calor en los tubos que hoy están incrustados y reduciendo la cantidad de aire en exceso.

El exceso de aire puede deberse a:

- a. quemador funcionando mal.
- b. Una mala operación.
- c. Fugas de aire.

De acuerdo a lo observado en el quemador de la caldera, la causa más probable es un mal funcionamiento en la atomización ya que en ocasiones anteriores se han tenido problemas con las boquillas. La mejor manera de asegurar una combustión completa es con el control de la temperatura del bunker en el quemador. Este combustible tiene ése inconveniente: es necesario un mantenimiento constante y controlado de las boquillas y los calentadores. Un indicio de problemas de atomización son los goteos de combustible por debajo del quemador.

Con respecto al segundo punto, el tratamiento del agua resulta difícil por la imposibilidad de recuperar condensado, sin embargo, en caso de adquirir una caldera nueva, lo más aconsejable es considerar la opción de la purga continua y el suavizador de zeolita.

La tabla 2.2 resume los principales efectos que acarrearán la modificación de los parámetros de funcionamiento actuales.

Fig 2.2 Tabla de recomendaciones parámetros de la caldera K-100:

Acción	Efecto
exceso de aire de 15% a 30% por encima del rango mínimo aceptado	Compensación general de la caldera.
régimen de fuego que se mantenga en un 50% a un 80% de la capacidad	Uso eficiente del combustible.
Incremento de 6 °C en la temperatura del agua de alimentación	Aumenta 1 % el rendimiento.
Incremento de 45 °C en el aire de combustión.	Aumenta 2 % el rendimiento
Incremento de 22 °C en la temperatura de gases de chimenea	Pierde 1 % el rendimiento.
Purga de fondo excesiva	Gasto equivalente hasta un 10 % del flujo total de vapor.
Reducción de presión de vapor	Ahorro de hasta 2% costo de combustible

Otros beneficios que resultan de hacer funcionar la caldera a una presión menor son la disminución de las pérdidas de calor por radiación de las tuberías, la disminución de las fugas de vapor por el cuarto de cura y las válvulas y la reducción del consumo de energía de las dos bombas que alimentan de agua la caldera. Hay que recordar que a presiones menores se extrae mayor cantidad de entalpía que a presiones mayores.

Para efectos de próximas pruebas de combustión, hay que tener presente que una lectura elevada de O₂ ó una baja lectura de CO₂ indicará que aún subsiste un alto exceso de aire.

Capacidad nominal de la caldera requerida.

Se toma un factor de evaporación (Fe), obtenido de las tablas del manual Selmecc (ver anexo), donde:

@ 6.33 bar y 100 °C, Fe = 1.184

2000 lb/h * 1.184 = 2368 lb/h = 1074,12 kg/h.

1074.12 lb/ h * 1 BHP/15.65 kg/h = 80 Bhp. Por lo tanto la capacidad nominal de la caldera que ocupa la red de vapor actual es de 80 caballos caldera.

Además se puede comprobar la capacidad de la caldera:

Necesidad calculada = $2.1 * 10^6$ BTU/ h = **2215500 kJ/h**

Caballos caldera = (2215500 kJ/h) / 35342.5 kJ/h = **70 BHP** pero dadas las limitantes para encontrar calderas de bunker de ese caballaje y tomando en cuenta la probable ampliación del proceso de curado, perfectamente se puede determinar en 80 BHP. La marca Kewanee no cotiza calderas de bunker de menos de 100 BHP, sin embargo la marca Hurst si la tiene, y como se ve en el anexo, la cotiza en casi 45000 dólares con todo y la instalación.

Calculo del ahorro de combustible. Comparación entre una caldera vieja y una caldera nueva.

$$\text{Eficiencia } n = Q_A / Q_S = \text{calor aprovechado} / \text{calor suministrado.}$$

Idealmente el calor aprovechado por caballo caldera es:

$$Q_A * \text{BHP} = 35342.5 \text{ kJ/h}$$

Por lo tanto para la caldera de 100 BHP (actual): $100 * 35342.5 = \mathbf{3534250 \text{ kJ/h}}$

El calor suministrado = poder calorífico (41809.8 kJ/l) × consumo de combustible

$$\text{Consumo de combustible} = \mathbf{3534250 \text{ kJ/h}} / (41809.8 \text{ kJ/l} * n)$$

$$\text{@ } n = 50\% = \mathbf{44.6 \text{ gal/h} = 169 \text{ litros/hora}}$$

$$\text{@ } n = 60\% = \mathbf{37.2 \text{ gal/h} = 168.8 \text{ litros/hora}}$$

$$\text{@ } n = 70\% = \mathbf{31.9 \text{ gal/h} = 120.7 \text{ litros/hora}}$$

$$\text{@ } n = 80\% = \mathbf{27.9 \text{ gal/h} = 105.6 \text{ litros/hora}}$$

Por lo tanto, con una caldera de bunker con una capacidad de 100 BHP nueva trabajando con una eficiencia de 80%, el consumo es de 105.6 litros por hora. Si usara una caldera nueva de 80 BHP el consumo sería:

$$\text{@ } n = 80\% = \mathbf{84 \text{ litros} / \text{hora}}$$

Con la caldera nueva de 100 BHP, se obtiene el ahorro de combustible en un año de operación:

$$105.6 \text{ litros/h} \times 10 \text{ h/dia} \times 300 \text{ dias/año} \times \$0.166/\text{litro} \\ = \mathbf{\$52589} \text{ en un año de operación.}$$

lo cual se puede comparar con la caldera vieja, la cual trabaja con un rendimiento medio del 50%:

$$= \mathbf{\$84162} \text{ en un año de operación.}$$

Lo que equivale a un ahorro de \$31573 en un año de combustible. Utilizando una caldera de bunker de 80 BHP, el ahorro de combustible sería **\$42330** en un año.

Efecto de aumentar la temperatura del agua de alimentación de la caldera:

Usando la misma tabla del Selmec, se determina el ahorro en el consumo de la caldera usando agua a 60 °C en lugar del agua a 21 °C con que se está alimentando la Kewanee actualmente.

Una caldera de bunker nueva está capacitada para dar 1252 kg/h
Factor de evaporación @ 21 °C = 1.184, por lo tanto la evaporación real será:

$$W_r = 1252 \text{ kg/h} / 1.184 = \mathbf{1057.4 \text{ kg/h}}$$

Factor de evaporación @ 60 °C = 1.112, $W_r = \mathbf{1126 \text{ kg/h}}$

Por lo que se deduce un caudal 6% mayor cuando la caldera es alimentada con agua a temperaturas elevadas.

El combustible.

Para comparar el poder calorífico de distintos combustibles, se presenta la siguiente tabla:

Tabla 2.3 Características de algunos combustibles para calderas.

COMBUSTIBLE	Valor calorífico bruto KJ/kg (BTU/lb)	Valor calorífico neto KJ/kg (BTU/lb)
Bunker	43450 (18640)	41437 (17784)
Gas natural	55570 (23850)	50076 (21492)
Propano	50244 (21564)	46260 (19854)

Una conclusión muy importante que se desprende de la tabla 2.1 es que el gas tiene un mayor contenido de hidrógeno por unidad de peso que el bunker lo que se traduce en mayores valores térmicos. Sin embargo cuando se queman volúmenes iguales el bunker genera más calor porque contiene más hidrocarburos por unidad de volumen que el gas, porque tiene una mayor gravedad específica.

El costo del bunker es de 61.23 colones por litro sin incluir el transporte de la empresa COOPEBUNKER. En temporadas de alta producción se ha cargado bunker hasta 3 ó 4 veces al mes, y cada carga es de 7570 litros, para un total máximo de 1 877 360 colones con el precio actual. En temporada baja, como ahora, se hacen 2 cargas al mes, lo que equivale a 938680 colones sin contar transporte. Por otra parte el valor del depósito de LPG en 23 galones es de 13000 colones y tiene una duración menor de 5 horas, dependiendo del consumo. El costo de producir 3244 kJ es: \$35 usando LPG y \$0.051 con bunker.

Un cambio de combustible no es por lo general un medio para la conservación de la energía ya que depende de otras pautas como por ejemplo la disponibilidad de los combustibles, el costo, los peligros de almacenaje que en el caso del gas son elevados, los problemas de mantenimiento y de repuestos, el conocimiento del personal sobre un sistema, etc.

La escogencia de una caldera depende principalmente del costo del combustible y de ahí depende la viabilidad de realizar el cambio. Por ejemplo, el gas LPG requiere cuidados especiales para su almacenaje y su precio es elevado con respecto al bunker, aunque menor en comparación con el costo de la energía eléctrica. Esto explica por qué el 80% de las industrias nacionales utiliza combustibles como bunker y diesel, en comparación con el 7% que usa fuentes de energía alternativa como la electricidad (datos tomados del centro de estudio sobre el uso de la energía en la industria nacional, 2001).

Factor de carga.

De acuerdo con lo expresado por el personal, la caldera ha trabajado en ciertos de periodos de alta producción con un factor de carga cercano al 100 %, y son los momentos donde el consumo de bunker es más eficiente en relación con el tonelaje curado. La caldera fue abierta y el operador manifestó que de acuerdo a la empresa encargada del tratamiento químico (MACASA) el grado de incrustación es regular,. Aconsejaron un reajuste del tratamiento y efectuar 5 purgas de fondo al día, lo que equivale a una considerable pérdida de eficiencia caldera.

Tratamiento del agua

Si el agua de la caldera forma incrustaciones y sedimentos, deben tomarse medidas para corregir esa condición. De ahí lo necesidad de un tratamiento efectivo del agua y el purgado de fondo. La planta se abastece con agua de un pozo, por lo que hace falta el tratamiento de suavizamiento con un lecho de zeolita. Se recomienda lo siguiente: si el agua no tratada que ingresa a la caldera es mayor que el 50% del total o si contiene demasiadas impurezas, entonces se debe establecer una purga continua.

Un inadecuado tratamiento del agua también puede provocar una salida excesiva de condensado, que es uno de los problemas detectado en el cuarto. Un estudio hecho por Asociación Británica de Investigación del Carbón reveló los siguientes resultados:

Tabla 2.4 Sólidos en suspensión.

Caldera operando con sólidos con un valor de 2000 ppm	Vapor sale con: 5% de humedad
Caldera operando con sólidos con un valor de 3000 ppm	Vapor sale con: 35% de humedad

Hay que recordar que las partículas húmedas prácticamente no transportan entalpía.

Tuberías.

Para la elaboración del plano de la instalación actual, se procedió a medir la totalidad de la red, así fue como se anotaron las características de todas las válvulas, trampas y tuberías. La lista completa de accesorios se muestra en el plano, sin embargo la lista total de componentes se muestra a continuación:

Tabla 2.4 Lista de accesorios de la planta.

RED DE VAPOR – LISTA DE ACCESORIOS		
# ACCESORIO	DESCRIPCION	TRAMO UBIC
1,2,3,4,5	válvula de globo marca Klinger	B ~ J
6	válvula de bola	H ~ L
7,8,9,10	juego de trampa de expansión líquida y válvula check	BANCADAS
11,12,13,14	trampa tipo balde invertido	
15	trampa tipo termodinámica	T ~ Z
16	válvula de aguja Mipel 2"	M ~ N
17	válvula de globo Klinger 2"	N ~ V
18,19	válvula de aguja Mipel 2" 300 SWP	TUBOS
20,21	válvula de aguja	TUBOS
22	válvula de globo Mipel 2", embridada	M ~ S
23	válvula de compuerta Crane 2"	N ~ V
24	junta de expansión tipo fuelle	N ~ V
25, 26	válvulas de solenoide ASCO Red Hat 5-125 psi	S ~ Z
<p>NOTAS:</p> <p>1. Tramos aislados: M-N, Ñ-N, Ñ-O, N-V, S-T, S-U, T-Z</p> <p>2. Tramos de tubería sin aislar: Todo lo restante. TUBERÍA AISLADA = 112.7 m TUBERÍA SIN AISLAR = 275.45m</p> <p>3. Tramo de 2.5" : A-B, B-M. TOTAL= 34.6 m</p> <p>4. Tramo de 2": Todas las tuberías ramales except bancadas Bancadas: Reducción progresiva de tuberías: diámetros de 1", 3/4", 1/2"</p> <p>5. Tramo enterrado : O-P total = 18.7 m</p> <p>6. Tramo aéreo: 64.4 m Tramo vertical = 31.2 m</p> <p>7. Tramo expuesto a la intemperie: 247 m</p> <p>8. Tramo entrincherado: M-S, S-U, S-T, T-Z total = 26.8 m</p> <p>TODA TUBERÍA EN HIERRO NEGRO sch 40</p>		

Nótese que hay diversidad de diámetros de tubería. Las dimensiones en unidades del Sistema Internacional son:

$$2'' = 50 \text{ mm} \quad 2.5'' = 62 \text{ mm} \quad \frac{3}{4}'' = 19 \text{ mm}$$

Caída de presión.

Se utilizó una tabla de dimensionamiento de tuberías de vapor del manual de la Spirax Sarco para comprobar la caída de la tubería de 50 mm de hierro negro, sch 40, con un flujo acorde al consumo del cuarto de 2000 a 3000 lb/h y a una presión de 100 psig que coincide en buena parte con las características de la figura (ver anexo).

El resultado fue una caída cercana a 1 psi. Según el gráfico, la tubería debería tener un diámetro de 75 mm (3 pulgadas).

Las tuberías están enterradas, sin aislante y casi toda está expuesta a la lluvia y a los golpes porque se colocó a nivel del suelo. El grado de deterioro es notable y los tramos aislados que llegan hasta el cuarto de cura se inundan porque el condensado del cuarto desemboca en la misma trinchera, la cual, para empeorar las cosas, está llena de basura.

La primer propuesta es lógicamente la de aislar las tuberías de vapor con el fin de reducir las pérdidas por radiación, lo que equivale a un importante ahorro de energía y una reducción de la carga del condensado que está afectando al cuarto de cura.

Pérdida de calor en las tuberías sin aislamiento.

El tramo de tubería principal que se encuentra sin aislamiento es de 31.2 m con un diámetro de 62 mm. Tomando de la tabla de pérdidas de calor del Selmech, una diferencia de temperatura de aproximadamente 150 °C se tiene una pérdida de calor de 854 kJ/h por cada 0.3 m lineales de tubería.

$$\text{Pérdida de calor} = \underline{\underline{88246.6 \text{ kJ/h}}}$$

Desperdicio de combustible:

En 0.3 m lineales de tubería con diámetro de 62 mm hay 0.07 m² de superficie, por lo tanto hay 7 m² de tubería principal sin aislante.

Asumiendo una presión de operación que se mantuviera a unos 5 bar y un aprovechamiento del 100% del poder calorífico del bunker, se puede calcular el desperdicio de combustible debido a las pérdidas de calor en la tubería descubierta:

$$200 \text{ litros}/0.093 \text{ m}^2 * 7 \text{ m}^2 = \underline{\underline{15000 \text{ litros de bunker en 1 año.}}}$$

$$\text{Costo del bunker desperdiciado} = 15000 \text{ litros} \times \$0.164/\text{litro} = \underline{\underline{\$2460 \text{ por año.}}}$$

Se pudo observar que la junta de expansión ubicada en la tubería aérea que va a baldosas viejo no está anclada en sus dos extremos. Las juntas de expansión siempre van acompañadas de abrazaderas rígidas en sus dos extremos para que las contracciones debidas a las altas temperaturas sean absorbidas por la junta flexible, de lo contrario la junta no funciona y las deformaciones se trasladan a la tubería, lo que llega a provocar problemas de acumulación de condensados. Esto debe corregirse en la nueva tubería.

Los tubos de distribución de vapor se instalan en frío y al calentarse se expanden. No tiene sentido darle un declive de 0.5% a la línea si al circular el vapor, la instalación queda distorsionada por la expansión.

Si se tiene una diferencia de temperatura de 156 °C entre la temperatura del vapor y la ambiental, según tabla del manual Selmec (anexo), @ 80 °C la tubería de 62 mm se expande = **34 mm por cada 30.5 m de tubo.**

Drenaje del condensado

Existe una gran cantidad de condensado dentro del cuarto durante el curado de las columnas, lo cual es normal si se toma en cuenta que se trata de una aplicación de vapor vivo. Sin embargo se observó que en el instante en que se abren las válvulas para dar paso al vapor, una gran cantidad de condensado proveniente de la tubería principal sale por los orificios de las dos tuberías de alimentación. Eso significa que la trampa termodinámica ubicada en el extremo de las dos ramas no es capaz de desalojar el condensado y efectivamente se comprobó más adelante que esa trampa no expulsa condensado durante la carga inicial.

Siempre existe condensado en la tubería principal viajando hacia el punto de drenaje más cercano, pero entonces se debe tomar toda ramificación de la parte superior de la tubería porque si no, la ramificación situada en la parte inferior actúa como un drenaje y entonces además del vapor saturado de humedad sale el condensado acumulado.

Las tuberías del sistema de distribución deben ser drenadas. El condensado que se acumula en las líneas de vapor puede ser la causa del golpe de ariete.

Cuando el vapor viaja a altas velocidades tiende a producir “olas” al pasar sobre el condensado. Si se ha acumulado demasiado condensado entonces el vapor a alta velocidad lo estará empujando, lo cual produce un tapón de agua que crece y crece al empujar el líquido delante de él. Cualquier componente que trate de cambiar la dirección del flujo como por ejemplo conexiones, válvulas reguladoras, codos, bridas, etc. puede ser destruido por ése tapón. Asimismo, aparte del daño producido por este ‘golpeteo hidráulico’, el agua a alta velocidad puede erosionar las conexiones y tuberías.

Se inspeccionaron las trampas de balde invertido ubicadas en diversos puntos de la red y se verificó que están funcionando correctamente, con excepción de una de ellas la cual está inservible por la cantidad de herrumbre que tiene.

La selección de trampas de balde invertido es correcta, ya que éste tipo de trampa está dentro del grupo de trampas recomendadas para descargar condensados en tramos de tubería horizontales. Las trampas de expansión líquida ubicadas en la parte inferior de las bancadas están funcionando, ya que el operador aun puede ajustarlos, no obstante hay que recalcar que esta zona de la planta no seguirá funcionando. En el anexo se adjunta información acerca de las ventajas de las trampas de balde invertido en las líneas de distribución.

La suciedad que llega a las trampas es una amenaza constante que en cualquier momento puede producir pérdidas de vapor e incluso inutilizar las trampas, por lo tanto es aconsejable colocar filtros antes de las trampas y limpiarlos periódicamente. En el momento de seleccionar las trampas, se tiene la opción de que las trampas de balde invertido pueden adquirirse con un filtro incorporado, en cambio las termodinámicas que se cotizaron necesitan instalarse con un filtro aparte, lo cual es importante cuando se comparen costos.

Para que una trampa trabaje es necesario que exista un diferencial de presión, es decir que la presión de entrada de la trampa sea superior a la de salida, lo cual se cumple porque en ésta aplicación la salida de la trampa está abierta a la atmósfera. El hecho de que todas las trampas de balde invertido estén liberando condensado es un indicio de que la presión de placa de la trampa no es menor que la presión del elemento que está siendo trampeado. La única trampa que no está liberando condensado según las observaciones realizadas, es la que debería drenar el cuarto de cura. Para remediar ésta situación se propuso el siguiente punto.

Elevación de la tubería principal.

Se recomienda eliminar la tubería principal que actualmente se encuentra a ras de piso, desprotegida y sin aislar. La idea es pasarla en forma aérea siguiendo la línea del costado de la nave.

Ésta mejora tendría las siguientes ventajas:

- a. Se le daría el desnivel adecuado a la tubería de modo que el condensado fluya hasta una pierna colectora que se colocaría antes de los ramales (desnivel = 0.5%).
- b. Se protegería la tubería de la acción de la lluvia, conservándola útil por mas tiempo.
- c. Se podría aislar y el material no se rompería por el contacto con la gente y el agua.
- d. Hay opción de anclar la tubería con soportes rígidos que además permitirían el uso de una junta de flexible que contrarreste la expansión térmica.

Piernas colectoras.

La porción de vapor que circula por las tuberías y que se condensa debido a las pérdidas por radiación es sumamente representativa. Por ejemplo una línea de 100 mm de diámetro y de 100 m de longitud que se encuentre correctamente aislada, que conduzca vapor a 7 Bar y con una temperatura ambiente de 10 °C, condensará aproximadamente 50 kg/h de vapor

Por eso es importante que se diseñe la tubería con un 0.5% de declive y que el condensado fluya hacia puntos donde sea evacuado cada 30 m. El error más común es colocar un tubo de diámetro más pequeño drenando la tubería principal ya que sólo podría sacar por medio de la trampa una pequeña parte de líquido; en cambio, colocando una pierna colectora en el punto de evacuación se asegura una correcta eliminación del condensado ya que se forma un “bolsillo” donde se deposita para luego ser expulsado usando una trampa que puede ser de tipo termodinámico. Se escoge de éste tipo porque soporta muy bien el golpe de ariete característico de casi todas las instalaciones. Resumiendo, las funciones que debe cumplir la pierna colectora son:

- a. Dejar que el condensado sea drenado, por gravedad, del vapor que fluye a alta velocidad.

- b. Colectar el condensado hasta que la presión diferencial sea suficiente para descargarlo a través de una trampa de vapor.

Es importante instalar una pierna colectora en la tubería principal de la planta, en un sitio ubicado antes de las 2 ramificaciones que van al cuarto. Con solo eso, el problema de anegamiento disminuiría notablemente. Como ya se mencionó se aconseja poner 1 bolsillo colector cada 30 m .

La T que se utilice, debe tener al menos el mismo diámetro que la tubería (50 mm) y se pondría una trampa termodinámica en el fondo de la pierna que libere el condensado. La tubería aérea, con su pierna colectora tendría ésta apariencia:

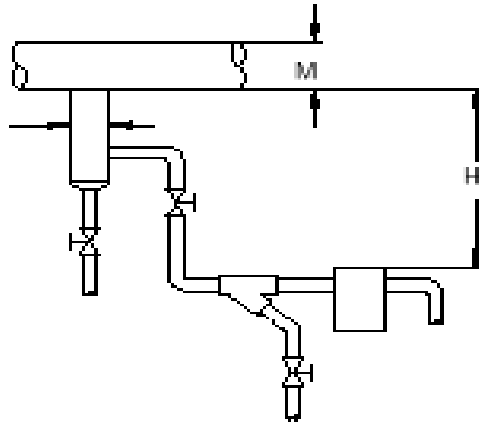


Fig 2.3. Drenaje de la pierna colectora.

El costo de elevar la tubería principal es:

Tabla 2.5 Materiales y costo del cambio de tubería principal.

MATERIAL	CANT	COSTO UNITARIO (colones)	COSTO TOTAL (colones/dólares)
Tubo de 62 mm, sch 40 en hierro negro (6 m por tubo)	6	11553	69318
Válvula de globo 50 mm embridada	1	59000	59000
Cañuela para tubo de 62 mm, fibra de vidrio recubierta e = 25.4 mm	35	2063	72205
Bolsillo de "T" 62 mm con trampa de balde invertido	1	27000	27000
TOTAL			227523
TOTAL iv incluido =			257101 (\$690)

No se incluye el costo de la soldadura 6018 que debe aplicarse en el fondo de la junta biselada de los tubos. Una soldadura externa 7018 se aplica sobre la primera costura.

La planta tiene una gran cantidad de metros de cañuela que no se está utilizando en la parte aérea de la red, por lo tanto el costo de los materiales podrían ser de **\$470**.

La figura 2.x representa la posición de la tubería con respecto a las columnas de la nave industrial, y también indica la posición que debe ocupar el bolsillo de drenaje.

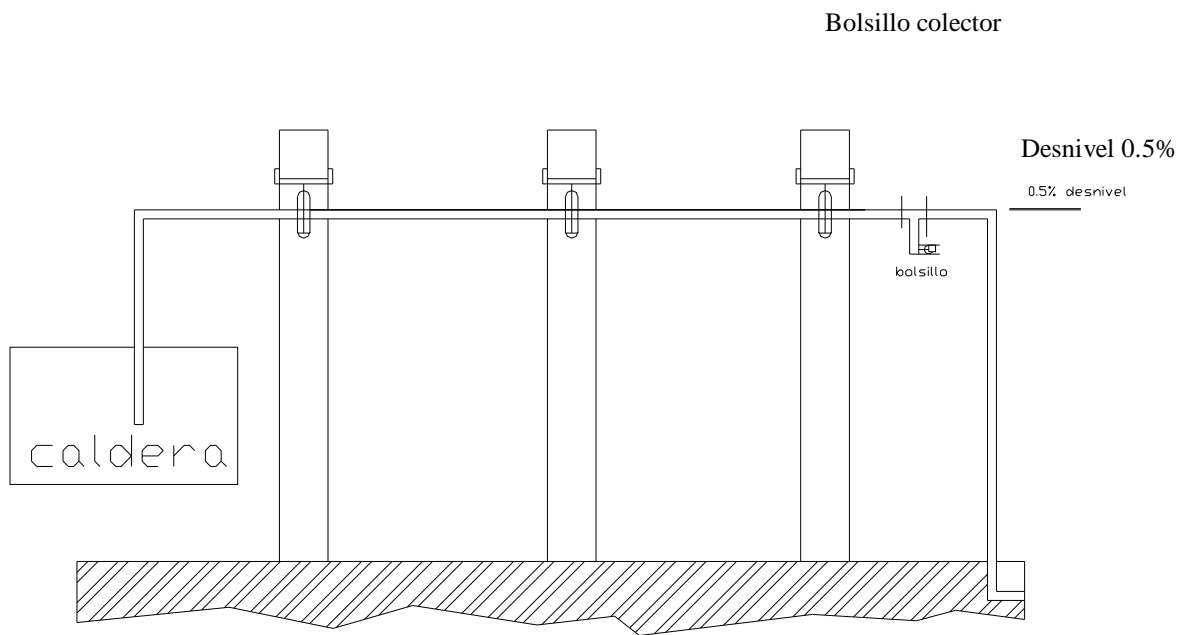


Figura 2.4 Elevación de la tubería principal sobre columnas

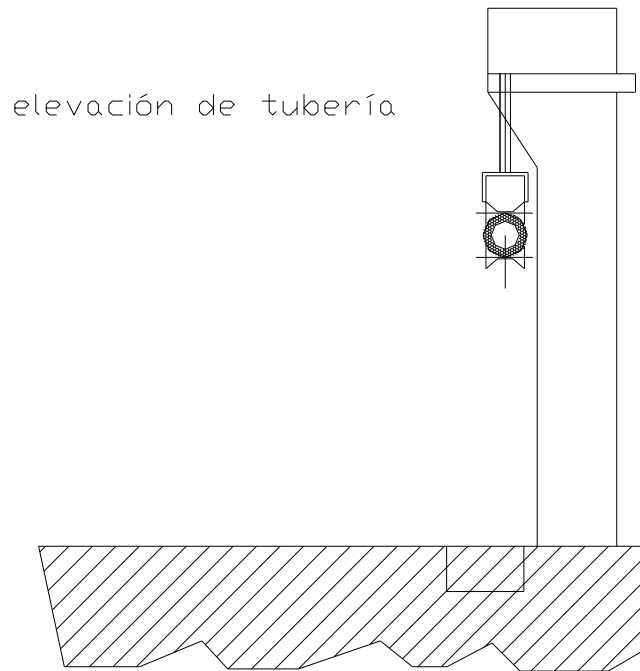


Figura 2.5 Elevación de la tubería principal sobre columnas

Calculo de la carga de condensado del cuarto de cura.

Se utiliza una aplicación especializada correspondiente a equipos para el calentamiento de sólidos, que es una muy buena aproximación al cuarto de curado.

$$lb/h \approx \frac{W \times C_p \times T}{L \times t}$$

donde:

W = peso del material lb = 13016 lb de concreto por curada.

C_p = calor específico del material = 0.21 BTU/ lb* °F concreto.

T = cambio de temperatura = 129 °F

L = calor latente del vapor = 888 BTU/lb @100 psia

t = tiempo = 1 hora de curado

Resultando una carga de condensado de 397 lb/h, que se redondea a unos 450 lb/h considerando el acero de los moldes. Si se quisiera trampear el cuarto, el tamaño de la trampa sería 450 lb/h * factor de seguridad 2 = 900 lb/h pero ya se mencionó la imposibilidad de recuperar ésta entalpía. Es por consiguiente, una pérdida de energía mas que se mantendrá aun después de que se mejoren las tuberías y que la caldera se optimice. Para las trampas al final de las tuberías se recomienda aplicar un factor de seguridad de 3, según el manual de trampas Armstrong.

Válvulas.

La situación actual de las válvulas es grave: hay fugas de vapor en la mayoría de las válvulas. Esto causa que se detecten grandes fugas en zonas donde ya no se emplea la red de vapor como en el cuarto de cura de tubos.

Predominan las válvulas Klinger de globo, las cuales pueden ser reempacadas y a las cuales se les puede dar mantenimiento. Los sábados son los días ideales para darles servicio, ya que desde el viernes en la tarde la caldera esta disponible para labores de mantenimiento. Se le debe dar preferencia a la selección de válvulas embridadas dada la facilidad con que se puede intercambiar una por otra durante los trabajos de mantenimiento, sin embargo en caso de optar por el uso de bridas se debe asegurar el alineamiento de los tubos por medio de soportes.

Para el tramo de la red que va a permanecer funcionando conviene uniformar el tipo de válvula que se va a emplear, con el fin de simplificar el servicio de la red. La válvula más usada en la regulación de caudal es la válvula de globo debido a su construcción (asientos paralelos a la dirección de la corriente) y a la caída de presión del vapor cuando pasa a través de la misma (caída alta pero repetible). Una buena ventaja es la facilidad con que se cambia el disco que se encuentre desgastado.

El nuevo cuarto de cura.

Descripción del cuarto: es un recinto cerrado, cuyas paredes son de block de 13 mm de espesor. El techo, ubicado a una altura de 1.75 m está conformado por una serie consecutiva de losas tipo Flex que presentan orificios circulares pasantes a todo lo ancho de la losa. Una vía de rieles atraviesa a lo largo del cuarto para trasladar los carros cargados con las filas de moldes de columnas . Unos pistones accionados por aire levantan dos cortinas ubicadas a la entrada y a la salida del cuarto para dar paso a los carros. Los espacios entre la losa y los rodillos que movilizan las cortinas de lona son los sitios donde es más visible el escape de vapor hacia la atmósfera.

Hay que hacer la salvedad de que ése vapor al encontrarse a una presión cercana a la atmosférica representa la cantidad más importante de energía perdida, no por caudal expulsado sino por la entalpía que contiene el vapor a bajas presiones. Como se verá más adelante el caudal perdido en las cortinas es pequeño e incluso despreciable comparado con el caudal que se pierde por las fugas en los vástagos de las válvulas y en los orificios de las tuberías, sin embargo no ocurre lo mismo con el calor aprovechable.

El cuarto tiene entradas de vapor que son controladas por medio de válvulas de solenoide. El punto de control es la temperatura graduada a un cierto valor por medio de una termocupla. Por recomendación de la empresa, las cifras aquí mencionadas permanece en reserva.

Se sabe que el consumo de calor es una característica de cada edificación. Para dimensionar caldera, tubería, chimenea y tanque de combustible se parte del consumo de calor y éste a su vez depende de las pérdidas de calor de la red y de las paredes del cuarto. Se libera una mayor cantidad de calor aprovechable cuando el agua se condensa que cuando escapa como vapor porque éste contiene una cantidad de calor mucho mayor que el calor de vaporización, el cual es perdido en las fugas. Por lo tanto lo ideal sería que todo el condensado que se forma sea el producido por la entrega de la entalpía por parte del vapor a las columnas.

Según lo expresado por el Asesor Industrial, en el interior de los bloques de la pared se llegará a dar el fenómeno de inundación debido a una paulatina absorción de humedad por parte del block. Si el espacio de aire se llega a saturar de agua, el aislamiento pierde eficiencia, incrementando las pérdidas de calor.

Debido a todo lo anteriormente expuesto se decide recomendar en conjunto algunos puntos básicos:

- a. desplazar los rodillos desde la posición actual hasta la posición indicada en el boceto que aparece en el anexo. Para ello se utiliza la idea del Ing. Raúl Badilla y se decide hacer una lista de los materiales necesarios para el sellado definitivo del cuarto.
- b. Impermeabilizar las paredes del cuarto con un material llamado Cenprosil.
- c. Aislar las paredes del cuarto con una doble pared: estereofon y fibrolit, dejando en medio una pared aislante de aire.
- d. Poner barbas a la salida y entrada del cuarto de cura, considerar un segundo cortinaje que impida el escape del vapor por los orificios inferiores de la lona.
- e. Sellar las juntas de las paredes del cuarto sustituyendo las esponjas que usa actualmente por un sello de hule microporoso, usando si es necesario tornillos pasados y platinas (ver dibujo)
- f. Cubrir con estereofon las aberturas de las losas, al menos en las zonas donde hay mayor riesgo de que el aire que atraviesa la losa transfiera el calor por convección.

Costos estimados de sellado del cuarto.

La siguiente tabla es un resumen del costo de los materiales que serán necesarios para llevar a cabo las modificaciones del cuarto de cura. Los precios corresponden a las consultas realizadas en distintas casas comerciales. Ver la figura correspondiente al cuarto de cura en el anexo de éste trabajo.

Tabla 2.6 Lista de materiales y costo para el sellado del cuarto.

MATERIAL	CANT	COSTO UNITARIO (colones)	COSTO TOTAL (colones/dólares)
platina 3/8" × 4" (9.52 × 102) mm	2	6624	13248
platina 3/8" × 2" (9.52 × 50) mm	1	6500	6500
tornillos 1/2" × 10" (12.7 × 254) mm	6	470	2820
tornillos 1/2" × 8" (12.7 × 203) mm	10	452	4520
estereofón 0.5m × 1.0m (espesor 25.4 mm)	40	381	15240
hule microporoso 0.30m × 3.20m (espesor 12.7 mm) *	1		
laminas de fibrolit 1.22 × 2.44 m 6mm de espesor	7	4500	31500
Cenprosil de 50 lb	2	2850	5700
láminas de acrílico	2	20770	41540
TOTAL			121068
TOTAL iv incluido =			136806 (\$370)

* No se encontró hule microporoso con el espesor indicado ni en un tamaño justo para no incurrir en desperdicios.

Al total de **\$370** se le puede sumar un 25% como costo de mano de obra, lo que arroja la suma de **\$465**.

Fugas de vapor en el cuarto.

Se utilizó la fórmula de Napier para averiguar el vapor que se pierde por los orificios de las cortinas, tanto en la parte superior como en los agujeros por donde sobresalen los topes de los carros. Se utilizó la sección de tablas del manual Armstrong para hacer el cálculo.

Tabla 2.6 Pérdida de vapor en orificios:

TAMAÑO nominal *	mm	Presión del Vapor, bar (manométrica)							
		1	2	4	7	10	16	25	40
#60	1.02	0.9	1.3	2.1	3.4	4.7	7.2	11	17
3/64	1.19	1.2	1.8	2.9	4.7	6.4	10	15	24
1/16	1.59	2.1	3.1	5.2	8.3	11	18	27	43
5/64	1.98	3.3	4.9	8.1	13	18	28	42	66
3/32	2.38	4.7	7.0	12	19	26	40	61	96
"#38"	2.46	5.0	7.5	13	20	28	43	65	103
7/64	2.78	6.4	10	16	25	35	54	83	130
1/8	3.18	8.4	13	21	33	46	71	108	170
9/64	3.57	11	16	26	42	58	89	137	215
5/32	3.97	13	20	32	52	71	110	169	266
3/16	4.76	19	28	47	75	103	159	243	383
7/32	5.56	26	38	64	102	140	216	331	522
1/4	6.35	33	50	83	133	183	282	432	681
9/32	7.14	42	63	105	168	231	357	546	861
5/16	7.94	52	78	130	208	286	441	675	1,064
11/32	8.73	63	95	157	252	346	534	817	1,288
3/8	9.53	75	113	187	299	411	636	972	1,532
7/16	11.11	102	153	255	407	560	865	1,323	2,085
1/2	12.70	134	200	333	532	731	1,130	1,727	2,723
9/16	14.29	169	253	421	673	926	1,430	2,186	3,447
5/8	15.88	209	313	520	831	1,143	1,765	2,699	4,255
11/16	17.46	253	378	629	1,006	1,383	2,136	3,266	5,149
3/4	19.05	301	450	749	1,197	1,646	2,542	3,887	6,128
7/8	22.23	410	613	1,020	1,630	2,240	3,460	5,290	8,341
1 1/16	26.99	604	904	1,503	2,403	3,303	5,102	7,800	12,298
1 1/4	31.75	836	1,251	2,081	3,326	4,571	7,061	10,796	17,022
1 5/8	41.28	1,412	2,114	3,517	5,621	7,725	11,933	18,246	28,767

* Tamaños de Orificio disponibles en fracciones de plugada o número de tamaño de broca.

Los valores en la tabla son flujos de vapor saturado en kilogramos por hora.

Fórmula de Napier: $(\text{Área del orificio, in}^2)(\text{Presión, psia})/70 \cdot (3,6000 \text{ seg/hora})/(2,205 \text{ lb/kg})$

Se determina el área por donde hay fugas:

$A_1 = 2 * (440 \text{ cm} * 5 \text{ cm}) = 4400 \text{ cm}^2 = 0.44 \text{ m}^2$ área de los orificios superiores de la junta entre las cortinas y las losas.

$A_2 = 4 * (0.021 \text{ m}^2) = 0.082 \text{ m}^2$ otros orificios exclusivos de las lonas, huecos practicados en ellas.

A total = 0.522 m^2 Presión atmosférica = 0.92 bar @ Alajuela

Pérdida de vapor por orificios en cortinas = **0.25 kg/hr.**

Entalpía vaporización dentro del cuarto @ 0.898 Bar= 2319 kJ/kg

Entalpía vaporización a presión @ 7 Bar = 2066 kJ/kg

Conclusión: pierde 253 kJ/kg de más con la fuga de las cortinas a pesar de que su caudal es despreciable.

Eficiencia de la energía entre el tonelaje curado.

El consumo de bunker por día se entrega a la dirección por medio de un reporte donde además se indica la cantidad de horas de operación de la caldera y la cantidad de producto que fue curado. Sin embargo no se hace la distinción del número de horas efectivas en las cuales la caldera entrega vapor simultáneamente a un grupo de columnas y baldosas. De ese modo, no se está considerando que en una determinada hora del día, por ejemplo de 6:00 pm a 7:00 pm se estén curando 2 bancadas y 5 gorros, cuando el reporte sale, no especifica que dentro de las 13 horas de funcionamiento de la caldera tal vez hubo hasta 3 horas en las que la caldera estuvo apagada.

Se puede calcular cuantos kJ son empleados para curar 1000 kg de material fabricado. El cálculo se extiende tanto al proceso viejo como al proceso nuevo. Se conoció por parte del operador de la caldera el máximo de gorros (grupo de moldes de baldosas viejo) y bancadas (grupo de moldes de columnas viejo) que se pueden curar simultáneamente. Además se conoce el caudal del cuarto de cura obtenido experimentalmente durante las pruebas descritas anteriormente.

Anteriormente se determinó que con una baja eficiencia de la caldera el consumo de combustible es de 166 litros por hora, éste valor disminuye conforme la eficiencia aumenta.

Se trabajó con los datos obtenidos del mes de Junio relativos al consumo de bunker y a los kg de producto curado, se sacó un promedio diario con los valores más regulares, o sea, de Lunes a Jueves:

Litros de bunker consumido = 730 litros.

Bancadas + Baldosas = 230 toneladas = 230000 kg

El consumo de bunker varió entre 180 y 190 gal/h por día.

La razón (kJ / kg) = $730 \text{ l} \times 41809.7 \text{ kJ/l} / 230000 \text{ kg}$
= 132 kJ/kg.

Manteniendo la red de vapor intacta, incluyendo caldera, tuberías y cuarto de cura, el proceso se vuelve menos eficiente porque el tonelaje curado por día será solo de 41300 kg. Aunque se consuma menos energía, la relación da un resultado de **496 kJ/kg.**

Sin embargo la caldera no cura las mismas cantidades de producto en las 10 horas que permanece arrancada, se podría dar el caso que en 1 hora cura mayor ó menor cantidad de producto que en la siguiente hora. Es decir, los kJ disponibles pudieron curar 18000 kg de columnas viejo junto con 19750 kg de baldosas viejo, mientras que en la siguiente hora la cantidad disminuye.

Utilizando los datos obtenidos experimentalmente por medio de la tabla de caudales (anexo), se determinó la curva característica de la cantidad de producto curado ante el consumo de bunker:

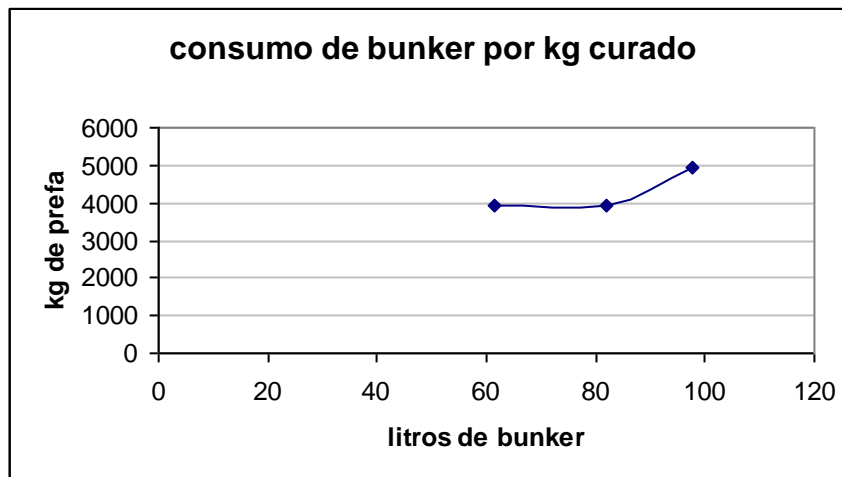


Figura 2.6 Consumos extraídos de la Prueba de Resistencia.

Los valores obtenidos muestran una línea constante hasta el punto donde se consume entre 80 y 90 litros de bunker, valores que corresponden aproximadamente a 2710000 kJ, cantidad obtenida con el poder calorífico del bunker y considerando un 79% en la eficiencia de combustión de la caldera. El producto curado hasta éste punto no pasó de 4000 kg.

Si se proyectan aproximadamente 5900 kg de material curado por hora, correspondiente al grupo de columnas nuevo, y guiándose por los datos

obtenidos, se concluye que la empresa en un futuro deberá procesar **5900 kg** de columnas nuevo empleando **80 litros** de bunker.

= **0.013 litros / kg en 1 hora**

2.7 Conclusiones generales.

1. Determinando los parámetros de funcionamiento actuales del nuevo cuarto de columnas.

Si se cura un grupo de moldes durante 1 hora, con una presión de trabajo de **5.5 Bar**, la caldera entrega al cuarto **1244 kg/h = 2743 lb/h**, consume **75.7 litros = (20 galones) de bunker en 1 hora**, el cuarto alcanza **80 °C** en **12 minutos** y la resistencia de la columna a las **72 h** es de **300 kg/cm²** si utiliza una precura de **1 hora** y prueba la resistencia en el molde más bajo de una fila de 5 moldes.

2. Consumo de bunker por cada 1000 kg de material curado.

Se calculó por medio de los datos obtenidos en las pruebas, la siguiente conclusión: por cada **1000 kg (1 tonelada)** de columnas nuevo debe consumirse **13.5 litros de bunker**, en 1 hora.

3. Eficiencia del proceso.

De mantenerse las condiciones de funcionamiento actuales se obtiene la siguiente eficiencia:

Eficiencia @ caldera 100 BHP = 132 kJ/kg (Junio 2002)

Eficiencia @ caldera 100 BHP = 496 kJ/kg (proceso nuevo)

Lo que indica una menor eficiencia provocada por la cantidad de material curado en relación con la energía empleada.

4. Capacidad requerida de la caldera.

El cuarto de cura de columnas nuevo requiere una caldera de 80 BHP si se mantienen en las mismas condiciones la tubería y el cuarto.

El precio de una caldera de bunker con una capacidad de 80 BHP marca HURST es el siguiente:

Inversión: \$44520 + iv (incluyendo montaje y suavizadores de agua)

Venta de caldera Kewanee (máximo): \$10000. Este precio es producto de una valoración hecha por un representante de la casa Burnham durante una visita programada. Ellos son los distribuidores de la marca Kewanee, y cotizaron una caldera eléctrica BRYAN de 60 BHP.

Diferencia (máximo): -\$34520

Ahorro máximo de combustible en un año = \$42330

El precio de la caldera eléctrica BRYAN de 60 BHP es:

Inversión: \$24200 + iv (no incluye montaje)

Venta de caldera Kewanee (máximo): \$10000.

Diferencia (máximo): -\$14200

Ventajas de la caldera eléctrica:

Espacio: según el reglamento de calderas en el Artículo 6º - inciso d: “la exigencia del cuarto de calderas no exige para la instalación de calderas expresamente diseñadas para funcionar a la intemperie, o para aquellas usadas en procesos industriales en que la caldera es parte integral del proceso” . Por lo tanto éste tipo de caldera no requiere recintos cerrados sino que su única limitante de espacio viene determinada según el modelo de la caldera, en cuanto a los espacios libres que se deben dejar principalmente en el panel de potencia y a los lados del aparato.

Eficiencia n: es un tipo de caldera con una eficiencia cercana al 100% si se tiene agua de alimentación a temperatura elevada, pero n = 84% con agua @20°C

Limpieza y acomodo: se eliminan las emanaciones producidas por otros combustibles y se coloca la caldera en el sitio propicio para el proceso, ahorrando tubería, aislante y el mantenimiento de toda la red. Se determinó el costo de bunker y de mantenimiento de la caldera actual en la tabla 2.x :

Tabla 2.7 Costos de mantenimiento de la caldera.

fecha	Bunker	1	2	3	4	5
Dic-01	1073,72	246,14				
Ene-02	1957,25	890,36	10,09		101,55	
Feb-02	1671	1784,91			317,86	282,09
Mar-02	1736,58	480,28			1397,33	127,13
Abr-02	2063,6	753,13				108,71
May-02	2284,75	301,07		6,77		101,53
Jun-02	1091,78	910,11	4,96			439,15
Jul-02	1532,13	438,86			1035,49	
\$total =	13410.8	5805	15,05	6,77	2852,23	1058,61

1 = Material mantenimiento mecánico

2 = Material mantenimiento eléctrico

3 = Material mantenimiento diverso

4 = Servicio mantenimiento terceros mecánico

5 = Otros servicios terceros

Por la construcción y funcionamiento de la caldera eléctrica, los costos de mantenimiento mecánico bajarían considerablemente, así como el costo más grande que es el del bunker (aprox. \$1700 por mes) sería eliminado. En total, se ahorra \$2900 por mes en costos de mantenimiento y bunker.

Desventajas de la caldera eléctrica:

Se calculó un costo de energía diario de \$480 con una jornada de 7 horas de funcionamiento a plena carga, comparado con un costo de \$96 diarios usando bunker. Se calculó un amperaje de 720 A para alimentar la caldera y por ser una carga excesivamente grande necesita transformadores, lo que implica una fuerte inversión inicial.

5. Tubería principal.

La tubería principal debe ser desplazada desde su posición actual en el suelo hasta una altura de 4 m. siguiendo la línea de las columnas de la nave. A este tramo se le deben hacer los siguientes trabajos:

Se propuso el aislamiento de 34 m de tubería con cañuela de fibra de vidrio, con un espesor de 25.4 mm y gorro de aluminio.

Se recomendó el uso de soportes de rodillo colocados según la disposición de las columnas.

Se debe montar el nuevo tramo aparte del que se está usando actualmente, primero porque la tubería actual está en malas condiciones y segundo porque el trabajo debe ejecutarse siguiendo la disposición de una nueva caldera.

Aprovechando la nueva red, se debe dejar un desnivel en la tubería de 0.5% de modo que el condensado fluya hacia un punto de drenaje.

6. Sellado del cuarto.

En coordinación con el personal de la empresa se propuso la siguiente lista de mejoras del cuarto de cura. Se detallaron la lista de materiales, costo y un dibujo que ayude a visualizar la mejora.

Orificios superiores: Desplazar los rodillos 30 cm en “x” (dibujo) y 15 cm en “y”, montando una superficie deslizante que proteja a la cortina del roce con la losa. Requiere el desmontaje de la estructura metálica actual, el montaje de calzas hechas con un perfil resistente y el armado final. La cortina tiene suficiente longitud para hacer las modificaciones.

Orificios inferiores, entrada y salida del cuarto: Para eliminar las fugas de vapor por los orificios de los topes de carro y caño de condensados se propone instalar barbas en la entrada y salidas del cuarto, eso mantendrá la mayor cantidad de vapor dentro del cuarto. Las barbas además protegen a las columnas en el proceso de reposo, manteniendo una caída de temperatura más suave.

juntas de pared: Sellado con hule microporoso y platina sustituyendo el uso de esponja, la cual se desgarrar con facilidad.

orificios de losa: Deben ser tapados con estereofón en las zonas de mayor riesgo de convección.

paredes y techo: Se discutió en conjunto con el personal de la Planta la conveniencia de impermeabilizar las paredes del cuarto con Cenprosil. Además se acogió la idea de colocar una barrera de aire entre las paredes y el exterior colocando un aislante compuesto por una lámina de estereofon interpuesto una lámina de fibrolit entre la pared)

CAPITULO III. Plan de Mantenimiento Preventivo.

3.1 Introducción

El plan de mantenimiento preventivo para la Planta Belén planteado en éste segundo proyecto cubre aspectos muy relacionados con las actividades de los mecánicos, electricistas y operarios de la planta. El preventivo tiene una metodología que se sigue paso a paso hasta completar 19 etapas, lo que a veces impide visualizarlo como una herramienta que permite alcanzar logros a corto plazo, utilizando los recursos que se tengan disponibles.

El preventivo es a su vez un escalón para las empresas que pretenden llegar al mantenimiento autónomo y al mantenimiento de clase mundial. Una de las misiones primordiales del egresado de Mantenimiento Industrial es difundir la idea y los beneficios que tiene el preventivo sobre el correctivo y cambiar de una vez la imagen errada que tienen las empresas acerca de las supuestas ventajas del ser reactivo en el servicio dado a las máquinas y equipos.

3.2 Marco teórico

La base del Mantenimiento Preventivo (MP) es la inspección. La inspección puede ser ejecutada sobre el equipo estando detenido ó en marcha. Puede ser tan pequeña que dure 5 minutos en el caso de la inspección visual ó puede durar varias horas en el caso de los desarmes completos de máquinas. Aquí tiene mucha importancia el criterio preventivo del que ejecuta la inspección, sobre todo cuando lo hace en una empresa donde hay poco tiempo disponible para realizarla.

Otra característica básica que debe tenerse clara antes de empezar a montar inspecciones sin ningún sentido, es el completo dominio que hay que tener de la máquina que va a ser incluida en el PMP. Si bien el que monta la

documentación no está obligado a manejar a un 100% el funcionamiento de un equipo, si está obligado a compartir experiencias con el operador de la máquina, tiene que conocer la velocidad y la eficiencia que es capaz de desarrollar, debe emprender un proceso de aprendizaje continuo que le permita cubrirse ante los fallos complejos a los que se ve sometida una máquina.

Lo que muchas veces causa el fracaso del PMP es la escasa actividad que dedica el responsable del plan, a las acciones DESPUÉS de la inspección. Muchas veces se da un exceso de atención en las acciones ANTES de la inspección y se olvida que después sigue la retroalimentación, la reprogramación y los cambios que hacen del PMP un concepto dinámico y cambiante.

Los objetivos que deben cumplirse al completarse un ciclo del plan, lo que se conoce como objetivos específicos, es el primer paso del PMP.

3.3 Objetivos específicos del PMP

- a. disminuir en un 30% las fallas de los equipos incluidos en éste plan.
- b. Contribuir con el departamento de mantenimiento en la implantación del mantenimiento autónomo.
- c. Reforzar las actividades de limpieza de equipos y estructuras.
- d. Mejorar aspectos relacionados con el control y manejo de equipos críticos.
- e. Elaborar documentación sencilla pero eficaz que permita el desarrollo del plan y su permanencia.

3.4 Situación actual de la Planta.

Actualmente el Departamento de Mantenimiento no maneja el mantenimiento Preventivo sino que concentra sus esfuerzos en el conocimiento y la experiencia que tienen sus integrantes sobre el mantenimiento correctivo. Debido a los años que acumulan los empleados de éstas áreas les resulta más cómodo trabajar sin ninguna comunicación escrita, por lo tanto predomina el intercambio verbal de ideas.

Los documentos que se manejan son las requisiciones a bodega, facturas y el control escrito de los gastos de mantenimiento. Cada mecánico encargado de alguna área se preocupa de conseguir repuestos y especificar pedidos a los diferentes proveedores. Además Productos de Concreto S.A. es una empresa que acostumbra tercerizar diferentes servicios, entre ellos los trabajos electromecánicos y de estructuras. Otra función que fue observada en el quehacer del departamento, fue la de modificar máquinas y la de hacer montajes y desmontajes de equipo. El equipo que maneja la Planta por lo general es pesado, por ejemplo grúas, mezcladoras, servo transmisiones, etc. Por lo tanto, se trata de maquinaria de partes fácilmente reconocibles, donde no hay repetición de equipos.

Cuando es necesario realizar una reparación mayor, se coordina con producción para que la máquina que va a ser revisada fabrique suficiente stock, ya que por el tipo de proceso que llevan los productos de concreto, una máquina alimenta a la otra: el paro de un equipo perfectamente detiene ó resta velocidad a los procesos posteriores.

3.5 Fortalezas y debilidades ante la instauración del PMP.

FORTALEZAS.

Sentido de equipo: se observa un fuerte vínculo entre los operadores, mecánicos y la dirección. Ante la aparición de un problema la solución es encontrada por lo general entre un grupo numeroso de gente. No se lleva un historial de reparaciones pero en cambio los mecánicos más experimentados muy posiblemente han anotado códigos de repuestos ó conocen al proveedor que entrega el repuesto preciso.

Conservación de las máquinas: existe un grupo importante de equipos que no muestran un grado elevado de deterioro y a los cuales se les puede incluir en un PMP.

Recursos: la empresa pertenece a una corporación de prestigio y es capaz de efectuar inversiones bastante grandes. Se le da autonomía al departamento de mantenimiento y además goza de prestigio a nivel nacional por lo que tiene reconocimiento por parte de los proveedores. Esto pone en posición ventajosa a la empresa, ya que por lo general tiene a mano varias opciones disponibles.

Direccionado hacia el mantenimiento: muchos de los actuales integrantes de las jefaturas han tenido experiencia previa en la dirección del mantenimiento, por lo que hay conocimiento de las necesidades y de su importancia dentro de la empresa.

DEBILIDADES:

No existe cultura de documentación: no se trabaja con orden de trabajo de modo que se debe empezar de cero con la implementación. En alguna ocasión el personal tuvo que llenar ordenes de trabajo, esto mas bien perjudica a la implementación del PMP porque entre los mecánicos se tiene la percepción de que se llenan documentos que luego no se usan para nada.

Disponibilidad de las máquinas: en los periodos de alta producción la planta trabaja a jornada continua, incluyendo los domingos. Esto entorpece la ejecución de las inspecciones si no se fijan tiempos para ejecutarlas

Ausencia de control en el manejo de equipos: varios equipos sufren daños repetitivos como consecuencia de malos manejos, a pesar de la constante comunicación entre los encargados del mantenimiento y los operadores. Este punto podría corregirse si existiera un historial de reparaciones en el que el encargado de mantenimiento basara sus propuestas a los Supervisores.

Desgaste excesivo: así como hay equipo en muy buen estado, se pudo comprobar que existe equipo critico que muestra avanzado desgaste, por ejemplo la red de vapor, la planta física, las grúas, etc. Se trata de equipo al que se le ha sacado provecho durante los períodos de alta productividad pero al que no se le da todo el correctivo que necesita cuando sale de esos períodos.

No hay licencias: la empresa no cuenta con licencias para los programas que permiten elaborar bases de datos, como por ejemplo Access. Lógicamente se entiende que ellos manejan una base de datos propia donde se incluye la parte de mantenimiento con preferencia hacia los costos. Sin embargo está demostrado

que en empresas más pequeñas cuentan con licencias de hasta 5 equipos, los cuales son utilizados por los encargados del preventivo para elaborar informes, imprimir reportes y facilitar la entrega semanal de las inspecciones para los mecánicos, electricistas y operarios.

3.6 Metodología.

El primer paso que se dio fue el conocimiento de cómo funcionaba el proceso productivo. En éste punto hubo constantes conversaciones con los operadores de máquinas, con los mecánicos, con los asesores de la práctica y con terceros. El objetivo fundamental se cumplió: fueron varias semanas en las que se acumularon importantes datos relativos al funcionamiento de las máquinas y algo más valioso todavía, se logró obtener una visión bastante clara del entorno en el que se desarrollan las actividades laborales de la Planta Belén.

Luego se procedió a estudiar los manuales existentes. Algunas máquinas tienen menos información disponible que otras, sin embargo se logró conseguir varios manuales por medio de Internet, por ejemplo el de mantenimiento de reductores, así como también acerca de los compresores de tornillo. Siempre es importante mantener actualizada una base de información referente al preventivo, por ejemplo todo lo relacionado con la lubricación y el mantenimiento de la red de aire.

Debido a la llegada de las nuevas máquinas, el mantenimiento preventivo de Productos de Concreto deberá enfocarse inevitablemente hacia el área electrónica. La nueva bloquera, la máquina nueva de baldosas, el sistema de pesado, la máquina nueva de columnas, la grúa de pórtico y la nueva caldera, si es que se decide adquirir, tendrán en común el mantenimiento de los variadores de frecuencia, y los controles electrónicos. No necesariamente se va a simplificar el mantenimiento, al contrario, ya se observó que existen ciertos problemas para

anticipar la necesidad de repuestos para esas máquinas. Por eso se decidió como parte del Plan, crear una lista de repuestos críticos para diversos equipos, a la cual no se habría podido dar validez sin la colaboración del personal involucrado en mantenimiento.

Una actividad muy importante fue el estudio de todo el material previo relacionado con preventivo, resultado de diversas prácticas profesionales realizadas por estudiantes en la empresa. Se rescataron inspecciones y frecuencias, pero hubo que plantear adecuaciones a la criticidad de los equipos, revisar cuales equipos iban a quedar sin uso dentro de la planta y agregar equipos nuevos que no estaban contemplados en las listas. A continuación se detalla el trabajo realizado sobre el equipo crítico, donde además se plantea la rotulación HAC para los equipos, siguiendo el código de colores que otros componentes de la corporación han seguido, como es el caso de quebradores.

3.7 Lista de equipo crítico de la Planta Belén.

El mantenimiento de equipos críticos es un elemento básico de la pirámide MAC, sirve como guía para enfocar los esfuerzos del mantenimiento en áreas prioritarias de la producción.

El siguiente listado incluye la criticidad de los equipos (A, B ó C) según su ordenamiento por Centro de Costo, a saber: Tubos Belén, Producción de Concreto, Dirección Planta, Prefa y Calderas. Se da una justificación para tal designación (si lo amerita), el número total de equipos clasificados y un cuadro donde se resume el nombre del equipo, criticidad, su codificación HAC, una descripción tentativa de su rotulación con algunas características especiales que debería cumplir. La elaboración de la rotulación tiene mucha importancia, según lo planteado en las reuniones con el personal de la empresa, debido a que el primer paso para involucrar a los operadores y mecánicos en el mantenimiento de sus

equipos, es estimular la curiosidad por las cosas nuevas, de ahí que se llevó a cabo el estudio de los equipos críticos.

Indicador de criticidad “ABC”.

Es el primer paso para asignar prioridad en el sistema de mantenimiento. Este ítem no requiere de un análisis de RCM (Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad) para llegar a conclusiones que, según MAC, deben ser fundamentadas en el sentido común. Para efectos de información este es un estándar de MAC que establece la criticidad según el grado en que una posible falla afecte la producción, sin embargo, en conjunto con el asesor industrial se decidió tomar en cuenta aspectos tan importantes como el grado en que se ve amenazada la seguridad personal y la disponibilidad de repuestos en el país.

A: (impacto inmediato), falla que detiene el equipo principal de la línea de producción.

B: (impacto postergado), falla que detiene el equipo principal ó reduce la velocidad de la línea de producción en un plazo de 24 horas.

C: (impacto nulo), falla que no afecta la línea de producción ó cuyos efectos se notan más de 24 horas después de ocurrido.

En la tabla 3.1 se indica la criticidad del equipo guiándose por el criterio indicado arriba. Para elaborar ésta lista fue necesaria la colaboración de los Jefes de Producción de Prefa y Tubos, así como la asesoría de los operadores de cada máquina los cuales dieron valiosa información que luego fue corroborada con los manuales disponibles.

Tabla 3.1 Lista de equipos y criticidad.

TUBOS BELEN	
dry cast	[A]
hydrotile	[A] Detiene el proceso de tubos inmediatamente.
bobinadora alemana	[B]
monoriel Demag	[A] Equipo auxiliar capaz de detener la Hydrotile que es un equipo principal. Seguridad del personal.
CL 15	[B] Provocaría una reducción en la velocidad de producción en menos de 24 horas.
CL 11	[B] Provocaría una reducción en la velocidad de producción en menos de 24 horas.
máquinas de soldar	[C] Existen sustitutos.
moldes aros carros	[C] Cuenta con equipo de reserva.
mesas desplazables	[A] Detiene el flujo normal de producción de tubos y no hay forma de reemplazo. Incluye servos, cadenas, pistón.
PROD. CONCRETO	
faja transportadora de agregados (banda principal, patio de agregados)	[A] La falta de un agregado detendría inmediatamente algún proceso.
carro repartidor de mezcla (tripper)	[A] Paro inmediato de baldosas y columnas nuevo.
mezcladora Besser	[A]
mezcladora Teka	[A] Aplicando criterio del efecto individual cuando hay dos ó más equipos.
C 11	[A] No tiene un reemplazo efectivo.

sistema de pesado	[A] Criterio de equipo que afecta al menos a un equipo de criticidad A.
sistema de soplado	[C]
DIRECCION PLANTA	
microbus	[C]
red eléctrica	[A] Vital por producción y por la seguridad del personal en la planta.
red de agua (bombas, tanque hidroneumático, compresor).	[A] Criticidad asignada siguiendo recomendaciones de salud ocupacional.
central hidráulica	[A]
compresor tornillo 1	[A]
compresor tornillo 2	[B] Criterio de sistema redundante. Se protege el proceso asignando una criticidad mayor al menos a uno de los compresores.
red aire	[A]
red aguas pluviales-resid	[C]
mant. Edificios	[C]
mant. Caminos	[C]

PREFA	
mesa vibratoria	[A]
mesa de limpieza y alistamiento	[C]
polikorte	[C]
máquina de baldosas Adler	[A]
máquina nueva de columnas (alimentador móvil)	[A]
central hidráulica	[C]

grúa Jaso paq.	[A] Criterio aplicado a equipos que pueden afectar la habilidad en las fases terminales del proceso.
grúa Demag paq.1	[C]
grúa Demag paq.2	[C]
pluma Demag	[A] Afecta la descarga de columnas desmoldadas (pérdida de habilidad).
grúa Demag 10 ton. 1	[A] Será parte vital del proceso de columnas nuevo
grúa Demac 10 ton. 2	[A] Permanece.
CALDERAS	
calderas	[A] Seguridad. Detiene el proceso de cura.
red vapor (sistema de curado)	[A]

La tabla 3.2 muestra el resumen de todos los equipos evaluados y clasificados durante éste ejercicio.

Tabla 3.2. Cantidad y tipo de equipos críticos.

<i>Centro de costo</i>	<i>Equipos A</i>	<i>Equipos B</i>	<i>Equipos C</i>
TUBOS BELEN	4	3	2
PROD. CONCRETO	6	0	2
DIRECCION PLANTA	5	1	4
PREFA	9	1	7
CALDERAS	2	0	0
TOTAL	26	5	15

figura 3.1 Apariencia de los rótulos según criticidad del equipo.

30 cm (50 cm)



Como se mencionó antes, es conveniente la utilización del rotulado en cada equipo, ya que refuerza el sentido de orden dentro del PMP pero además porque la empresa está en proceso de acoger los estándares de la Corporación INCSA.

Dado el interés mostrado por la empresa con la actualización de ésta lista y con la rotulación, se pidió elaborar un documento aparte que tuviera el formato establecido por la empresa, lo cual se realizó y a continuación se muestra un resumen en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Características de la rotulación

TUBOS BELEN	
NOMBRE DEL EQUIPO	ROTULACION: criticidad / código HAC / tamaño(cm)/ observaciones
dry cast	[A] 7B.451-KD1 30 × 50 fondo amarillo, el rótulo está expuesto a suciedad (mezcla), agua y desmoldante.
hydrotile	[A] 7B.451-KT1 30 × 50 fondo amarillo, el rótulo está expuesto a suciedad (mezcla), agua, grasa; altas temperaturas y vibración.
bobinadora alemana	[B] 7B.451-KA1 30 × 50 fondo blanco, el rótulo está expuesto a suciedad provocada por polvo; soporta vibración.
monoriel Demag	[A] 7B.451-GM1 30 × 50 fondo amarillo, el rótulo está expuesto al polvo y a lubricantes.
CL 15	[B] 7B.451-4M1 15 × 30 fondo blanco, el rótulo está expuesto al polvo, suciedad (mezcla), agua y luz solar.
CL 11	[B] 7B.401-4M1 15 × 30 fondo blanco, el rótulo está expuesto al polvo, suciedad (mezcla), agua y luz solar.
máquinas de soldar	[C] 7B.451-6L1 15 × 30 fondo amarillo, el rótulo está expuesto a suciedad y altas temperaturas.
mesas desplazables (accionamiento hidráulico).	[A] 7B.451-AH1 30 × 50 fondo amarillo, el rótulo está expuesto a suciedad (mezcla), agua, grasa.
PROD. CONCRETO	
faja transportadora de agregados (banda principal, patio de agregados)	[A] 7B.301-BT1 30 × 50 fondo amarillo, el rótulo está expuesto a suciedad (agregados), humedad, vibración.
carro de descarga (tripper)	[A] 7B.361-CY1 15 × 30 fondo amarillo, el rótulo está expuesto a suciedad (mezcla), agua, desmoldante; vibración.
mezcladora Besser	[A] 7B.351-MX1 15 × 30 fondo amarillo, el rótulo está expuesto a suciedad (mezcla), agua, desmoldante; vibración y alta temperatura.
mezcladora Teka	[A] 7B.661-MX2 15 × 30 fondo amarillo, el rótulo está expuesto a suciedad (mezcla), agua, desmoldante; vibración y alta temperatura.
C 11	[A] 7B.400-4F3 15 × 30 fondo amarillo, el rótulo está expuesto al polvo, suciedad (mezcla), agua y luz solar.
colector de polvo	[C] 7B.301-CS1 30 × 50 fondo amarillo, el rótulo está expuesto a suciedad (polvo), humedad y alta vibración.

sistema de pesado	[A] 7B.301-SP1 15 × 30 fondo amarillo, el rótulo está expuesto a suciedad (agregados) y a una alta vibración.
sistema de soplado	[C] 7B.301-SR1 30 × 50 fondo amarillo, el rótulo está expuesto a suciedad (polvo), humedad y alta vibración.

DIRECCION PLANTA	
microbús	[C] 7B.C01-481
red eléctrica	[A] 7B.601-RE1
red de agua (bombas, tanque hidroneumático, compresor).	[A] 7B.601-BA0 30 × 50 fondo amarillo, el rótulo está en un ambiente húmedo, con altas temperaturas presentes y con una considerable vibración.
central hidráulica	[A] 7B.601-UH1 15 × 30 fondo amarillo, el rótulo está en un ambiente húmedo, con altas temperaturas presentes y con una considerable vibración.
compresor tornillo 1	[A] 7B.601-CN1 15 × 30 fondo amarillo, el rótulo está en un ambiente húmedo, con muy alta temperatura presente y con un nivel de vibración muy alto también. Está expuesto a derrames de lubricantes.
compresor tornillo 2	[B] 7B.601-CN2 15 × 30 fondo blanco, el rótulo está en un ambiente húmedo, con muy alta temperatura presente y con un nivel de vibración muy alto también. Está expuesto a derrames de lubricantes.
red aire	[A] 7B.601-RC1
red aguas pluviales-resid	[C] 7B.601-0 1
mant. Edificios	[C] 7B.C01-30
mant. Caminos	[C] 7B.C01-0 1

PREFA	
NOMBRE DEL EQUIPO	ROTULACION: criticidad / código HAC / tamaño / observaciones
mesa vibratoria	[A] 7B.661-MV1 15 × 30 fondo blanco, el rótulo está en un ambiente húmedo y muy propenso a ensuciarse con mezcla, debe ser capaz de soportar una elevadísima vibración.
mesa de limpieza	[C] 7B.401-0 1 15 × 30 fondo amarillo, el rótulo está en un ambiente húmedo, con alta presencia de material desmoldante. Trabajo pesado.
polikorte	[C] 7B.661-EA1 15 × 30 fondo amarillo, el rótulo está en un ambiente con alta presencia de polvo metálico, con altas temperaturas presentes y con una considerable vibración.
máquina nueva de columnas (alimentador móvil).	[A] 7B.661-AE1 15 × 30 fondo amarillo, el rótulo debe soportar una alta presencia de agua, desmoldante y mezcla, además de la vibración.
central hidráulica (unidad hidráulica).	[C] 7B.661-UH2 15 × 30 fondo amarillo, el rótulo debe soportar un ambiente contaminado con lubricante y una alta vibración. Presenta alta temperatura.
grúa Jaso paquetizado.	[A] 7B.661-GR1 30 × 50 fondo amarillo, el rótulo está expuesto a la intemperie (lluvia y luz solar), polvo y vibración.
grúa Demag paquetizado.1	[C] 7B.661-GV2 30 × 50 fondo amarillo, el rótulo está expuesto a la intemperie (lluvia y luz solar), polvo y vibración.
grúa Demag paquetizado.2	[C] 7B.661-GV3 30 × 50 fondo amarillo, el rótulo está expuesto a la intemperie (lluvia y luz solar), polvo y vibración.
pluma Demag	[A] 7B.661-TE1 15 × 30 fondo blanco, el rótulo está expuesto al polvo, al lubricante y a la vibración.
grúa Demag 10 ton. 1	[A] 7B.661-GV1 30 × 50 fondo amarillo, el rótulo está expuesto al polvo, al lubricante y a la vibración.
grúa Demac 10 ton. 2	[A] 7B.661-GV4 30 × 50 fondo amarillo, el rótulo está expuesto al polvo, al lubricante y a la vibración.
maquinaria de tensado	[A] 7B.661-KG1 15 × 30 fondo amarillo, el rótulo debe soportar la acción del polvo, el lubricante la vibración y la alta temperatura.
maquinaria de tensado	[B] 7B.661-KG2 15 × 30 fondo blanco, el rótulo debe soportar la acción del polvo, el lubricante la vibración y la alta temperatura.

máquina de baldosas Adler	[A] 7B.661-KP1 15 × 30 fondo amarillo, el rótulo debe soportar un alto nivel de agua, desmoldante y mezcla, además de la vibración.
soldadoras de punto	[C] 7B.661-6P1 15 × 30 fondo amarillo, el rótulo está expuesto a suciedad y altas temperaturas.
CL 24	[C] 7B.661-4M1 15 × 30 fondo amarillo, el rótulo está expuesto al polvo, suciedad (mezcla), agua y luz solar.
monoriel Demag 10 ton.	[A] 7B.661-GM2 30 × 50 fondo amarillo, el rótulo está expuesto al polvo y a lubricantes.
CALDERAS	
calderas	[A] 7B.661-KV1 30 × 50 fondo amarillo, el rótulo estaría en contacto con polvo, derrames de bunker, gases, agua, lubricante. Debe soportar una muy alta vibración y una elevada temperatura.
red vapor (sistema de curado)	[A] 7B.401-SC1 30 × 50 fondo amarillo, el rótulo está expuesto al polvo y a una alta temperatura.

Por último se elaboró un resumen que contuviera las principales características que debería tener el rotulado y se mandó a cotizar. Este largo trabajo se realizó con el fin de no adquirir materiales de poca durabilidad, y asegurar aspectos como visibilidad, limpieza y resistencia. Es de suma importancia que los equipos sean claramente identificados por los encargados de las inspecciones en el momento en que inicie el PMP.

3.8 Parámetros para medir resultados del Plan:

Los parámetros son los que se usan normalmente para evaluar el desempeño del Mantenimiento Preventivo, por ejemplo el parámetro de la grúa Jaso sería el monto presupuestado por mantenimiento, según los datos obtenidos, a la grúa se le asignan \$1000 para mantenimiento. Si el plan de preventivo da resultados se deben observar disminuciones en éste rubro.

Un parámetro que se ajusta a la banda transportadora de agregados son las horas de mantenimiento preventivo y correctivo en un plazo de tiempo determinado. Se comprobó que la disponibilidad de la banda es de 5 horas los sábados. La mezcladora Teka puede evaluarse de acuerdo a la velocidad actual, ya que es una máquina bastante nueva. En su caso cada batida dura aproximadamente 10 minutos y cada descanso es de 5 minutos. Alimenta siguiendo un patrón bien definido:

25 batidas para baldosas nuevo.

6 batidas para columnas nuevo.

12 batidas para columna viejo.

Con respecto a la división en subpartes de los equipos críticos escogidos para introducirlos en el Plan, se decidió dar continuidad a los trabajos previamente estudiados y a la subdivisión encontrada en las hojas de paros. Además las frecuencias fueron corroboradas con las necesidades actuales.

3.9 Elaboración del manual de mantenimiento preventivo.

Se incluyeron variables como la descripción de la inspección, la frecuencia, la especificación del estado en que se encuentra el equipo en el momento de la inspección ya sea en marcha ó detenido, tiempo que dura y la ruta según la cual se le asigna un grupo de máquinas a cada mecánico y electricista y un grupo de labores que debe realizar el operario de la maquina para mantener su entorno limpio y acomodado.

En el anexo se presenta el manual de inspecciones acompañado del listado de los repuestos críticos según la opinión del personal de mantenimiento. La empresa solicitó dar un tratamiento muy específico a los repuestos, se decidió mantener una cantidad limitada de repuestos y serán las inspecciones realizadas por operarios, mecánicos y electricistas las que determinen la compra de repuestos a tiempo. No se van a mantener repuestos guardados, ya que la empresa está en un proceso de limpieza de “Costos de artículos obsoletos”, los cuales representan una suma elevada debido al manejo de hace algunos años.

3.10 Disponibilidad para el PMP.

En la tabla 3.5 se especifican los tiempos de no producción de las maquinas a las que se les realizarán inspecciones. Se consideran situaciones particulares como por ejemplo los cambios de cabeza de la máquina Hydrotile los cuales suelen durar de 20 minutos hasta 90 minutos, con una frecuencia promedio de dos veces al día.

La grúa Jaso tiene largos períodos de inactividad durante el día, por lo que se puede sacar un promedio de los minutos consecutivos que permanece inactiva. Eso no ocurre con el compresor de tornillo ni con la mezcladora Teka, los cuales tienen periodos de funcionamiento muy constantes y solo pueden considerarse

como tiempos no productivos los días sábados, ya que son los días en que se da mantenimiento general a los equipos y a la planta.

El cargador C11 tiene asignado un grupo de inspecciones dirigidas a comprobar el funcionamiento general y la operación segura del equipo antes de las horas de funcionamiento normal, es decir, el operador comprueba todas las inspecciones rápidamente en las mañanas apenas toma el mando del equipo.

La banda transportadora de agregados realiza dos cargas cada hora, cada carga dura 20 minutos por lo que restan 20 minutos de tiempo muerto. Esto se multiplica por 10 horas de funcionamiento al día durante 5 días.

Tabla 3.5 Tiempo de no producción

Equipo	TNP (minutos × semana)
GRUA JASO	600
CARGADOR C-11	450
BANDA TRANSPORTADORA AGREG.	1000
MEZCLADORA TEKA	300
SISTEMA DE PESADO	300
HYDROTILE	600
COMPRESOR DE TORNILLO 1	300

Operarios disponibles.

El PMP será llevado a cabo con 2 mecánicos industriales, 1 mecánico automotriz y 1 electricista. Quedan libres 2 mecánicos industriales que son asignados a reparaciones programadas y el correctivo normal. Los operadores de las máquinas se consideran aparte ya que las inspecciones que tienen asignadas no involucran conocimientos técnicos profundos y están orientadas a la limpieza y a la visualización de funcionamientos anormales. La carga de inspecciones por puesto se resume en una tabla ubicada en el anexo de éste trabajo.

Los mecánicos disponibles también tienen que cubrir dentro del TNP varias reparaciones en otros equipos, ya que la mayoría de éstos son críticos según se mencionó en las listas de criticidad de equipos mencionadas al comienzo de éste segundo trabajo. Se tiene entonces un alto tiempo para otros trabajos, principalmente el correctivo de máquinas y el arreglo de moldes. Ésta última actividad absorbe muchas horas a la semana, debido al uso continuo que se hace de los moldes de tubos, columnas y baldosas.

Tabla 3.6 Tiempo no productivo equivalente mecánico

$$\text{TNPe (mecánica)} = \text{TNP} \times \text{OPD}$$

Equipo	TNPe (min mec × semana)
GRUA JASO	1200 (350)
CARGADOR C-11	900 (500)*
BANDA TRANSPORTADORA AGREG.	2000 (900)
MEZCLADORA TEKA	600 (400)
SISTEMA DE PESADO	600 (400)
HYDROTILE	1200 (400)
COMPRESOR DE TORNILLO 1	600 (400)

Entre paréntesis se ha puesto el valor DMP (disponibilidad MP)

**mecánico automotriz*

Tabla 3.7 Tiempo no productivo equivalente eléctrico.

$$\text{TNPe (eléctrica)} = \text{TNP} \times \text{OPD}$$

Equipo	TNP (min elect × semana)
GRUA JASO	600 (200)
CARGADOR C-11	450 (100)
BANDA TRANSPORTADORA AGREG.	1000 (200)
MEZCLADORA TEKA	300 (100)
SISTEMA DE PESADO	300 (100)
HYDROTILE	600 (200)
COMPRESOR DE TORNILLO 1	300 (100)

Entre paréntesis se ha puesto el valor DMP (disponibilidad MP)

El Gantt anual se hace por especialidad y por equipo debido a la cantidad de rutinas mecánicas, eléctricas y de limpieza que se plantearon, por ejemplo en el anexo se muestra el cuadro de carga de trabajo medido en minutos y separado según el que ejecuta la inspección. Mediante éste cuadro resumen el grupo de inspecciones puede ser ubicado según el tiempo en minutos, ya sea semanal, quincenal, etc. A su vez, el código de colores indica que si dos equipos coinciden en color, entonces se tiene una ruta que el mecánico puede seguir sin que coincidan dos operarios en el mismo equipo.

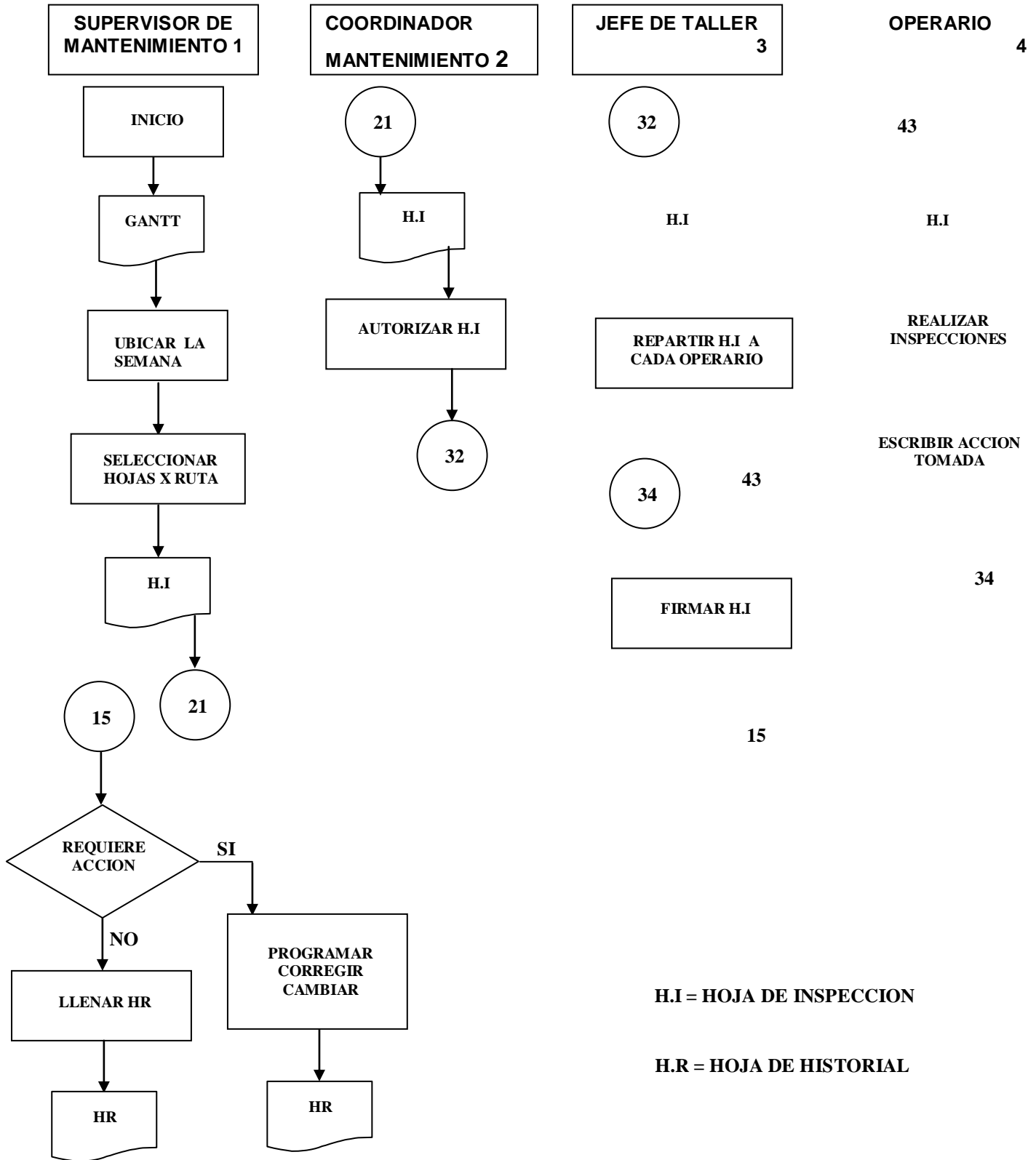
3.11 Sostenibilidad del PMP.

Toda la documentación está lista en Excel para ser copiada y pegada a partir del Manual de Mantenimiento Preventivo, donde están recopiladas todas las inspecciones. El PMP está bajo la responsabilidad del Supervisor de mantenimiento (columna 1 del flujograma), el es el encargado de iniciar las rutinas fijándose por medio del Gantt en la semana correspondiente. Su responsabilidad consiste en ubicar el manual, copiar las inspecciones y pegar en las hojas de inspecciones que se entregan al Coordinador de mantenimiento para aprobarla. En algún momento, este paso podrá ser brincado cuando el procedimiento sea continuo y el coordinador simplemente reciba un informe de las actividades semanales. El jefe de taller es el encargado de coordinar con el mecánico las inspecciones que tiene asignadas, por si existen trabajos pendientes que deben ser terminados antes de la inspección. El mecánico ha contraído una responsabilidad con éste documento, ya que es el responsable de ejecutar las inspecciones tal y como se le asignan en el documento que él mismo firma dándolo por bueno.

Cuando el supervisor recibe de vuelta el documento con la retroalimentación del mecánico, decide las correcciones que debe hacer ó los datos que debe anotar en su propio historial de reparaciones.

Figura 3.4

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO. Flujo de las actividades por puesto



3.12 Conclusiones generales.

1. Se diseñó la **documentación** necesaria para empezar las primeras rutinas el 20 de noviembre del año 2002, fecha indicada como inicio de la implementación del PMP en la Planta.

2. Una función primordial del PMP será agilizar la **compra de repuestos**. Ya no se solicitarán en el momento en que exista un fallo, sino que el MP necesariamente habrá dado tiempo suficiente para prepararse ante la falla. Al respecto ya se han realizado reuniones por parte del Jefe de Taller con los mecánicos.

3. Se actualizó la **lista de equipos críticos de la planta**, incluyéndose todo el equipo nuevo que empezó a funcionar con los procesos de baldosas y columnas.

4. Se incorporarán paulatinamente las inspecciones de la **planta física**, en especial el mantenimiento de la nave industrial, en donde hay que hacer un trabajo sobre 5S que ayude a mejorar las condiciones de limpieza actuales. Se ha empezado a trabajar en un plano físico de la planta, por medio del cual se sienten los responsables de la limpieza en todas las áreas que hoy están descuidadas.

5. Se definió con el responsable del PMP todas las actividades y operaciones que debe ejecutar con la documentación creada.

Bibliografía

Ureña Fonseca, Henry. Desarrollo de las Bases de Mantenimiento Clase Mundial según MAC. ITCR, 2000.

Manual del fabricante. Talleres Jaso S.A. Maquinaria de elevación. España, 1998.

Valverde Vega, Jorge. Curso de Administración de Mantenimiento I. ITCR, 2000.

Manual de trampas Armstrong, versión digital.

Manual de Instalaciones de Vapor. Spirax Sarco S.A.

Instituto Tecnológico de Costa Rica. Reglamento de Calderas.

Konrad, Sage. Instalaciones Técnicas. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona. España, 1975.

Rojas, Juan. Calderas Principios Básicos, Tipos, Tratamiento de Agua, Ajuste de Combustión y Mantenimiento. ITCR, 2002.

Manual de Calderas Selmec. Elaborado por la Cleaver Brooks. México, 1993.

Cedeño, Alvaro. Revista Actualidad Económica, “Gestión del Cambio”. Trejos Hermanos Sucesores, S.A. San José, Costa Rica. 1998.

<http://spanish.besser.com/e-services/cmuprocess.htm> Página de servicios de la casa Besser.

L.C. Morrow. Manual de Mantenimiento Industrial, tomo I. Cía Editorial Continental S.A. México, 1984.

