

Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil Industrial



**Mejora en el proceso de abastecimiento de combustibles alternativos sólidos
en un horno de cocción de clinker**

por

José Ignacio Jerez Torrens
Fernando Antonio González Rojas

Trabajo de Título para optar al Grado de
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y al título de
Ingeniero Civil Industrial

Prof. Guía Augusto Vargas Schüler

Marzo, 2016

Agradecimientos

Finalizado este proceso agradecemos especialmente a Don Augusto Vargas Schüler por su constante apoyo, entrega, disposición, trabajo y análisis en el desarrollo de esta tesis, lo cual ha impulsado el desarrollo académico y profesional de los autores además de la próxima implementación de la misma en una destaca empresa de nivel nacional.

Agradezco a mi amada esposa Caren por su apoyo y amor incondicional, con quien todo lo hemos logramos en conjunto. A Antonia y Fernanda, la luz de nuestras vidas.

Fernando Gonzalez Rojas

Ὡ ξειν', Ευχαριστώμου

José Ignacio Jerez Torrens

Índice

Lista de Tablas.....	7
Lista de Figuras	8
Lista de Gráficos.....	8
Resumen	9
Abstract	10
Introducción.....	11
1 Antecedentes generales	12
1.1 La empresa	12
1.1.1 Grupo controlador Melón S.A.....	13
1.1.2 Visión Melón S.A.....	13
1.1.3 Misión Melón S.A.....	13
1.1.4 Áreas Melón S.A.....	14
1.2 Procesos productivos.....	14
1.2.1 Proceso de producción de cemento	14
1.2.2 Indicadores del proceso	16
1.2.2.1 Incidentes	16
1.2.2.2 Confiabilidad.....	17
1.2.2.3 Factor de uso	17
1.2.3 Combustibles utilizados en el proceso de producción de clinker.....	18
1.2.3.1 Petcoke	18
1.2.3.2 Neumáticos.....	18
1.2.3.3 C.A.L (Combustible Líquido Alternativo).....	18
1.2.3.4 CAS (Combustible Alternativo Sólido)	19
1.3 Descripción del proceso de abastecimiento de combustible alternativo sólido C.A.S. al proceso.	20
1.3.1 Tasa de reemplazo CAS.....	21
1.3.2 Aumento en costos por uso de combustible fósil y no mezcla CAS.....	22
1.3.3 Normativa ambiental suministro de C.A.S. a planta	23
1.4 Problema.....	24
1.5 Causas del Problema	27
1.5.1 Causas, problema e impacto.....	30
1.5.1.1 Causas.....	31
1.5.1.2 Impactos	31
1.6 Metodologías.....	32
1.6.1 Soluciones en la industria.....	33
1.6.1.1 Caso 1: CEMEX, Planta Tepeaca. México	34
1.6.1.2 Caso 2: LAFARGEHOLCIM / POLPAICO, Til Til, Chile.....	35

1.6.2 Metodologías Aplicables al caso.....	36
1.6.2.1 TPM.....	36
1.6.2.2 Árbol de fallas.....	37
1.6.2.3 Análisis de criticidad.....	38
1.6.2.4 FMECA.....	39
1.6.2.5 RCM.....	40
1.6.2.6 MRP.....	41
1.6.2.3. Toma de Decisión.....	42
1.7. Objetivos.....	43
1.8. Limitaciones del estudio.....	43
2. Metodología.....	44
2.1 Historia MRP.....	44
2.2. MRP.....	44
2.2.1. Modelo MRP.....	46
2.2.1.2 Plan Maestro de Producción MPS.....	47
2.2.1.3 Estructura de Producto (BOM).....	47
2.2.1.4 Situación o estado de Stocks.....	48
2.2.2 Influencia de la Metodología MRP.....	49
3 Aplicación de la metodología.....	51
3.1 Fase I. Demanda.....	52
3.1.1 Definir el producto.....	52
3.1.2 Cuantificar solicitudes de producto.....	52
3.1.3 Estacionalidad y Calendarización.....	52
3.2 Fase II. Producto.....	54
3.2.1 Identificar materiales del producto.....	54
3.2.2 Explosión de materiales (Bill Of Materials).....	54
3.3 Fase III. Inventario.....	55
3.3.1 Determinar capacidades de stock.....	55
3.3.2 Definir política de inventario.....	57
3.3.3 Definir stock de seguridad.....	57
3.3.3.1 Distribución de canchas.....	58
3.3.3.2 Mejora en distribución de canchas.....	58
3.3.4 Determinar tiempo de espera (Lead Time).....	60
3.3.4.1 Tiempo de traslado.....	60
3.3.4.2 Tiempo de espera.....	60
3.4 Fase IV. Producción.....	61
3.4.1 Consolidar información.....	61
3.4.2 Plan maestro de producción.....	61

3.5 Fase V. MRP	63
3.5.1 Planificación de requerimiento de material.....	63
3.6 Output.....	65
3.5.1 Ordenes planificadas de compras	65
4 Análisis de Resultados.....	66
4.1 Interrupción del suministro CAS, confiabilidad y factor de uso.....	66
4.2 Denominación de las fallas más frecuentes.....	67
4.3 Costos interrupción suministro CAS.....	68
4.4 Gestión de Stock.....	69
4.5 Distribución de espacio almacenamiento materias primas y combustibles	70
5. Conclusiones y recomendaciones.	71
5.1 Conclusiones	71
5.2 Recomendaciones.....	72
6 Bibliografía	73
7 Otras informaciones	74

Glosario

CAS	Combustible alternativo sólido
MP ₁₀	Material Particulado inferior a los 10 micrómetros
SO ₂	Dióxido de azufre
O ₃	Ozono
NO _x	Óxidos nitrosos
C ₃ S	Silicato tricálcico
C ₂ S	Silicato dicálcico
C ₃ A	Aluminato tricálcico
C ₄ AF	Ferrito aluminato tetracálcico
CaO	Óxido de calcio
C.A.L	Combustible alternativo líquido
P.P.C	Perdidas por calcinación
T.S.E	Tasa de sustitución energética
D.Q.I	Desechos químicos industriales
H ₂ SO ₃	Ácido trioxosulfúrico
C ₂ CO ₃	Ácido trioxocarbónico
SiO ₂	Óxido de silicio
Al ₂ O ₃	Óxido de aluminio
Fe ₂ O ₃	Óxido de hierro
F.C.E	Factor de corrección estacional
D ₁	Diámetro uno
D ₂	Diámetro dos
N.F.U	Neumáticos fuera de uso
C.S.I	Cement Sustainability Initiative
NECO ₂	Net Emission of CO ₂

Lista de Tablas

Tabla 1.1 -Incidentes en equipos principales.....	16
Tabla 1.2 -Confiabilidad en equipos principales.....	17
Tabla 1.3 -Factor de uso en equipos principales.....	17
Tabla 1.4 -Tas de reemplazo CAS.....	21
Tabla 1.5 -Costo por Tonelada de Combustible.....	22
Tabla 1.6 -Valores Límite PPM.....	23
Tabla 1.7 -Costo por Tonelada de Combustible.....	24
Tabla 1.8 -Costos Kcal por tipo de Combustible.....	25
Tabla 1.9 -Consumo Actual de CAS.....	26
Tabla 1.10 -Fallas en Abastecimiento de CAS.....	27
Tabla 1.11 -Encuesta.....	28
Tabla 1.12 -Beneficios y Limitantes del TPM.....	36
Tabla 1.13 -Beneficios y Limitantes del Árbol de Falla.....	37
Tabla 1.14 -Beneficios y Limitantes del Análisis de Criticidad.....	38
Tabla 1.15 -Beneficios y Limitantes del FEMCA.....	39
Tabla 1.16 -Beneficios y Limitantes del RCM.....	40
Tabla 1.17 -Beneficios y Limitantes del MRP.....	41
Tabla 1.18 -Matriz de Decisión.....	42
Tabla 3.1 -Demanda Total de Cemento para el año 2016.....	53
Tabla 3.2 -Demanda Cemento Extra / Especial todos los formatos.....	53
Tabla 3.3 - Demanda Clinker para Cemento Extra y Especial.....	53
Tabla 3.4 -BOM (Bill of Materials).....	54
Tabla 3.5 -Definición de Stocks.....	55
Tabla 3.6 -Comparación de canchas de materia prima.....	56
Tabla 3.7 -Variables del Lead Time.....	57
Tabla 3.8 -Información consolidada materias primas.....	58
Tabla 3.9 -Plan maestro de producción.....	59
Tabla 3.10 - Plan requerimiento de material (I).....	64
Tabla 3.11 - Plan requerimiento material (II).....	64
Tabla 3.12 -Solicitud eficiente de materiales e insumos.....	65
Tabla 4.1 -Comparativa niveles de stock promedio.....	69
Tabla 4.2 – Diferencia consumo lineal.....	70

Lista de Figuras

Figura 1.1 -Ubicación Planta Industrial Cemento Melón	12
Figura 1.2 -Directorio Empresas Melón S.A.....	13
Figura 1.3 -Proceso Productivo del Cemento.....	15
Figura 1.4 -Estanques con C.A.L.....	19
Figura 1.5 -Batea con C.A.S.....	19
Figura 1.6 -Diagrama de Flujo Abastecimiento C.A.S.....	20
Figura 1.7 -Combustibles Complementarios al Petcoke.....	24
Figura 1.8 -Diagrama Causa Efecto.....	29
Figura 1.9 -Esquema Causas / Impactos.....	30
Figura 1.10 -Consumo Cemento Per Cápita.....	33
Figura 2.1 -Inputs / Outputs de Sistema M.R.P.....	46
Figura 2.2 -Estructura BOM.....	47
Figura 2.3 -Diagrama de Flujo M.R.P.....	50
Figura 3.1 - Fases Sistema M.R.P.....	51
Figura 3.2 -Layout Canchas Materias Primas.....	56
Figura 3.3 -Derrumbe de Ladrillos.....	57
Figura 3.4 – Propuesta layout materias primas.....	57
Figura 3.5 – Planificación de requerimiento de material.....	57

Lista de Gráficos

Gráfico 1.1 -Fallas en Abastecimiento y Alimentación C.A.S.....	27
Gráfico 1.2 -Causas de No Quema de C.A.S.....	28

Resumen

Por medio del desarrollo del presente trabajo de título, se busca dar una solución eficiente al problema de la interrupción del suministro de combustibles alternativos sólidos al horno número nueve de cocción de clinker de la planta industrial La Calera de Melón S.A.

La matriz energética utilizada para la producción de clinker, está compuesta principalmente por el carbón Petcoke pero buscando reducir el costo de matriz energética se han ido incorporando tres combustibles de menor valor, Combustible Alternativo Solido (CAS) consistente principalmente en aserrín mezclado con solventes, material de descarte de empresas alimentarias y fármacos vencidos, Combustible Alternativo Liquido (CAL) el cual consiste en una mezcla de diversos aceites usados, barnices, solventes y diversos aceites residuales, Neumáticos consistente en los neumáticos que han cumplido su vida útil o han fallado en las pruebas de calidad. Todos los combustibles adicionales tienen un límite de reemplazo dentro de la matriz energética el cual no debe ser superado pues está calculado en base al cumplimiento de las normas medioambientales de emisiones.

Actualmente existe un problema en el suministro de CAS lo que merma el cumplimiento de su cuota de reemplazo en la matriz energética, lo que impacta en un sobrecosto por su reemplazo mediante Petcoke.

Después de un estudio detallado se advierte un problema en los sistemas de reposición de materias primas y combustibles, el cual no advierte la demanda futura y se guía por puntos de re-orden no procedimentados, como solución al problema se aplica la metodología de Materials Requirement Planning (MRP) con el fin de asegurar la disponibilidad de materias primas y combustibles en la fabricación de clinker. Logrando finalmente una reducción en los costos de la matriz energética y una disminución significativa en los niveles de stock.

Palabras claves: *Material Requieriment planing, Gestión de Stock, Combustible sólido alternativo, Clinker, Industrial del cemento.*

Abstract

The present work title had as finality to provide an efficient solution to the problem of disruption in the supply of alternative solid fuel to the kiln number nine in clinker manufacturing plant of La Calerapropety of Melon plc.

The energy matrix used for the production of clinker, is composed mainly by coal Petcoke but looking to reduce the cost of energy matrix have joined three fuels of less value, Alternative Solid Fuel (CAS) consisting mainly of sawdust mixed with solvents, materials discarded in food business and expired drugs, Alternative Liquid Fuel (CAL) which consists of a mixture of various varnishes, solvents and various waste oils. Tires consisting in tires that have outlived their usefulness or have failed in the quality tests. All this alternative fuels have a limited replacement in the energy mix which is calculated based on compliance with environmental emission standards.

There is currently a problem in providing Alternative Solid Fuel, weakening the performance of replacement share in the energy matrix, which impacts in a cost overrun for its replacement by Petcoke.

After a detailed study of the problem is noticed a problem on systems replacement of raw materials and fuels, which does not see the future demand and is guided by re-order points without any official system, as a solution methodology is applied Materials Requirement Planning (MRP) in order to ensure the availability of raw materials and fuels in the clinker process. Finally achieving a reduction in costs of the energy mix and a significant decrease in the levels of stock.

Keywords: *Requirement planning Material Management, Stock, solid fuel alternative, Clinker, Cement Industry.*

Introducción

El quiebre de stock provocado, que da inicio al problema que se trata de resolver, está asociado a la falta de planificación en la adquisición de suministros de CAS (Combustibles Alternativos Sólidos) por parte de la empresa mandante, lo que genera la existencia de una alta tasa de utilización de combustible fósil, el carbón Petcoke. La utilización de este combustible fósil cumple con los estándares de emisiones de material particulado existente en Chile, y junto a su alto poder calorífico, ha permitido en la empresa la utilización de una manera más eficiente que los combustibles alternativos con un menor poder calorífico útil para el proceso de calcinación. No se ha implementado de manera completa el proyecto original de uso de combustibles alternativos y se han mantenido las altas tasa de utilización de carbón Petcoke, en favor de llevar un statu-quo, en función de la producción y considerando para ello factores medioambientales, en desmedro de mejorar la planificación de suministros. Esto con el fin de dejar en claro los requerimientos que se deben hacer a los proveedores, logrando de esta manera una evidente reducción en los costos de producción, lo que significa un ahorro para la empresa.

La gestión de inventarios permite establecer los rangos necesarios de combustibles y hace velar, mediante los procedimientos que puedan ser establecidos por la empresa, que la alimentación para la matriz energética de producción de clinker se mantenga de una manera continua. De igual forma, mantener los registros de huella de carbono bajo las recomendaciones mundiales para plantas cementeras, puede hacer viable la puesta en marcha del proyecto.

1 Antecedentes generales

A continuación se describirá de forma general la empresa Melón S.A. para posteriormente describir el proceso productivo específico donde se utiliza combustibles alternativos sólidos (C.A.S.).

1.1 La empresa

En julio de 1906 la fábrica de cemento El Melón se constituye en entidad legal a través del decreto presidencial que autoriza su existencia. La primera Reunión de directorio se realiza al mes siguiente, cuando se registraron los nombres de los accionistas y se aprueba el contrato con F.L. Smith & Co. de Copenhague, Dinamarca, para el montaje de la primera planta de cemento emplazada en la comuna de La Calera, Provincia de Quillota.

El 20 de diciembre de 1908, la fábrica de Cemento El Melón produce el primer saco de cemento Portland en Sudamérica. Durante su primer año de trabajo, la empresa produce algo más de 250.000 sacos.

Entre las grandes construcciones en las cuales ha sido parte Melón S.A a través de su historia, podemos destacar las siguientes: Puerto de San Antonio, Estadio Nacional, Casino de Viña del mar, Metro de Santiago, edificio Titanium, entre otros. [Melon15]



Figura 1.1 - Ubicación
Fuente: [Melón13]

1.1.1 Grupo controlador Melón S.A.

Actualmente Melón S.A. pertenece al Grupo Breca el cual es un conglomerado empresarial peruano perteneciente a la familia Brescia-Cafferata.

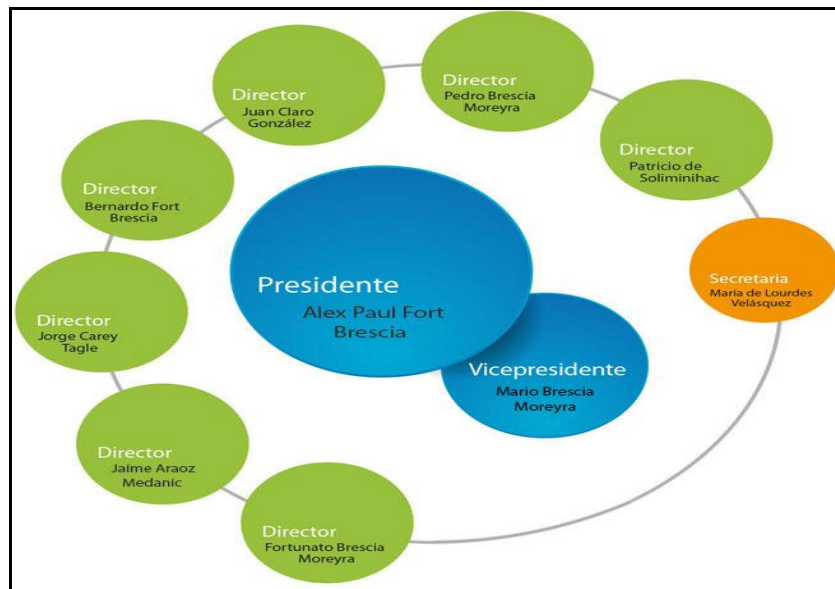


Figura 1.2 - Directorio Melón S.A.
Fuente: [Melón15]

1.1.2 Visión Melón S.A.

Ser la marca de mayor reputación en la industria de materiales de construcción de la Región.

1.1.3 Misión Melón S.A.

Construir en sociedad con nuestros clientes el liderazgo regional en la industria de materiales de construcción, cimentado en la calidad, innovación y sustentabilidad de nuestros productos, servicios y procesos y el entusiasmo y el compromiso de un equipo humano de excelencia.

1.1.4 Áreas Melón S.A.

Melón S.A. se divide en cuatro áreas productivas Melón Áridos, Melón Cementos, Melón Hormigones y Melón Morteros.

1.2 Procesos productivos

Melón S.A. ha segmentado su proceso productivo en cuatro grandes áreas: Extracción de áridos, producción de cemento, producción de hormigón y producción de morteros. El proceso de áridos ha ido disminuyendo transformándose paulatinamente a la compra del producto en el mercado, hormigones se refiere a la mezcla de cementos con áridos y agua despachado en camiones externalizados, morteros es la mezcla del cementos con áridos para la posterior adicción de agua en obra, por lo que finalmente podemos observar que el proceso principal de la compañía es la fabricación de cemento el cual es el suministro principal de hormigones y morteros.

1.2.1 Proceso de producción de cemento

El proceso de fabricación de cemento comienza con la recepción de las materias primas (calizas, correctores y adiciones) que conforman lo que se denomina “crudo”. Esta fase comprende un proceso de molienda en donde todas estas materias primas son tratadas en molinos de bolas para luego ser almacenadas en un grupo de seis silos. Una vez obtenido el crudo éste es trasladado por medio de líneas de bombeo hasta el horno de calcinación en donde se transforma en clinker.

La alimentación al horno se realiza a través de la torre de ciclones, que calienta la materia prima para facilitar su cocción. El crudo o harina (materia prima molida) se introduce por la parte superior de la torre y va descendiendo por ella. Mientras tanto, los gases provenientes del horno, que están a altas temperaturas, ascienden a contracorriente, precalentando así el crudo que alcanza los 1000° antes de entrar al horno. El horno es un cilindro rotativo metálico de gran diámetro, el cual posee una inclinación variable de tres a cinco grados, y está en giro constante, esta unidad recibe el material desde la torre de ciclones. El objetivo principal del horno es el proceso de clinkerización. El clinker producido en el horno descarga directamente a la enfriadera, la cual es la última etapa en el proceso de producción de clinker. Esta unidad está conectada a la salida del horno y es el equipo encargado de enfriar el clinker, desde la temperatura de reacción 1450°C a menos de 200°C, para que pueda ser almacenado en silos y luego consumido por los molinos de cemento. La enfriadera funciona bajo un principio de intercambio de calor por convección, al forzar grandes volúmenes de aire a temperatura ambiente, a través de una serie de parrillas colocadas sobre dos pisos móviles sobre los cuales se desplaza el clinker caliente. En este proceso, el clinker cede su calor y el aire ambiente lo gana.

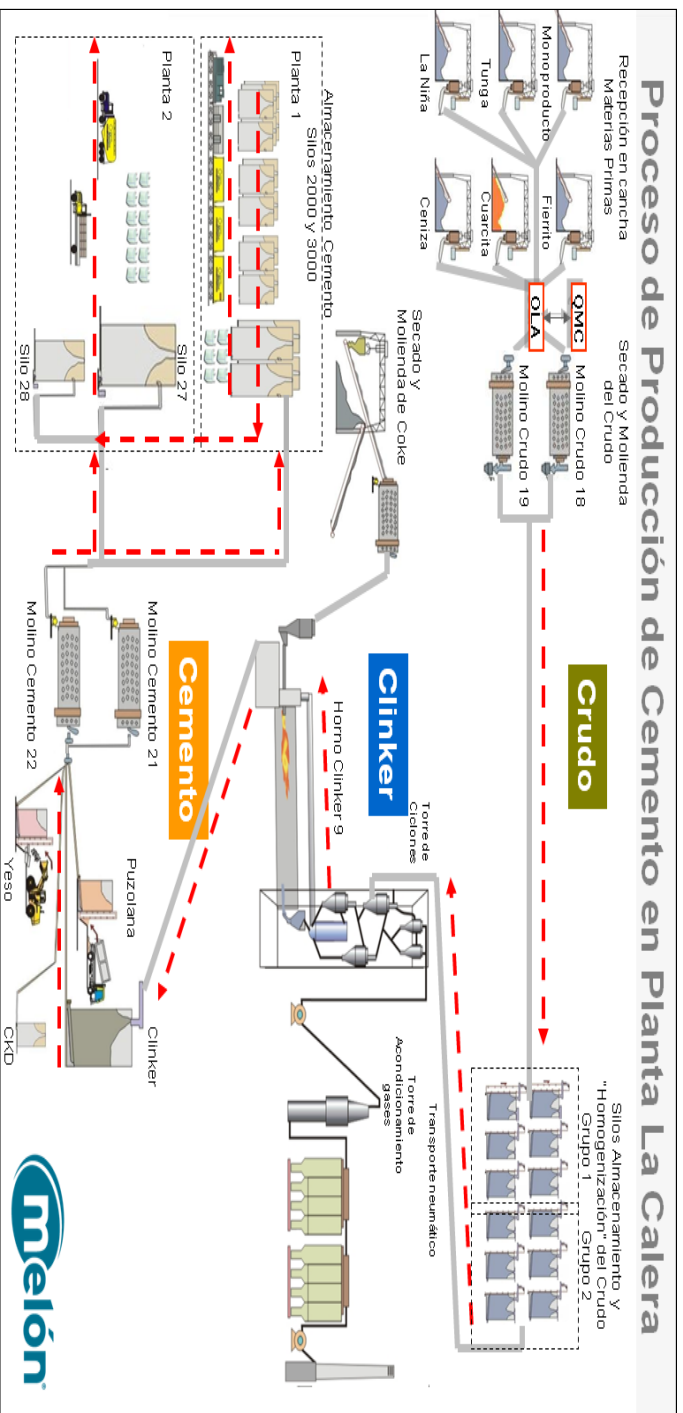


Figura 1.3- Proceso productivo
Fuente: Universidad Melón

Una vez obtenido, el clinker se mezcla con yeso, puzolana y adiciones, en molinos de bolas de dos cámaras y diafragma intermedio. En su interior los materiales se muelen, se mezclan y homogenizan. Los molinos de bolas son un gran tubo que rota sobre sí mismo y que contiene bolas de acero en su interior. Gracias a la rotación del molino, las bolas colisionan entre sí, triturando el clinker y las adiciones hasta lograr un polvo fino y homogéneo: El cemento.

Por último, el cemento se almacena en silos, separado según su tipo, antes de ser envasado en sacos de papel de 42.5 kg, en Big Bag, que es un envasado especial en canastas de 1.5 toneladas y camiones a granel.

1.2.2 Indicadores del proceso

Los indicadores del proceso, son una medida del nivel de desempeño del proceso las cuales nos permiten advertir anomalías en el proceso. [Vidal15]

1.2.2.1 Incidentes

Planta Melón La Calera considera un incidente cuando un conjunto de equipos detiene su línea productiva independiente de la causa de esta detención, esta información es recopilada por cada supervisor de turno de planta Melón La Calera en su reporte diario de novedades enviado vía correo electrónico al Jefe de Producción quien consolida los datos y genera un reporte mensual. [Lopez15]

En la tabla 1.1 se muestran el número de incidentes en cada mes, asociados a los principales equipos involucrados en el proceso, Molino 18 y Molino 19 son equipos complementarios que muelen las materias primas que son entregadas al horno el cual entrega el clinker al Molino 21 y Molino 22 los cuales puede funcionar uno u otro para producir cemento. El suministro del combustible principal, Petcoke, se considera como un proceso englobado dentro del equipo horno, el suministro de neumáticos y C.A.S. se individualiza como un reemplazo energético asociado a la disminución de costos.

Tabla 1.1 - Incidentes en equipos principales del proceso

EQUIPO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	2015
HORNO 9	6	14	4	7	5	15	2	10	1	8	1		73
MOLINO 18	11	4	3	6	6	5	9	10	8	9	1		72
MOLINO 19	11	10	2	9	2	4	5	7	5	9	0		64
NEUMÁTICOS	0	1	0	3	0	0	3	1	2	2	0		12
CAS	7	8	4	10	10	11	7	10	6	6	5		84
MOLINO 21	7	9	5	7	10	8	11	5	4	2	8		76
MOLINO 22	4	6	7	3	6	15	8	6	7	9	2		73

Fuente: Reporte mensual de indicadores Melón S.A.

1.2.2.2 Confiabilidad

Planta Melón La Calera considera la confiabilidad como “[Tiempo total periodo – (Tiempo de falla mecánica + Tiempo de falla eléctrica + Tiempo de falla instrumentación)] / Tiempo Total periodo”[Vidal15], en el tiempo total del periodo el equipo puede estar detenido pero disponible para su uso. En la tabla 1.2 podemos observar que el sistema de C.A.S. ha tenido una disponibilidad de uso del 88,22%.

Tabla 1.2 - Confiabilidad de equipos principales del proceso

EQUIPO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	2015
HORNO 9	68.15%	92.70%	94.79%	94.68%	90.93%	90.38%	98.61%	96.41%	99.95%	79.71%	96.83%		91.19%
MOLINO 18	91.27%	91.17%	95.63%	89.34%	96.66%	97.63%	88.29%	96.41%	86.91%	92.34%	99.80%		94.03%
MOLINO 19	91.75%	92.69%	99.88%	98.89%	99.69%	97.51%	96.58%	97.33%	97.08%	92.34%	100.00%		96.68%
NEUMÁTICOS	100.00%	99.82%	100.00%	98.95%	100.00%	100.00%	94.40%	99.81%	99.51%	98.75%	100.00%		99.34%
CAS	98.41%	93.78%	95.81%	59.77%	97.39%	84.21%	84.69%	86.79%	93.09%	96.74%	91.90%		88.22%
MOLINO 21	81.08%	94.44%	87.70%	90.07%	96.35%	84.47%	85.87%	88.35%	88.38%	50.47%	94.61%		84.25%
MOLINO 22	92.21%	79.50%	88.42%	95.51%	96.81%	86.39%	92.73%	94.45%	93.17%	93.93%	98.24%		91.75%

Fuente: Reporte mensual de indicadores Melón S.A.

1.2.2.3 Factor de uso

Planta Melón La Calera considera el factor de uso como “(Tiempo de uso del equipo / Tiempo disponible del equipo)”[Vidal15], indicándonos del tiempo disponible cuando tiempo el equipo ha estado en operación.

En la tabla 1.3 se observa el factor de uso de cada grupo de equipos, en los casos de los Molino 18 y Molino 19 son complementarios, al igual que Molino 21 y Molino 22, por lo cual es normal que tengan capacidad inutilizada. Lo que se advierte es el bajo factor de uso del combustible C.A.S. el cual cuenta con un buen índice de confiabilidad (tabla 1.2) y su uso produce una disminución en los costos del combustible suministrado al proceso por su menor costo frente a Petcoke y neumáticos.

Tabla 1.3 - Factor de uso en los equipos principales del proceso

EQUIPO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	2015
HORNO 9	95.32%	92.60%	94.79%	94.68%	90.93%	90.38%	97.34%	95.57%	96.62%	94.42%	96.83%		94.50%
MOLINO 18	57.20%	79.20%	84.02%	86.80%	86.18%	82.31%	47.27%	87.72%	78.27%	74.37%	75.11%		76.22%
MOLINO 19	57.33%	80.52%	87.76%	86.28%	88.75%	83.48%	43.13%	88.50%	88.74%	73.97%	79.69%		78.01%
NEUMÁTICOS	92.38%	89.23%	75.92%	74.78%	89.34%	64.55%	88.31%	76.18%	88.20%	79.73%	84.57%		81.37%
CAS	41.97%	49.83%	44.40%	43.22%	43.20%	41.08%	35.79%	42.68%	45.28%	43.20%	41.33%		42.91%
MOLINO 21	72.37%	90.71%	80.59%	66.97%	78.41%	72.17%	39.77%	68.88%	57.81%	47.01%	46.48%		65.56%
MOLINO 22	69.25%	63.61%	53.77%	73.57%	80.41%	66.23%	77.85%	69.04%	71.59%	81.18%	93.72%		72.75%

Fuente: Reporte mensual de indicadores Melón S.A.

1.2.3 Combustibles utilizados en el proceso de producción de clinker.

En el proceso de producción de clinker se queman cuatro tipos de combustibles, los cuales entregan la energía necesaria para que el clinker salga de su proceso con la calidad y componentes correspondientes que determinan su correcta funcionalidad. Estos combustibles son: Petcoke o coque de petróleo, neumáticos, combustible líquido Alternativo (C.A.L) o Recycled Liquid Fuel Combustible Alternativo Sólido (C.A.S).

El proceso de producción de clinker en Melón S.A fue autorizado en el marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental según consta en las Resoluciones Exentas N° 19/1999 del 18 de Enero de 1999, N° 756/2001 del 16 de Octubre del 2001 y N° 121/2003 del 13 de Octubre del 2003.

1.2.3.1 Petcoke

El Petcoke es un sólido negro o gris oscuro que se produce por la descomposición de las fracciones pesadas del petróleo y posterior polimerización de hidrocarburos líquidos que se derivan de la destilación del petróleo, a través de un proceso conocido como coquización retardada. Las propiedades físico-químicas de esta sustancia dependen de la composición de los elementos de origen, las variables involucradas en el proceso y la naturaleza del mismo. Es utilizado en el proceso de fabricación de clinker como combustible primario.[Universidad Melón15]

1.2.3.2 Neumáticos

Los neumáticos están compuestos principalmente por caucho, textil y metales. Llegan como resultado del fin de su vida útil en vehículos menores del parque automotriz chileno y en algunas ocasiones partidas de fabricación defectuosa. [Universidad Melón15]

1.2.3.3 C.A.L (Combustible Líquido Alternativo)

El combustible líquido alternativo de sus siglas en inglés RLF (Recycled Liquid Fuel), posee las características ideales para la sustitución de un combustible fósil en el horno 9 de clinker. Está compuesto por la mezcla de diversos líquidos residuales, como aceites usados, barnices, disolventes y diversos aceites residuales que haya en el mercado. Cabe destacar que este combustible requiere de diferentes técnicas de Blending (pre tratamiento previo adecuado de estas sustancias), con el fin de que esté homogeneizado asegurando una correcta combustión en el interior del horno. [Universidad Melón15]



Figura 1.4 - Estanques con C.A.L.
Fuente: Visita a planta Melón La Calera

1.2.3.4 CAS (Combustible Alternativo Sólido)

Los combustibles alternativos sólidos utilizados por Melón S.A en el proceso de producción de clinker, están conformados por una mezcla de componentes como aserrín mezclado con solventes, material de descarte de: empresas alimentarias, fármacos vencidos, entre otros. Estos desechos son abastecidos por la empresa Coactiva, la cual suministra este combustible a través de bateas las cuales son elevadas a través de capachos hasta el quemador que se encuentra en la torre de ciclones (precalcinador). Estos desechos son ingresados al sistema vía dosificación de manera que no produzcan efectos secundarios al sistema, como un aumento en las emisiones de gases hacia el exterior o aumento en el nivel de cloro del sistema. [Universidad Melón15]



Figura 1.5- Batea con combustible alternativo solido
Fuente: Visita a planta Melón La Calera

1.3 Descripción del proceso de abastecimiento de combustible alternativo solido C.A.S. al proceso.

En la actualidad, el abastecimiento se realiza generando solicitudes de CAS, al existir la disponibilidad de los proveedores, se realiza el despacho a la planta el Melón de la ciudad de la Calera.

El combustible alternativo sólido ingresa a la planta a través de camiones que cumplen con la norma Chilena NCh 2.190 para el traslado de material peligroso. Estos residuos son abastecidos por la empresa Coactiva y transportados por Riltec. El cual, a través de bateas acondicionadas, entrega estos residuos a la planta.

La alimentación al sistema depende principalmente de la tarea a la cual está sometido el horno.

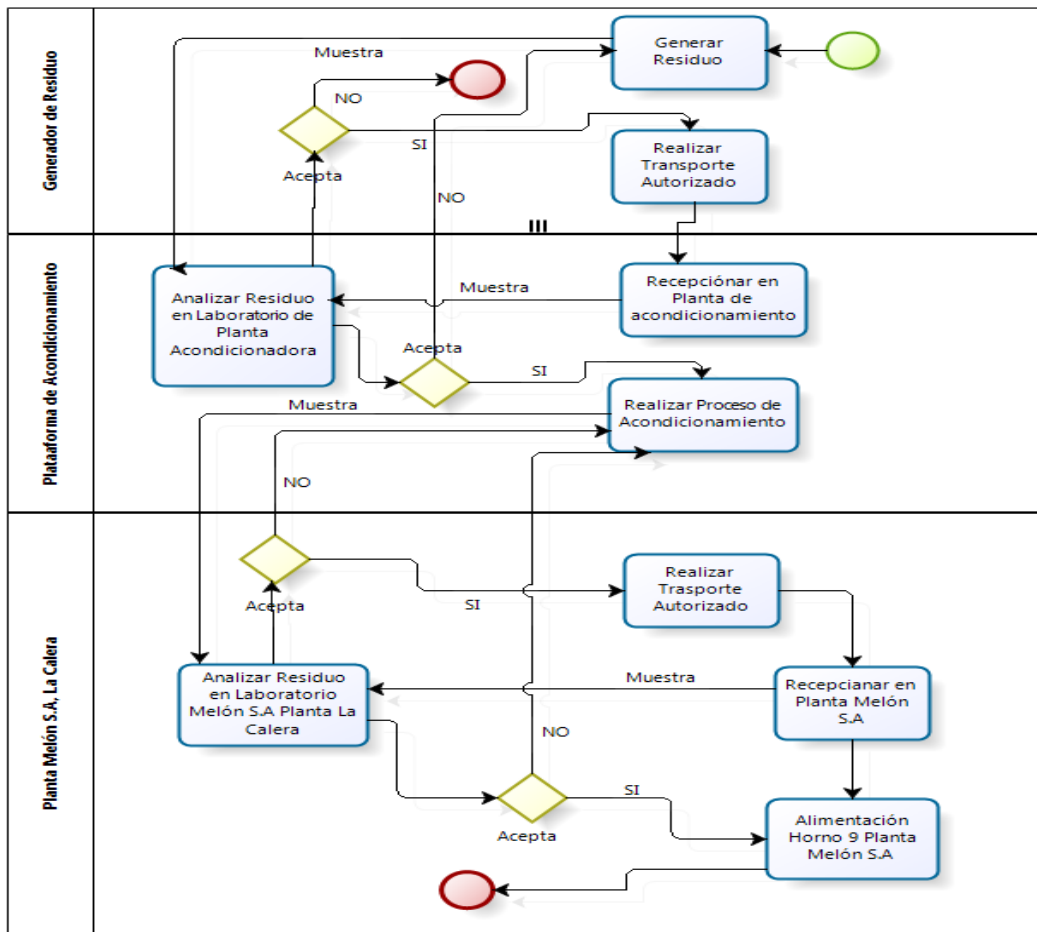


Figura 1.6 - Diagrama de flujo proceso de abastecimiento y alimentación con C.A.S

Fuente: [Lopez15]

1.3.1 Tasa de reemplazo CAS.

Para producir 1 tonelada de clinker es necesario 910.000 Kcal, la tabla 1.4 nos muestra la producción de los últimos 2 años y el porcentaje de reemplazo de CAS en la matriz energética. La producción promedio mensual es de 67.649 toneladas, lo que nos indica que en promedio necesitaríamos alrededor de 61.560.313.043 Kcal mensuales para satisfacer ese nivel de producción, actualmente de esa cifra en promedio solo se está reemplazando el 1.27% con CAS, siendo que de acuerdo a la Evaluación de Impacto Ambiental Resoluciones Exentas N° 19/1999 del 18 de Enero de 1999, N° 756/2001 del 16 de Octubre del 2001 y N° 121/2003 del 13 de Octubre del 2003 se podría reemplazar hasta el 5%.

Tabla 1.4 - Tasa de reemplazo CAS

Mes	Año	Producción promedio (t/h)	Clinker producido en el mes (t)	Energía Necesaria (Kcal)	Reemplazo real CAS (Kcal)	Reemplazo real CAS	CAS teórico máximo suministrable (Kcal)
Enero	2014	97	69.840	63.554.400.000	851.628.960	1,34%	3.177.720.000
Febrero	2014	96	69.120	62.899.200.000	591.973.319	0,94%	3.144.960.000
Marzo	2014	95	68.400	62.244.000.000	834.069.600	1,34%	3.112.200.000
Abril	2014	97	69.840	63.554.400.000	1.175.756.400	1,85%	3.177.720.000
Mayo	2014	95	68.400	62.244.000.000	1.027.026.000	1,65%	3.112.200.000
Junio	2014	107	77.040	70.106.400.000	735.406.090	1,05%	3.505.320.000
Julio	2014	92	66.240	60.278.400.000	1.127.206.080	1,87%	3.013.920.000
Agosto	2014	101	72.720	66.175.200.000	655.243.036	0,99%	3.308.760.000
Septiembre	2014	85	61.200	55.692.000.000	464.084.985	0,83%	2.784.600.000
Octubre	2014	103	74.160	67.485.600.000	681.450.188	1,01%	3.374.280.000
Noviembre	2014	38	27.360	24.897.600.000	338.607.360	1,36%	1.244.880.000
Diciembre	2014	95	68.400	62.244.000.000	1.089.270.000	1,75%	3.112.200.000
Enero	2015	90	64.800	58.968.000.000	1.102.701.600	1,87%	2.948.400.000
Febrero	2015	104	74.880	68.140.800.000	919.900.800	1,35%	3.407.040.000
Marzo	2015	91	65.520	59.623.200.000	531.915.262	0,89%	2.981.160.000
Abril	2015	89	64.080	58.312.800.000	933.004.800	1,60%	2.915.640.000
Mayo	2015	102	73.440	66.830.400.000	668.282.379	1,00%	3.341.520.000
Junio	2015	97	69.840	63.554.400.000	775.363.680	1,22%	3.177.720.000
Julio	2015	94	67.680	61.588.800.000	769.860.000	1,25%	3.079.440.000
Agosto	2015	103	74.160	67.485.600.000	749.090.160	1,11%	3.374.280.000
Septiembre	2015	92	66.240	60.278.400.000	543.669.940	0,90%	3.013.920.000
Octubre	2015	101	72.720	66.175.200.000	655.243.036	0,99%	3.308.760.000
Noviembre	2015	97	69.840	63.554.400.000	711.809.280	1,12%	3.177.720.000

Fuente: Elaboración propia desarrollada en base a los reportes históricos de producción de clinker de Melón S.A.

1.3.2 Aumento en costos por uso de combustible fósil y no mezcla CAS.

El costo mayor que incurre Melón S.A en todos sus procesos es en la energía, no tan solo en el consumo de energía eléctrica, sino que también en los combustibles utilizados dentro del proceso de calcinación para la formación de clinker. [Rey15]

Los costos asociados a la matriz energética utilizada en el proceso son:

Tabla 1.5 -Costos por tonelada de Combustibles.

Combustible	Costo unitario (pesos/t)
Petcoke	51.023
C.A.L	18.563
Neumáticos	7.815
C.A.S.	1.731

Fuente: Universidad Melón.

El costo de fabricación o producción para cualquier empresa es fundamental mantenerlo lo más bajo posible, tal que exista una estrategia competitiva y así se pueda obtener beneficios tanto económicos como operacionales. Debido a esto, es que Melón S.A pone énfasis en el costo que tienen sus combustibles y el que tienen los posibles combustibles de reemplazo, utilizando como estrategia comercial la necesidad que tienen empresas de deshacerse de los residuos de sus procesos y obtener combustibles de bajo costo que son utilizados como combustible, y en el caso que no sea así obtener combustibles a un costo bajo, siempre tomando en cuenta si será o no beneficioso para Melón S.A.

1.3.3 Normativa ambiental suministro de C.A.S. a planta

La empresa Coactiva suministra CAS a requerimiento de Melón S.A., las concentraciones máximas de residuos peligrosos en el CAS están definidas en el Decreto Supremo N°594 de la República de Chile en detalle en Tabla 1.6, se verifica el cumplimiento de la norma mediante una muestra extraída a cada camión la cual es controlada en laboratorio Melón La Calera.

Tabla 1.6 - Valores límites de ppm.

Parámetro	Concentración máxima permitida (ppm)
Manganeso(Mn)	50
Mercurio(Hg)	1.000
Níquel (Ni)	10
Plomo (Pb)	1.000
Selenio(Se)	1.000
Talio(Tl)	50
Telurio (Te)	20
Vanadio(Va)	50
Manganeso(Mn)	1.000
Antimonio (Sb)	500
Arsénico (As)	200
Cadmio (Cd)	250
Cobalto(Co)	200
Cromo(Cr)	2.000

Fuente: Decreto Supremo N°594.

1.4 Problema

El horno originalmente está diseñado para ser alimentado por Petcoke posteriormente con el objetivo de reducción de costos se han agregado combustibles tres líneas independientes de combustibles alternativos los cuales son combustible alternativo Solido (C.A.S) , combustible alternativo líquido y neumáticos.

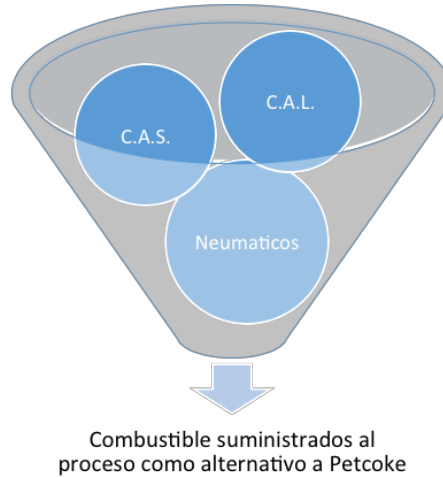


Figura 1.7- Combustible complementarios al Petcoke
Fuente: Elaboración propia

Cada uno de estos combustibles tiene un costo por tonelada puesta en planta, además cada combustible tiene un poder calorífico asociado por kilogramo, ambos datos se pueden observar en tabla 1.8.

Tabla 1.7 -Costos por tonelada de Combustibles.

Combustible	Costo unitario (pesos/t)	Kcal/Kg
Petcoke	51.023	8.612
C.A.L	18.563	4.359
Neumáticos	7.815	7.815
C.A.S.	1.731	4.100

Fuente: Departamento de producción Melón S.A.

Finalmente podemos establecer el costo de cada Kcal suministrada al proceso según el tipo de combustible ocupado.

Tabla 1.8 - Costo Kcal según tipo de combustible.

Combustible	Kcal/kg	pesos/kg	Kcal/pesos
Petcoke	8.612	51,02	0,00592
CAL	4.359	18,56	0,00426
Neumático	7.815	3,40	0,00044
CAS	4.100	1,73	0,00042

Fuente: Departamento de producción Melón S.A.

En la tabla 1.10 se puede observar el consumo mensual de CAS en el proceso el cual en promedio es de un 1.27% existiendo la posibilidad teórica de aumentar hasta el 5%. Considerando que el CAS es el combustible de menor costo existente en la actual matriz energética, existe una oportunidad de mejora en el suministro de CAS al proceso de clinkerización, pudiendo llegar a disminuir el aporte de Petcoke mediante el reemplazo por CAS, con la consecuente reducción de costos. En la tabla se calcula el diferencial de Kcal que se podría llegar a reemplazar y cuál sería el costo de las toneladas de CAS necesarias para cumplir con el requerimiento, a su vez se calcula cuantas toneladas de Petcoke se deberían dejar de utilizar, tendiendo el aumento del costo de combustible CAS y el valor del combustible Petcoke que sería reemplazado, se puede calcular el ahorro potencial si se lograra subir de 1,27% de reemplazo de CAS en la matriz energética a 5% lograríamos un ahorro promedio mensual de 12.646.848 pesos. Lo anterior nos indica que tenemos un potencial ahorro anual de 151.762.176 pesos.

En la descripción del proceso observamos que del tiempo total en que el equipo está operativo es utilizado solamente en un 43% del tiempo (tabla 1.2) , eso sumado a que en promedio suministra un 1.27% de la Kcal necesarias del sistema con un tope del 5% evidencia la posibilidad de aumentar la tasa de uso.

De acuerdo a lo anterior el problema radicaría en *lainterrupción en el suministro de combustible sólido alternativo (CAS) en la alimentación del horno calcinador de Cementos Melón ubicado en planta La Calera*, debiendo ser reemplazado en su diferencia por combustibles fósiles, lo cual genera una serie de impactos que repercuten en un aumento en los costos de producción por cada tonelada de clinker elaborado.

Tabla 19 - Consumo actual de C.A.S

Mes	Año	Producción (t/h)	Ciliner producido en el mes (t)	Energía Necesaria (Kcal)	Reemplazo real CAS (Kcal)	Reemplazo real CAS	CAS teorico maximo sumnistrable (Kcal)	Delta potencial de reemplazo (Kcal)	CAS potencial de aumento (t)	Petroke potencial de reducir (t)	Potencial aumento (Pesos)	Potencial reducción (Pesos)	Petroke - Costo Cas (Pesos)
Enero	2014	97	69.840	63.554.400,000	851.628.960	1,34%	3.177.720,000	2.326.091.040	567	270	982.064	13.781.252	12.799.188
Febrero	2014	96	69.120	62.899.200,000	591.973.319	0,94%	3.144.960,000	2.552.986.681	623	296	1.077.859	15.125.527	14.047.669
Marzo	2014	95	68.400	62.244.000,000	834.069.600	1,34%	3.112.200,000	2.278.130.400	556	265	961.816	13.497.103	12.535.287
Abril	2014	97	69.840	63.554.400,000	1.175.756.400	1,85%	3.177.720,000	2.001.963.600	488	232	845.219	11.860.914	11.015.694
Mayo	2014	95	68.400	62.244.000,000	1.027.026.000	1,65%	3.112.200,000	2.085.174.000	509	242	880.350	12.353.905	11.473.555
Junio	2014	107	77.040	70.106.400,000	735.406.090	1,05%	3.505.320,000	2.769.913.910	676	322	1.169.444	16.410.743	15.241.299
Julio	2014	92	66.240	60.278.400,000	1.127.206.080	1,87%	3.013.920,000	1.886.713.920	460	219	796.561	11.178.101	10.381.539
Agosto	2014	101	72.720	66.175.200,000	655.243.036	0,99%	3.308.760,000	2.653.516.964	647	308	1.120.302	15.721.133	14.600.831
Septiembre	2014	85	61.200	55.692.000,000	464.084.985	0,83%	2.784.600,000	2.320.515.015	566	269	979.710	13.748.216	12.768.506
Octubre	2014	103	74.160	67.485.600,000	681.450.188	1,01%	3.574.280,000	2.692.829.812	657	313	1.136.900	15.954.047	14.817.148
Noviembre	2014	38	27.360	24.897.600,000	338.607.360	1,36%	1.244.880,000	906.272.640	221	105	382.624	5.369.339	4.986.715
Diciembre	2014	95	68.400	62.244.000,000	1.089.270.000	1,75%	3.112.200,000	2.022.990.000	493	235	854.071	11.985.132	11.131.061
Enero	2015	90	64.800	58.968.000,000	1.102.701.600	1,87%	2.948.400,000	1.845.698.400	450	214	779.245	10.935.099	10.155.854
Febrero	2015	104	74.880	68.140.800,000	919.900.800	1,35%	3.407.040,000	2.487.139.200	607	289	1.050.058	14.735.404	13.685.346
Marzo	2015	91	65.520	59.623.200,000	531.915.262	0,89%	2.981.160,000	2.449.244.738	597	284	1.034.059	14.510.893	13.476.834
Abril	2015	89	64.080	58.312.800,000	933.004.800	1,60%	2.915.640,000	1.982.635.200	484	230	837.059	11.746.400	10.909.341
Mayo	2015	102	73.440	66.830.400,000	668.282.379	1,00%	3.341.520,000	2.673.237.621	652	310	1.128.628	15.837.971	14.709.343
Junio	2015	97	69.840	63.554.400,000	775.363.680	1,22%	3.177.720,000	2.402.356.320	586	279	1.014.263	14.233.096	13.218.833
Julio	2015	94	67.680	61.588.800,000	769.860.000	1,25%	3.079.440,000	2.309.580.000	563	268	975.093	13.683.430	12.708.337
Agosto	2015	103	74.160	67.485.600,000	749.090.160	1,11%	3.374.280,000	2.625.189.840	640	305	1.108.342	15.553.305	14.444.962
Septiembre	2015	92	66.240	60.278.400,000	543.669.940	0,90%	3.013.920,000	2.470.250.060	603	287	1.042.928	14.635.342	13.592.415
Octubre	2015	101	72.720	66.175.200,000	655.243.036	0,99%	3.308.760,000	2.653.516.964	647	308	1.120.302	15.721.133	14.600.831
Noviembre	2015	97	69.840	63.554.400,000	711.809.280	1,12%	3.177.720,000	2.465.910.720	601	286	1.041.095	14.609.633	13.568.538
Sumatoria			1.555.920								22.317.993	313.187.119	290.869.126
Promedio		94	67.649	61.560.313,043	779.676.650	1,27%	3.078.015,652	2.298.339.002	561	267	970.348	13.616.831	24.239.094

Fuente: Elaboración propia desarrollada en base a los datos obtenidos del departamento de producción de Melón S.A.

1.5 Causas del Problema

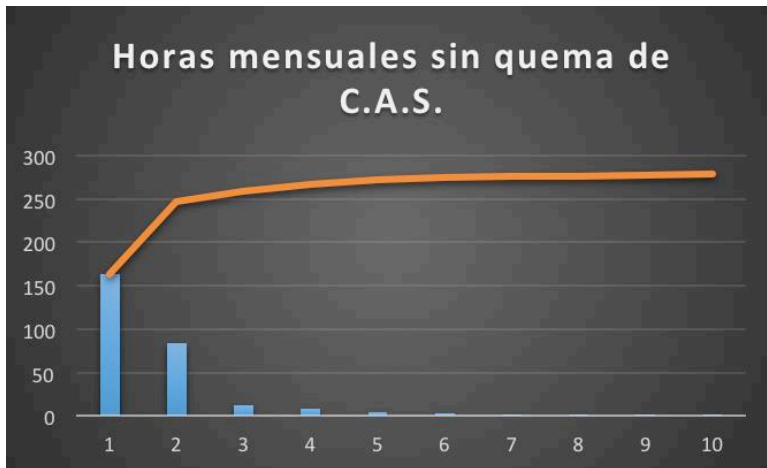
Existen datos sobre la disponibilidad mensual del sistema de suministro de C.A.S. pero no existe el registro de las causas que generan que el sistema no esté en funcionamiento. Por lo cual se capacito al personal que opera el equipo para que durante un mes (Agosto 2015) registrara en un planilla el tiempo y causa de que el sistema se encontrara detenido.

Tabla 1.10 - Fallas en abastecimiento y alimentación con C.A.S

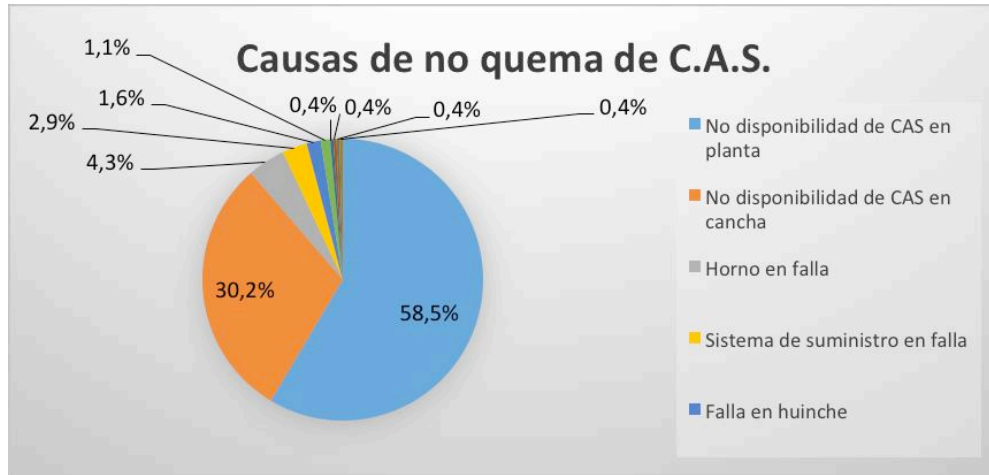
N°	Descripción	Horas no utilizadas	Acum.	% Total	% Total Acum.
1	No disponibilidad de CAS en planta	163	163	59	59
2	No disponibilidad de CAS en cancha	84	247	30,2	88,7
3	Sistema de suministro en falla	8	255	2,9	91,6
4	Falla en huinche	4,5	259	1,6	93,2
5	Personal no disponible	3	262	1,1	94,3
6	Minicargador no disponible	1	263	0,4	94,7
7	Tractor no disponible	1	264	0,4	95,1
8	Operador horno solicita suspender quema	1	265	0,4	95,5

Fuente: Elaboración propia mediante toma de datos en terreno.

Grafico 1.1 - Fallas en abastecimiento y alimentación con C.A.S



Fuente: Elaboración propia en base a toma de datos en terreno.

Gráfico 1.2 - Causas de no quema de C.A.S

Fuente: Elaboración propia en base a toma de datos en terreno.

Se puede observar que 88,7% de las causas de no quema de C.A.S. corresponden a problemas relacionados con la disponibilidad del combustible en planta o en la cancha contigua al sistema que lo debe suministrar.

Para complementar los datos obtenidos a partir del reporte diario de planta se genera una encuesta para cada jefe de turno, consistente en las posibles causas de la baja tasa de reemplazo con combustible CAS, definiendo las opciones como: muy en desacuerdo (-2), en desacuerdo (-1), Ni de acuerdo ni en desacuerdo (0), de acuerdo (1) y muy de acuerdo (2). Observando los resultados en la tabla 1.12.

Tabla 1.11 - Encuesta

Cargo	JPT1	JPT2	JP3	JPT4	JO	Promedio
Nombre	RO	AV	JD	LN	RA	
Sin Stock de CAS	2	1	1	2	2	1,6
Tamaño insuficiente de cancha	1	1	1	1	1	1
Inasistencia operadores	1	1	1	1	2	1,2
Mala Operación	-2	-1	-1	-1	-2	-1,4
Falla en equipo suministro CAS	1	1	1	1	1	1
Planificación deficiente	2	2	2	2	2	2
Ausencia de procedimiento	-1	1	-2	1	0	-0,2
Rechazo incumplimiento norma	-2	-2	-2	-2	1	-1,4

Fuente: Elaboración propia en base a encuestas a Jefes de Turno.

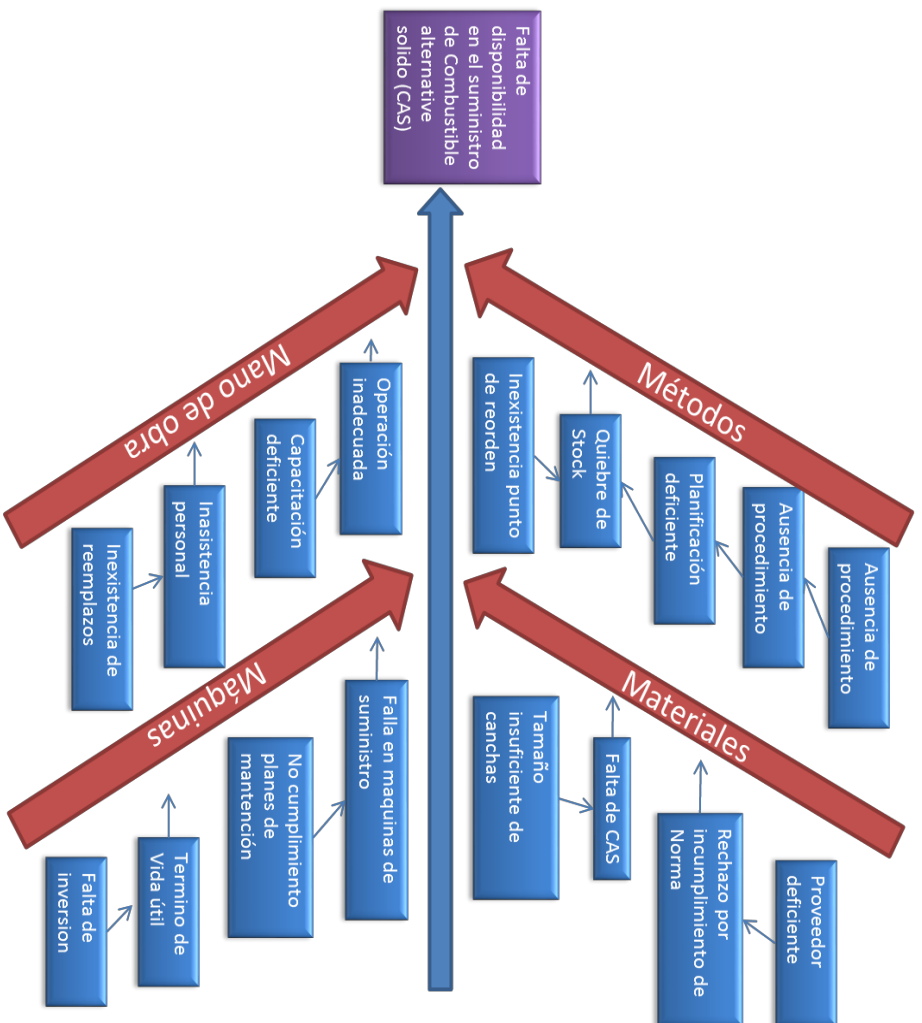


Figura 1.8—Diagrama de causa-efecto
Fuente: Elaboración propia

1.5.1 Causas, problema e impacto

Las causas principales están asociadas a un gestión de stock deficiente, generando el problema reiterativo de quiebres de stock recurrentes lo que impacta principalmente en el aumento de los costos en la producción de cemento.

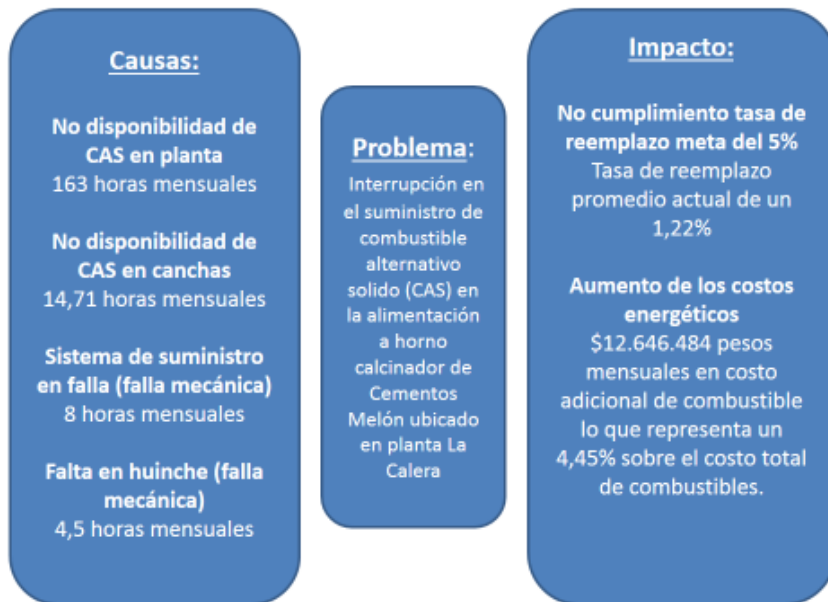


Figura 1.9 - Esquema causas e impactos.

Fuente: Elaboración propia

1.5.1.1 Causas

Las causas son los motivos por los cuales no se puede suministrar CAS al proceso, principalmente se establecen en tres áreas: fallas de equipo, planificación y posibilidad de mantener un stock. [Lopez15]

Fallas en el equipo

Esta causa se refiere al evento en que el equipo de suministro de CAS tenga una falla de origen mecánico, eléctrico o de instrumentación, esto esta ponderado en el índice de confiabilidad del equipo el que actualmente es de un 88.22% considerado como $[\text{Tiempo total periodo} - (\text{Tiempo de falla mecánica} + \text{Tiempo de falla eléctrica} + \text{Tiempo de falla instrumentación})] / \text{Tiempo Total periodo}$. [Melón15]

Falla en Planificación

Esta causa está asociada a que existe un sistema de reorden basado en el nivel de stock en planta, un proveedor con stock ilimitado para el nivel de consumo existente, con un lead time conocido, el cual nunca ha tenido adelantos ni retrasos, además de contar con los planes de producción y por tanto consumo de combustible proyectado y aun así existen días sin CAS en planta. [Allendes15]

Posibilidad de mantener un stock

Esta causa está asociada a la posibilidad de mantener una cantidad de stock en planta. Actualmente se pueden mantener 4 bateas en cancha principal contigua al equipo y 2 bateas en cancha auxiliar distantes del equipo. Existen eventos donde no hay stock en una o ambas canchas produciendo el quiebre durante el proceso continuo. [Allendes15]

1.5.1.2 Impactos

Los impactos están directamente asociados a que el quiebre en el suministro de CAS implica el reemplazo por un combustible de mayor valor en esta caso Petcoke, en la tabla 1.10, podemos observar el costo mensual de el no uso de CAS en su máxima capacidad.

1.6 Metodologías

Objeto de seleccionar una metodología correcta para la solución al problema planteado en el presente trabajo, a continuación se contextualizará cómo la industria del cemento a enfrentado este tipo de condiciones basadas en el objetivo único de diseñar procesos que permitan y/o aseguren un flujo constante de combustibles alternativos con el fin de optimizar y diversificar las matrices energéticas asociadas a sus procesos productivos.

Ante el problema descrito y con el fin de dar con una la solución eficiente, se debe en primer lugar verificar las mejores prácticas que se han desarrollado en una industria de crecimiento constante como lo es la industria del cemento.

Es por este motivo que a modo de acercamiento a la descripción y selección de la metodología correcta para la solución de este problema en particular se debe revisar en qué están los dos grupos cementeros más grandes del mundo, es decir, CEMEX y LAFARGEHOLCIM.

En función de lo expuesto y considerando los datos de la FICEM (Federación Iberoamericana del Cemento) se debe tomar en cuenta que la industria cementera global es la responsable de aproximadamente el 5% de las emisiones de CO₂ producidas por el hombre y es por este motivo que los planes de acción comunes están orientados a los siguientes objetivos:

- Incrementar la eficiencia energética de las plantas de fabricación (Kw/Ton)
- Incrementar la matriz de materias primas para la fabricación de cemento (reducción del factor Ck / Slag).
- Uso de combustibles alternativos (reemplazos constantes y efectivos de Kcal en la matriz de combustibles).
- Reducción de la brecha de transporte de materias primas y producto terminado (Km/Ton)

1.6.1 Soluciones en la industria.

Según datos obtenidos del informe estadístico publicado en Agosto del año 2013 por la Federación Interamericana del cemento, FICEM, se ha decidido evaluar dos soluciones aplicadas en la industria asociadas a los dos mayores conglomerados mundiales de producción de cemento. Ambos casos considerando capacidad de la industria, población y consumo per cápita de cemento tanto para Chile como para México. Lo anterior con el propósito de graficar de forma simple la industria para ambos casos y así contextualizar las acciones emprendidas por dos protagonistas de la misma orientadas a la optimización de sus procesos en donde la característica de la industria está basada en la relación de bajos márgenes y grandes volúmenes.

PANORAMA DE LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE CEMENTO PER CÁPITA EN 2012

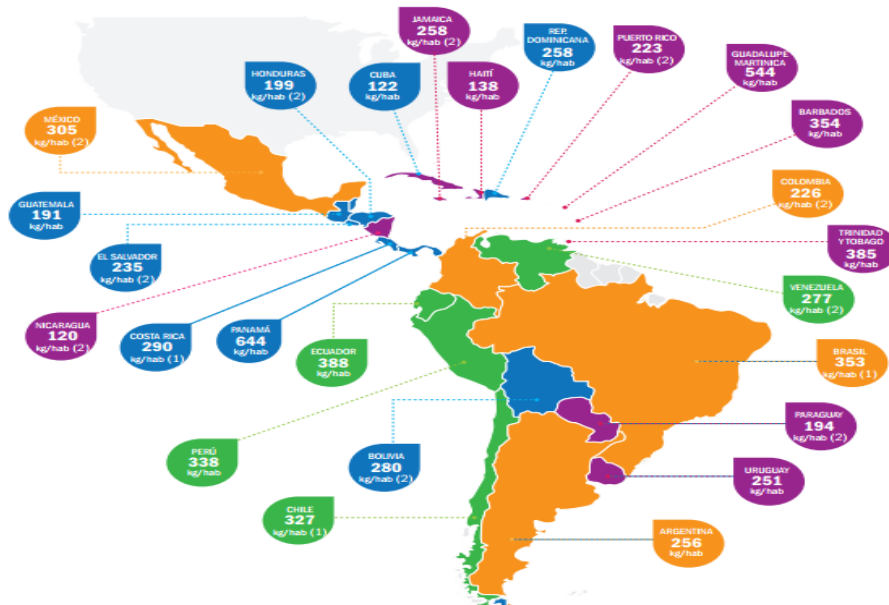


Figura 1.10 - Consumo per cápita

Fuente: Informe estadístico Agosto 2013 Federación Interamericana del cemento, FICEM.

El objetivo de graficar la situación antes descrita cumple el fin de, tal como se ha mencionado en líneas anteriores, contextualizar los casos en análisis para facilitar así la comprensión de la selección de la metodología a emplear.

1.6.1.1 Caso 1: CEMEX, Planta Tepeaca. México

Para entender de forma clara los objetivos de esta industria, se debe tener en consideración la relación de márgenes y volumen; que es la relación basal en la cual se sustenta todo proceso de optimización que se lleva a cabo en la industria del cemento.

En visita desarrollada en Agosto del año 2015 a la planta de TEPEACA de CEMEX, se puede constatar que el problema para este grupo no es resultado de algún tipo de ineficiencia en el ciclo de abastecimiento e inventario de los combustibles sólidos de sustitución, sino que a la disponibilidad de la línea de reemplazo energético, es decir, líneas de abastecimiento, coprocesamiento e incineración propiamente tal, producto de una mayor demanda originada por uno de los mercados más grandes de Latinoamérica que se encuentra en pleno crecimiento objeto de grandes inversiones en infraestructura, vialidad y construcción que están en desarrollo en este país.

La solución a su problema estuvo orientada a la optimización de sus métodos de mantenimiento preventivo, con el fin de bajar sus costos e incrementar la disponibilidad de sus líneas productivas. Para ello migraron sus sistemas de mantenimiento (preventivo, predictivo y sintomático) a un sistema integrado basado en la metodología RCM en donde la filosofía de mantenimiento se basa en la confiabilidad y disponibilidad de sus equipos. Como resultado de lo anterior, se obtuvieron resultados que afectaban directamente los KPI de la compañía ya que disminuyeron los tiempos de detención dedicados al mantenimiento preventivo con la consecuencia natural de una notoria disminución de sus costos en esta área y más aún se incrementó la disponibilidad de sus líneas productivas y por consiguiente el uso de combustibles sólidos de sustitución.

Lo anterior se encuentra cimentado sobre el contexto en el cual se desenvuelve la operación de la planta TEPEACA de CEMEX, ya que el mercado de los combustibles alternativos es acorde al tamaño de la industria cementera mexicana por lo tanto su problema de garantizar flujos continuos en el reemplazo energético se encuentra en la “ruta crítica” de obtener disponibilidades de sus equipos productivos cercanas al 100% y no el campo de la innovación para asegurar suministro; por lo tanto y analizando las variables que entregan la amplia gama de estrategias disponibles en la actualidad se decidió dar solución al problema por medio de la metodología ERCM ya que esta se concentra en la consecuencia de las fallas operacionales y de mantenimiento y por consiguiente en la disminución de las mismas; como además responde a una estrategia definida para las 15 plantas de cemento que CEMEX posee en México (a modo de información, sólo TEPEACA es capaz de satisfacer la demanda chilena) en donde los indicadores de mayor preponderancia para esta compañía están orientados a la baja constante de sus costos operacionales basados en una alta tasa de utilización de su capacidad productiva instalada.[Cemex15]

1.6.1.2 Caso 2: LAFARGEHOLCIM / POLPAICO, Tiltil, Chile.

En cambio para el caso de LAFARGEHOLCIM Chile, la variable a controlar se basó directamente en contar con un stock constante que garantizara el uso de este tipo de combustibles ya que la solución pasó por no contar con quiebres de stock. Lo anterior considerando que la demanda y mercado son claramente menores en comparación al caso anteriormente expuesto como además cuenta con líneas producción y coprocesamiento de residuos más pequeñas y alternativas (unificación de repuestos, representación nacional, independencia de condicionantes de proveedores mayores).

Mencionado lo anterior, se puede agregar que la solución para garantizar un consumo constante de combustibles sólidos de sustitución se basó en una innovación en el mercado propiamente tal del manejo y disposición de residuos, ya que obteniendo las autorizaciones sanitarias correspondientes, se decidió crear una empresa más para el grupo (COACTIVA) encargada de la captación, traslado y manejo de residuos de las industrias farmacéuticas, cosmética, pinturas y solventes objeto de ser sometidos a un tratamiento de impregnación y mezcla con fibras naturales e inertes para dar origen a un combustible sólido de sustitución coherente con las necesidades de su proceso. Esta empresa se emplaza a un costado del punto de consumo (Planta Industrial Tiltil de POLPAICO) en donde se habilitaron vías de tránsito interna con el fin de que esta nueva empresa fuera una extensión del departamento de producción interno de donde nacen los requerimientos de combustibles y materias primas necesarias para la fabricación del cemento.

Para llegar a esta solución y considerando el tamaño y las limitaciones del mercado del cemento en Chile, se debió llegar a una situación en donde se tuvo que optar por algún sistema que diera respuesta a cuatro interrogantes fundamentales como lo son: ¿de dónde se obtiene un suministro constante de combustibles alternativos?, ¿cómo se garantiza un consumo coherente de los mismos?, ¿cómo se integra en forma eficiente un nuevo combustible que cuenta con limitaciones en su ingreso a la matriz energética? Y por último ¿cómo modifica todo lo anterior el plan de producción?

Producto de las Normativa ambiental vigente en Chile, el problema no se debe enfocar en una disponibilidad independiente del 100% de la línea de coprocesamiento, ya que en la actualidad existen tasas máximas de reemplazo, sino que por el contrario se debe garantizar el suministro eficiente para el correcto reemplazo en la matriz energética de la planta cada vez que esta sea requerida. Para ello se decidió por el uso de la metodología de MRP (Materials Resource Planning) ya su única limitante radica en que no considera restricciones a la disponibilidad o capacidad de los recursos escasos, siendo para este caso una limitante de baja importancia considerando que es una empresa del mismo grupo la proveedora del nuevo combustible

Como se pudo apreciar en los dos casos mencionados en los párrafos anteriores, la solución para el problema para un correcto reemplazo energético se encuentra orientado en dos grandes escenarios que contienen las mayores dificultades: Disponibilidad de los equipos asociados a la línea de producción y procesos eficientes de abastecimiento e inventario de combustibles sólidos de sustitución.[Lafargeholcim15]

1.6.2 Metodologías Aplicables al caso.

A modo enunciativo y no taxativo, a continuación se presentan las metodologías aplicables a la solución, objeto de analizar cada una de ellas por medio de evaluaciones y/o ponderaciones según la naturaleza propia del problema que se requiere solucionar acorde al alcance del presente trabajo.

1.6.2.1 TPM.

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es una estrategia compuesta por una serie de actividades ordenadas que una vez implantadas ayudan a mejorar la competitividad de una organización industrial o de servicios. Se considera como estrategia, ya que ayuda a crear capacidades competitivas a través de la eliminación rigurosa y sistemática de las deficiencias de los sistemas operativos. El TPM permite diferenciar una organización en relación a su competencia debido al impacto en la reducción de los costes, mejora de los tiempos de respuesta, fiabilidad de suministros, el conocimiento que poseen las personas y la calidad de los productos y servicios finales. *“El TPM se debe considerar como una herramienta importante y una filosofía muy ventajosa a incorporar en la empresa, pero, no puede ni debe basarse todo un plan de mantenimiento en él.”* [Palacio13].

Para lograr la efectividad total del equipo, el TPM trabaja para eliminar las "seis grandes pérdidas" que son los obstáculos para la efectividad del equipo, los cuales son: Fallas de equipos, ajustes y puesta a punto, paros menores y tiempos ociosos, reducción de velocidad, defectos en proceso y reducción de rendimiento.

Tabla 1.12 -Beneficios y limitaciones TPM.

BENEFICIOS	LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Mejora la disponibilidad de los equipos. • Reduce la necesidad de capital. • Mejora la utilización de los activos y de total de la capacidad. • Asegura las interrupciones a cero y una alta confiabilidad de maquinaria y equipo. • Permite el planteamiento a corto plazo. • Previene las interrupciones del flujo. • Realza las habilidades del operador. • Mejora el aspecto del equipo y sus alrededores. • Mejora la capacidad productiva. • Disminuye los costos de operación. • Alarga la vida útil del equipo o máquina. • Mejora la gestión de inventarios. • Aumenta la capacidad y habilidad de la empresa para poder afrontar las necesidades de entrega y calidad de los clientes. • Aumenta el nivel de prevención de riesgos laborales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere un cambio de cultura general. • No puede ser impuesto, requiere del convencimiento por parte de todos los componentes de la organización de sus beneficios para todos. • La inversión en formación y cambios generales es costosa. • El proceso de implementación requiere de varios años.

Fuente: [Palacio13]

1.6.2.2 Árbol de fallas

Esta técnica consiste en un proceso deductivo, que permite determinar la expresión de sucesos complejos estudiados de las fallas básicas de los elementos que intervienen en él. De esta manera, se puede apreciar de forma cualitativa qué sucesos son menos probables, debido a que requieren la ocurrencia simultánea de numerosas causas.

El análisis de árbol de falla es uno de los métodos de más amplio uso en el análisis de confiabilidad. Es un procedimiento deductivo para determinar las diversas combinaciones de fallas a nivel componente que pueden desencadenar eventos no deseados especificados al inicio del análisis. También son usados para calcular la probabilidad de ocurrencia del evento, a partir, de la probabilidad de ocurrencia de las fallas de los componentes.

El análisis del árbol de falla es un proceso lógico y estructurado que puede ayudar a identificar las causas potenciales de fracaso del sistema realmente antes que los fracasos sucedan. Los beneficios y limitaciones del Árbol de fallas más destacadas se muestran en la tabla 1.13

Tabla 1.13 -Beneficios y limitaciones Árbol de fallas.

BENEFICIOS	LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Identifica la posible fiabilidad del sistema o problemas de seguridad. • Identifica componentes que pueden necesitar pruebas o un riguroso control de calidad. • Identifica fallas del equipo desde su raíz. 	<ul style="list-style-type: none"> • El evento no deseado que se está evaluando, tiene que ser previsto.

Fuente: [Ramon90]

1.6.2.3 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es una metodología semicuantitativa para dimensionar el riesgo que permite establecer prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos de acuerdo a una figura de mérito llamada criticidad que es proporcional al riesgo. La criticidad se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$CRITICIDAD = Frecuencia\ de\ falla \times Impacto.$$

La cual es proporcional a la siguiente ecuación:

$$RIESGO = Probabilidad\ de\ falla \times Consecuencia.$$

El análisis de criticidad es una técnica de fácil manejo y comprensión en el cual se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus impactos o consecuencias. [Crespo07]

Un Análisis de Criticidad se debe aplicar cuando estén presentes los siguientes requerimientos:

- Establecer líneas de acciones prioritarias en sistemas complejos.
- Solventar problemas con pocos recursos
- Determinar el impacto global de cada uno de los sistemas, equipos y componentes presentes en el negocio.
- Aplicar las metodologías de Confiabilidad Operacional.
- Crear valor.

Los beneficios y limitaciones del Análisis de Criticidad más destacadas se muestran en la tabla 1.14

Tabla 1.14 -Beneficios y limitaciones Análisis de criticidad.

BENEFICIOS	LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Permite dar relevancias a las consecuencias ambientales y de seguridad. • Puede jerarquizar identificando los equipos más importantes. • Es de fácil entendimiento. • Puede ser utilizada en cualquier organización. 	<ul style="list-style-type: none"> • No separa el impacto ambiental y de seguridad en su toma de decisión.

Fuente: [Crespo07].

1.6.2.4 FMECA

El FMECA es un procedimiento empleado como una técnica para evaluar la confiabilidad y para determinar los efectos de las fallas de los equipos y sistemas, en el éxito de la misión y la seguridad del personal o de los equipos.[Denney05].

El análisis se lleva a cabo con éxito preferiblemente en el inicio del ciclo de desarrollo, de manera que la eliminación o mitigación del modo de fallo sea lo más rentable posible.

El FMECA tiene que ver generalmente con modos de fallo individual y el efecto de estos modos de fallo en el sistema. Cada modo de fallo se trata de manera independiente. Por tanto, el procedimiento es inadecuado para consideración de fallos dependientes o resultantes de una secuencia de eventos. Esta técnica del análisis preventivo permite hacer lo siguiente:

- Búsqueda de los malfuncionamientos del producto causados por su diseño y definición.
- Evaluar los efectos potenciales sobre el cliente.
- Identificar las causas posibles conectadas con el diseño y la definición del producto.
- Búsqueda de las acciones preventivas apropiadas.

Los beneficios y limitaciones del FMECA indicados en la tabla 1.15

Tabla 1.15 -Beneficios y limitaciones FEMCA.

BENEFICIOS	LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Se proporciona un método documentado para la selección de un diseño con alta probabilidad de operación y de seguridad exitoso. • Mejora la imagen de la empresa y la competitividad. • Identifica temprano y elimina los posibles modos de fallo. • Minimiza los cambios de última hora y el costo asociado. • Reduce la posibilidad de repetir fallo en el futuro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sólo puede identificar los principales modos de fallo en un sistema. • No es capaz de descubrir modos de fallo complejos que implican múltiples fallos dentro de un subsistema.

Fuente: [Denney05].

1.6.2.5. RCM

El RCM, es un proceso utilizado para decidir lo que se debe hacer y asegurarse de que cualquier activo, proceso o sistema continúe haciendo lo que sus usuarios desea que se realice. Define lo que la empresa desea en términos de consecuencias ambientales, seguridad, operacional y no operacional, por lo que busca identificar una apropiada política del manejo de fallas para tratar cada modo de falla a la luz de sus consecuencias y características técnicas. [Rosaler02]. Las opciones de la política del manejo de fallas incluyen:

- Mantenimiento predictivo.
- Mantenimiento preventivo.
- Cambio del diseño o configuración del sistema.
- Cambio de la forma en que es operado el sistema.
- Operarlo para que falle.
- Búsqueda de fallas.

Además suministra criterios precisos para decidir qué tan seguido se deben realizar las tareas rutinarias. Los beneficios y limitaciones del RCM más destacadas se detallan en la tabla 1.16.

Tabla 1.16: Beneficios y limitaciones RCM.

BENEFICIOS	LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Da énfasis en las consecuencias de las fallas. • Crea una fuerte conexión entre el origen de la falla y la consecuencia de ella. • Crea políticas de mantenimiento basado en predictivo, preventivo, programado, correctivo o rediseño. • Se adecuará a cualquier organización. • Puede crear políticas de mantenimiento en forma separada sin mezclar sus consecuencias de fallas, a través del diagrama de decisión RCM II. 	<ul style="list-style-type: none"> • Su entendimiento es complejo para empresas que no han capacitado personal o implementado en RCM tradicional.

Fuente: [Rosaler02].

1.6.2.6. MRP

La planificación de los materiales o MRP (Materials Resource Planning) es un sistema de planificación y administración (que se puede asociar a un SW o bien a otra herramienta de gestión derivada de un algoritmo) que planifica la producción y un sistema de control de inventarios. [Dávila08].

Este procedimiento se encuentra cimentado en dos ideas fundamentales:

- La demanda de la mayoría de los artículos no es independiente, únicamente la es la de los productos terminados
- Las necesidades de cada artículo y el momento en que deben ser satisfechas estas necesidades pueden ser obtenidas a partir de calcular las siguientes variables:
 1. Las demandas independientes
 2. La estructura del producto

En función de los objetivos del MRP orientados a la problemática planteada en el presente trabajo se pueden enunciar los siguientes:

- Disminuir inventarios.
- Disminuir los tiempos de espera en la producción y en la entrega.
- Determinar obligaciones realistas.
- Incrementar la eficiencia.
- Proveer alerta temprana.
- Proveer un escenario de planeamiento de largo plazo.

Tabla 1.17: Beneficios y limitaciones del MRP

BENEFICIOS	LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del inventario • Mejor respuesta a las demandas del mercado • Capacidad para optimizar plan maestro de producción • Reducción del tiempo de inactividad • Demorar o cancelar pedidos • Reducción de de las cantidades de inventario • Ajustar los costos de Producción 	<ul style="list-style-type: none"> • No considera restricciones a la disponibilidad o capacidad de los recursos escasos • Los lotes mínimos se pueden ver afectados por pequeñas variaciones en las necesidades brutas o netas requeridas

Fuente: [Dávila08].

1.6.2.3. Toma de Decisión

Con el objetivo de transformar información subjetiva a objetiva que sea útil al momento de la elección de una metodología para la solución del problema planteado, existen un sinnúmero de herramientas de gestión capaces de resolver el requerimiento en cuestión.

Para este caso específico, se decidió utilizar la Matriz de Pugh (Imagen 1.20) ya que entregará resultados medibles en función de una ponderación basada en los criterios que sean más acordes a las necesidades del presente trabajo ya que otorgará un resultado plausible en función del nivel de impacto que cada metodología presenta a la solución del problema, es decir, se conseguirá visualizar cuáles son los puntos fuertes y las limitaciones que presentan las metodologías seleccionadas. La valoración será: +1 si es mejor, -1 si es peor o 0 para el caso de ser similares en importancia.

Tabla 1.18: Matriz de Decisión

Criterios de Evaluación	TPM	Árbol de Falla	Análisis Criticidad	FMECA	RCM	MRP
Confiabilidad / Disponibilidad	1	1	0	-1	1	1
Considera Análisis de costos	0	1	-1	1	1	1
Considera Control de existencias	-1	1	0	0	1	1
Tiempos de implementación	0	0	1	0	-1	0
Costo de implementación	-1	0	0	1	0	1
Total	-1	3	0	1	2	4

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados de la matriz de Pugh, arrojan que la metodología indicada para llegar a la solución del problema asociado al presente trabajo es la del MRP ya que impacta en forma más clara con los objetivos planteados en la presente tesis y que darán solución a la problemática a resolver.

La metodología MRP se hace cargo del problema al generar una solicitud de materias primas programada en base a los planes de producción informados por planta cambiando el sistema de gestión actual mediante punto de reorden en función la capacidad de almacenamiento, además indica en función de la exposición de materiales las proporciones correctas de stock que deben existir entre las diferentes materias primas y combustibles.

1.7 Objetivos.

Objetivo General

Generar un plan de abastecimiento de combustible sólido alternativo (C.A.S.), mediante la metodología MRP en la planta de Cementos Melón La Calera.

Objetivos específicos

- Formular una propuesta para el abastecimiento del combustible sólido alternativo mediante el método MRP en planta Melón, La Calera.
- Elaborar una propuesta en relación a los niveles de stock de materias primas y combustibles mediante el método MRP en planta Melón, La Calera.

1.8 Limitaciones del estudio

Este estudio tiene como alcance desde la solicitud hasta el suministro del combustible alternativo sólido al proceso de fabricación de clinker, debido que la interpretación de los indicadores de la empresa muestran la posibilidad de mejorar la gestión de suministros de combustible C.A.S. para aumentar la tasa de uso del sistema con la consecuente disminución de los costos debido al menor valor del C.A.S. sobre otras alternativas. Por lo anterior queda fuera del alcance los procesos internos del horno, como los procesos internos de los proveedores de C.A.S.

2 Metodología

Posterior a la elección de la metodología más adecuada para la solución del problema, procederemos a estudiar esta metodología, MRP, en detalle.

2.1 Historia MRP

En el año 1967 Joseph Orlicky, un ingeniero colaborador de IBM, desarrolló a través de diferenciar los conceptos de demanda independiente y demanda dependiente la entonces muy novedosa técnica de planeación de requerimientos de materiales, conocida como MRP, la cual fue implementada por Black&Decker el mismo año. Esta técnica vino a revolucionar la industria de los años sesenta y parte de los setenta. En los años sesenta había mucho entusiasmo por hacer mejor las cosas, pero también múltiples carencias, especialmente en las herramientas de cómputo. Durante la siguiente década se registraron grandes avances en la administración de las operaciones. George Plossl y Oliver Wight desarrollaron el concepto del lazo cerrado de planeación y control, encontraron que, si bien MRP era una técnica muy valiosa que planeaba y controlaba los materiales, asignándoles la prioridad correcta, también requería responder a dos preguntas clave: ¿qué hacer? y ¿con cuáles recursos lograrlo? Como respuesta surgieron los conceptos de planeación maestra de la producción (MPS) y planeación de requerimientos de capacidad (CRP). En algunas empresas se empezó a observar el entusiasmo por los beneficios derivados de tener información más visible como: reducción de los inventarios de materias primas y componentes, manejo proactivo, proyección de recursos físicos y humanos, posibilidad de presentar programas de abastecimiento a los proveedores, mejor servicio a los clientes, etc.

2.2 MRP

El sistema de planeación de requerimientos de materiales, MRP, es un conjunto de procedimientos y reglas que convierten los pronósticos de demanda de un producto final en un programa detallado de producción y de requerimientos para cada componente, ensamble y materia prima que conforman la estructura de dicho producto o artículo terminado. Los resultados del MRP se convierten en programas específicos para el piso o taller de producción y en requerimientos para la materia prima como órdenes de compra, en forma resumida, el fin del MRP es llevar los materiales correctos en el lugar correcto y en el momento correcto. El MRP hace recomendaciones para liberar las órdenes de reposición de materiales, determina la cantidad de todos los componentes y materiales necesarios para fabricar los productos del MPS y determina la fecha en que los componentes y materiales se requieren. El cálculo de las fechas dentro del MRP se logra a través de la explosión de la lista de materiales, ajustando la cantidad de inventario a mano o pendiente en órdenes y el desfasamiento de las necesidades netas a través de tiempos de entrega adecuados. La planeación de requisitos de materiales (MRP, material requirements planning) constituye un sistema básico de empuje, y este determina las cantidades de producción para cada nivel del sistema de producción basado en

las predicciones relacionadas con los artículos finales en cierto horizonte de planeación específico. Debido a esto, una especificación de las necesidades de los componentes cada periodo dentro de un horizonte de planeación son igualmente pronósticos, resultados de procesar los pronósticos de los productos terminados, y esto es lo que se conoce como demanda dependiente.

A modo de aclaración se trata de saber qué se debe aprovisionar y/o fabricar, en qué cantidad y qué momento para cumplir compromisos establecidos. En otras palabras Díaz A. 1993, resume estas ideas planteando que el sistema pretende conocer: ¿Qué materiales son requeridos?. ¿Cuánto se necesita de cada material?. ¿Cuándo cada material es requerido?.

Estas son tres preguntas básicas que realiza el sistema MRP y que resume sus principales resultados. El énfasis se hace más en el cuándo pedir que en el cuánto, lo cual hace de él más una técnica de programación, que de gestión de inventarios, el problema fundamental no es vigilar los niveles de stock, sino asegurar su disponibilidad en la cantidad deseada, en tiempo y lugar adecuado.

De lo anterior se puede deducir que las demandas de artículos de producción pueden tener dos orígenes diferentes: por una parte la denominada demanda independiente, generada por las órdenes establecidas por los clientes, (es decir, la demanda exterior a la fábrica, aquella que está sujeta a las condiciones del mercado y por lo tanto independiente de las operaciones); por otra parte como al elaborar ciertos productos se autogeneran nuevas necesidades de partes y componentes derivados del nivel más alto del programa maestro de producción y es necesario añadir estos a la demanda que esos elementos realizan directamente de los clientes, es que resulta necesario conocer la demanda independiente.

Observemos que los dos tipos de demanda sólo es aleatoria la independiente (que viene fijada por el plan maestro de producción tras aplicar técnicas de previsión), ya que la dependiente se obtiene directamente de aquella según denominado componentes que son necesarios para los artículos finales (lo que hemos denominado componentes puede tratarse, en realidad, de subcomponentes o incluso productos comprados directamente a otro fabricante).

Todas las demandas futuras de productos en proceso y materias primas deben depender del programa maestro. Cuando se planean este inventario, toda la historia pasada de la demanda no es relevante a no ser que el futuro sea exactamente igual al pasado.

Dado que las condiciones usualmente cambian, el programa maestro es, por mucho, un mejor punto de partida que la demanda pasada para la planeación de los inventarios de materias primas y productos en procesos.

Mientras que los inventarios con demanda independiente deben administrarse mediante los métodos de punto de pedido u reordenamiento, los inventarios con demanda dependiente deben administrarse mediante un sistema MRP. (Material requirements planning) o por los sistemas justo a tiempo (JIT), según Artes R. 1987.

Lo anterior está motivado porque cuando existen ambos tipos de demanda, no resulta suficiente restablecer un cierto nivel de pedido en un determinado momento: el consumo de

materiales para atender la demanda no es este caso homogéneo ni cumple el resto de los requisitos exigidos para modelos como EOQ (Economic Order Quantity), sino que se produce a saltos discretos, según lo indica el PMP (Plan Maestro de Producción). El sistema MRPI, apoyado en el uso herramientas informáticas, posee los siguientes objetivos:

- 1.) Asegurar la entrega de los artículos finales en las fechas establecidas en el PMP.
- 2.) Establecer un programa de lanzamientos de pedidos que garantice el mínimo nivel posible de stocks, según Díaz A. 1993.

Por lo tanto el MRP I es un sistema de planificación de la producción y de gestión de stocks, basado en un soporte informático. Es necesario mencionar que la presente tesis no busca generar una descripción detallada de algún tipo de herramienta informática o software, sino que busca demostrar la efectividad de la metodología frente al caso.

2.2.1 Modelo MRP

Esta metodología requiere de una serie de datos que deben ser suministrados (alimentación) con el fin lógico que entregue una serie de resultados esperados; en la siguiente figura se puede apreciar de forma simple tanto entradas como salidas del sistema.



Figura 2.1: Inputs y Outputs MRP
Fuente: [Dávila08]

El MRP estará alimentado principalmente de tres grandes fuentes para el cálculo de necesidades de materiales, para los cuales tendrán influencia de otras fuentes secundarias para cada uno:

- Plan Maestro de Producción MPS
- Estructura del Producto BOM
- Situación o Estado de Stocks.

2.2.1.2 Plan Maestro de Producción MPS.

El MPS estará alimentado de tres fuentes secundarias para el cálculo de las necesidades brutas de producción que a su vez se los puede definir en dos grupos: Pronósticos de clientes: Que pueden estar definidos por pedidos fijos o cíclicos de clientes conocidos, pueden ser grandes distribuidores o mayoristas y pronóstico de la demanda de clientes aleatorios que para empresas de consumo pueden estar orientado al canal de distribución al detal, tiendas, farmacias, autoservicios o supermercados, cuya demanda independiente depende del consumidor final. El segundo grupo corresponde al Plan agregado de productos, que finalmente refleja el número de unidades a producir por familia de productos, el cual se realiza en períodos mensuales con un horizonte de 6 a 18 meses tomando en cuenta la capacidad instalada de producción para que el producto del MPS sea factible y alimente de manera realista la demanda dependiente al MRP.

2.2.1.3 Estructura de Producto (BOM)

Esta es la lista de materiales que indicará la cantidad exacta de consumo de cada ítem de material por cada unidad de fabricación de producto terminado, consolidando las necesidades de las distintas familias de productos para los materiales compartidos en caso de que estas familias llegaran a compartir algún ítem. (imagen 2.2).



Lista de materiales

Figura 2.2: Estructura BOM

Fuente: [Dávila08]

La estructura de producto estará influenciada por cambios de diseño en la ingeniería de los semiterminados o del producto final, por ejemplo la lista de materiales puede ser modificada cuando la empresa decidiera utilizar un material sustituto para su producto terminado generalmente por tres razones básicas:

- **Abastecimiento.**- Puede suceder que un material no se encuentre disponible en el mercado por escasez mundial, que en materias primas *comodities* es bastante común.
- **Rentabilidad.**- En este caso la empresa toma la decisión de utilizar un material sustituto debido a que el objetivo es reducir costos, sin afectar el producto final, utilizando una materia prima de las mismas características que la de línea y que no afecte las características principales del producto final.
- **Calidad.**- En ocasiones las empresas deciden utilizar materiales sustitutos a los de línea debido a que éstos no cumplen con los estándares de calidad definidos en la ficha técnica o acuerdos de calidad con los proveedores.

2.2.1.4 Situación o estado de Stocks

La situación de inventario de materiales alimentará al MRP con la cantidad disponible de cada ítem para que el MRP pueda realizar el cálculo de la necesidad de compra tomando en cuenta los requerimientos del BOM de materiales y los stocks actuales para que no se produzcan sobre inventarios.

El MRP finalmente arrojará dos reportes entregables: uno para el departamento de producción que son las órdenes de manufactura y el segundo para el departamento de compras que son las órdenes de aprovisionamiento.

Órdenes de Manufactura

Uno de los entregables o Outputs del MRP serán las ordenes de manufactura que indicará detalladamente las piezas, subensambles o pre mezclas a producir en un horizonte de tiempo generalmente de siete días disgregando el plan maestro de producción.

Órdenes de Aprovisionamiento

Son las ordenes detalladas ítem a ítem de compra de materiales de cada uno de los componentes de las sub partes a fabricarse a lo largo de la estructura de producto, necesarias para mantener el stock necesario para la producción de un período definido, este contempla el lead time de compra de cada ítem, los términos de negociación: mínimos, múltiplos de compra.

2.2.2 Influencia de la Metodología MRP

El gerente de inventario estaba a cargo de la emisión de órdenes de compras de más material, generalmente por medio de sistemas de puntos de pedido o reorden, esto ocasionaba conjugar material a la fábrica.

El gerente de control de producción determina las prioridades reales mediante la expedición y la petición de material hasta el ensamblaje final.

El sistema MRP, favorece a la función de compras, pues genera fechas de vencimientos válidas y las mantiene actualizadas lo que permite ganar en credibilidad, pues el material es realmente necesario cuando se compra, por otra parte la expedición de órdenes puede ser realizada por compras permitiendo que la gerencia se centre en sus funciones primordiales (búsqueda de fuentes alternativas de suministro, mantenimiento de los costos bajos, estudio de sus proveedores).

El propósito del subsistema de control de piso del taller es descargar órdenes al taller y vigilar órdenes en su ruta a través de la fábrica para asegurarse de que se terminen a tiempo. El sistema de control de piso del taller ayuda a la gerencia a ajustar todas las cosas día a día que van mal en manufactura: abstencionismo entre los trabajadores, descomposturas de maquinarias, pérdidas de materiales, etc. Cuando surgen estas complicaciones no planeadas, se deben tomar decisiones de lo que hay que hacer enseguida. Las buenas decisiones requieren control de entrada salida e información acerca de las prioridades de trabajo de sistema de control de piso del taller.

El propósito del control entrada salida es asegurar la disponibilidad de materiales y que la fábrica no está sobrecargada. Las prioridades de trabajo se calculan frecuentemente por reglas de expeditación, decisión o despacho.

Cuando se utilizan estas reglas como parte del sistema de control de piso del taller, es posible hacer ajustes para cambiar las condiciones y aún sacar el trabajo a tiempo de espera de la producción de un trabajo se puede acortar o alargar drásticamente. Esto es posible debido a que un trabajo normalmente pierde hasta el 90% d su tiempo esperando en la fila.

Debe descargarse la vieja noción de un tiempo de espera exacto o bueno. Los tiempos de espera pueden ser administrados expandiéndolos o contrayéndolos sobre la base de prioridad.

George Ploss ha expresado esto al decir “ El tiempo de espera es lo que usted dice que es “. Esto es un concepto muy difícil de aceptar cuando los gerentes están acostumbrados a pensar en términos de tiempos de espera fijos o como variable aleatoria.

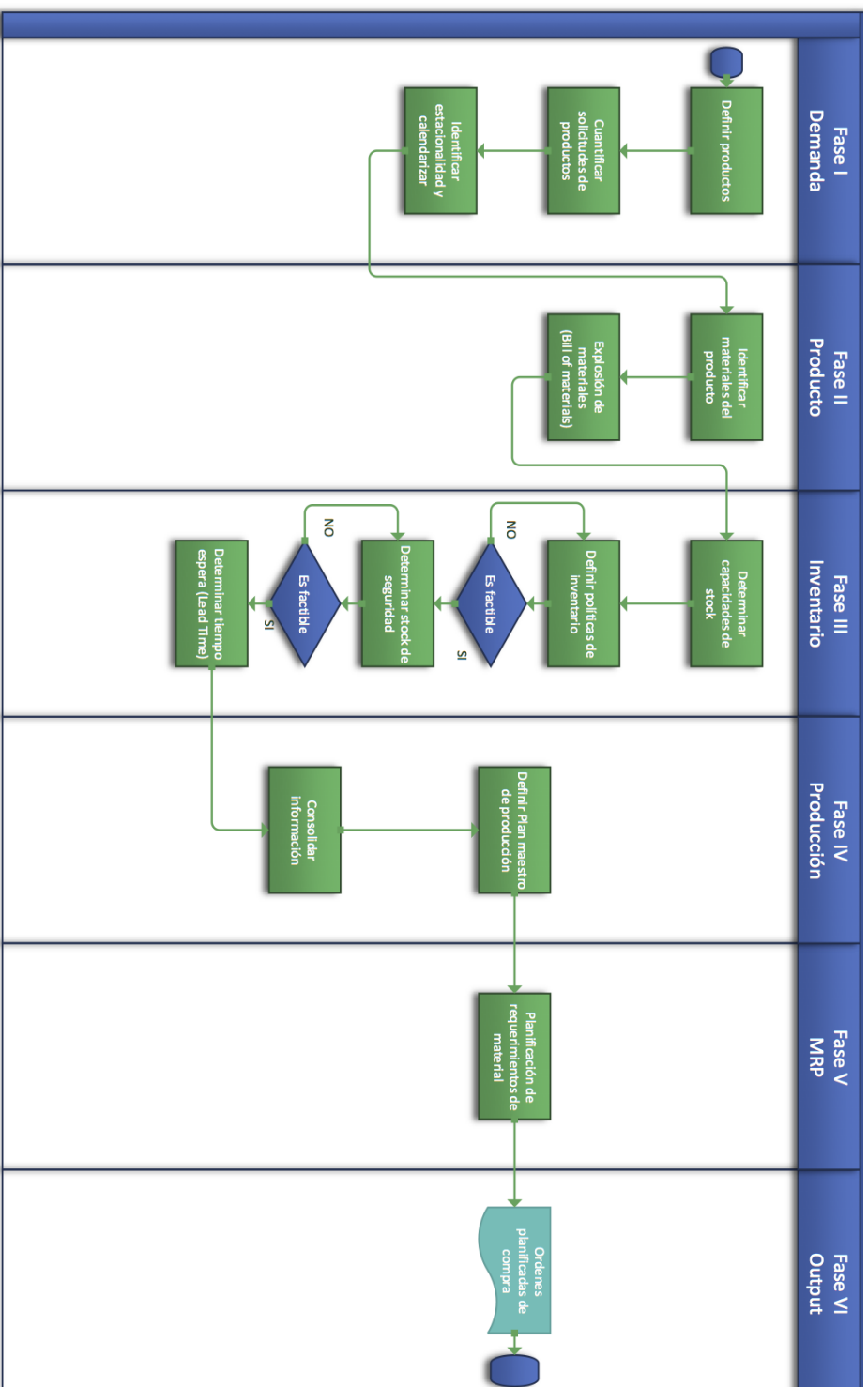


Figura 2.3 - Flujo MRP
Fuente: Elaboración Propia.

3 Aplicación de la metodología

Para lograr la aplicación de manera correcta de la Metodología, es necesario en primer lugar lograr subdividirla en 6 etapas fundamentales.



Figura 3.1 – Etapas MRP
Fuente: Elaboración Propia.

Estas fases presentan una estrecha interrelación entre sí de modo de garantizar una correcta aplicación de la metodología. Dicha interrelación se debe graficar de forma coherente mediante un Diagrama de Flujo que abarque tanto las fases generales sino que también su propia subdivisión y posterior interrelación

3.1 Fase I. Demanda

La primer fase de la aplicación de la metodología MRP consiste en definir la demanda del producto para lo cual primero se debe definir el producto y en este caso asociarlo al plan de producción existente, para luego cuantificar las materias primas y combustibles necesarios para la producción del plan.

3.1.1 Definir el producto

Se define el producto como Clinker fabricado en Horno número nueve, único horno de clinkerización de Melón S.A. en Chile, ubicado en planta Melón La Calera, este Clinker es la materia prima del cemento del tipo especial y extra, el cemento del tipo plus se fabrica en la planta de Ventanas con Clinker importado desde el puerto de la misma ciudad.

3.1.2 Cuantificar solicitudes de producto

La cuantificación de las solicitudes de fabricación de Clinker se procederán a calcular en base a al Forecast de Cemento 2016, el cual se entrega el día primer día hábil del mes de Diciembre, basado principalmente en los contratos firmados por la empresa en la venta de hormigón, cemento y morteros en grandes obras sumado a la proyección de venta minorista. En caso de existir diferencias entre la proyección y la demanda real, el excedente es almacenado en silos y restado a las proyecciones del año siguiente.

El Forecast de cemento del año 2016 se detalla en tabla 3.1 (Demanda total de cemento en todos los formatos año 2016), a partir de esta tabla se realiza la suma de los requerimientos de cemento especial y cemento extra independiente del formato solicitado, además se omite la necesidad de cemento plus el cual no es fabricado con Clinker nacional, esto se puede ver reflejado en tabla 3.2 (Demanda Cemento Extra y Especial en todos los formatos). El cemento especial requiere un 30% de Clinker de su composición másica y el cemento extra requiere un 80% de Clinker en su composición másica, en base a los datos anteriores podemos calcular el requerimiento total de Clinker nacional ($0,8 * \text{demanda cemento extra} + 0,3 * \text{demanda cemento especial}$), los resultados se pueden observar en tabla 3.3 (Demanda de clinker para cemento extra y especial), esta es finalmente la cuantificación de las necesidades de Clinker fabricado en planta La Calera para el año 2016.

3.1.3 Estacionalidad y Calendarización

En este caso en particular no es necesario predecir la demanda en base a las ventas de años anteriores ya que el área comercial entrega un Forecast como resultado de que las ventas son en su mayoría en base a contratos firmados con anticipación, producto que el mayor volumen de despacho depende en su mayoría de grandes obras que son planificadas con años de anticipación tales como puentes, edificios, estadios, aeropuertos, proyectos mineros, etc

Tabla 3.1: Demanda total de cemento en todos los formatos año 2016

LCA	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic	TOTAL
	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.
TOTAL	163.061	154.631	150.153	153.860	162.258	161.455	152.347	158.034	163.922	154.012	162.470	161.223	1.897.426
GRANEL	40.248	36.654	27.328	31.031	38.608	38.621	29.628	29.984	41.128	31.160	41.114	37.866	337.309
Extra	37.038	33.444	24.118	27.821	35.398	35.411	26.418	26.774	37.918	27.950	37.904	34.656	324.463
Especial	3.210	3.210	3.210	3.210	3.210	3.210	3.210	3.210	3.210	3.210	3.210	3.210	38.520
SACOS	120.059	115.222	120.069	120.072	120.892	120.075	119.959	125.289	120.032	120.089	118.592	120.592	535.707
Plus	1.151	1.151	1.151	1.151	1.151	1.151	1.151	1.151	1.151	1.151	1.151	1.151	13.811
Extra	4.101	4.101	4.101	4.101	4.101	4.101	4.101	4.101	4.101	4.101	4.101	4.101	49.212
Paraguay Frigorífico	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440	440	5.280
Paraguay Plano	5.729	5.729	5.729	5.729	5.729	5.729	5.729	5.729	5.729	5.729	5.729	5.729	68.748
Especial	108.638	103.801	108.648	108.651	109.471	108.654	108.538	113.868	108.611	108.668	107.171	109.171	1.303.890
SACO PLASTIF.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Extra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Especial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BIG BAG	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	8.828
Plus	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	3.641
Extra	406	406	406	406	406	406	406	406	406	406	406	406	4.875
Especial	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	600
TREN	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	24.000
Plus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Extra	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	24.000
Especial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Forecast Melón S.A. 2016

Tabla 3.2: Demanda Cemento Extra y Especial en todos los formatos

LCA	Enero	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.
Extra	43.545	39.951	30.625	34.328	41.905	41.918	32.925	33.281	44.425	34.458	44.411	41.163	462.934
Especial	118.067	113.230	118.077	118.080	118.900	118.083	117.967	123.297	118.040	118.097	116.600	118.600	1.417.037

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.3: Demanda de clinker para Cementos Extra y Especial

LCA	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic	TOTAL
	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.	Prog.
Extra	34.836	31.961	24.500	27.462	33.524	33.534	26.340	26.625	35.540	27.566	35.529	32.930	370.347
Especial	35.420	33.969	35.423	35.424	35.670	35.425	35.390	36.989	35.412	35.429	34.980	35.580	425.111

Fuente: Elaboración Propia.

3.2 Fase II. Producto

La fase 2 de la metodología MRP, se divide en dos pasos, identificar las materias primas que componen el producto y luego identificar en que proporciones se requieren estas materias primas por cada unidad de producto final todo con el objetivo posterior de calcular los re.

3.2.1 Identificar materiales del producto

Los materiales necesarios para la fabricación del producto son: conchuela, tunga, ceniza, relave, pachacamita, caolín, fiero, Ñilhue, CAS, CAL, Petcoke y neumáticos. La metodología MRP requiere identificar si para el proceso estos son materiales primarios o son resultado de otros procesos de la empresa los cuales requieren a su vez otros materiales, en este caso todos los materiales necesarios son adquiridos en el mercado y no son resultado de otros procesos internos por lo cual se consideran materias primas del clinker, aun si el proveedor externo realiza algún proceso físico o químico para la obtención del mismo, el modelo considera cualquier adquisición externa que no genere el abastecimiento de un tercer material asociado simplemente como materia prima del proceso.

3.2.2 Explosión de materiales (Bill Of Materials)

La explosión de materiales, bill of materials o también llamada BOM, es como se diría coloquialmente la receta para fabricar una unidad del producto o los materiales necesarios a tener en stock para la fabricación del producto, en este caso al ser un producto del tipo granel se define el producto como 1 Tonelada de Clinker. En la tabla 3.4 se detallan los materiales necesarios para fabricar 1 Tonelada de Clinker.

Tabla 3.4 - BOM (Bill of Materials)

Tipo	Nombre	Dosificación	Unidad
CALIZA	CONCHUELA	0,75	TON
CALIZA	TUNGA	0,309	TON
CALIZA	PACHACAMITA	0,120	TON
CALIZA	ÑILHUE	0,155	TON
CALIZA	CAOLIN	0,038	TON
CORRECTOR	OX. De FIERRO	0,009	TON
CORRECTOR	CENIZA	0,045	TON
CORRECTOR	RELAVE	0,075	TON
COMBUSTIBLE	CAS	0,011	TON
COMBUSTIBLE	CAL	0,021	TON
COMBUSTIBLE	PETCOKE	0,085	TON
COMBUSTIBLE	NEUMATICOS	0,006	TON

Fuente: Elaboración propia

3.3 Fase III. Inventario.

La tercera fase se centra en la capacidad de stock disponible en planta, el team de seguridad requerido y el lead time de las materias primas y combustibles.

3.3.1 Determinar capacidades de stock

Como es natural, la capacidad de stock está supeditada a dos factores de importancia: Capacidad Física Existente y Consumo del proceso en línea. Los espacios físicos disponibles en la planta, nos arrojan los siguientes stocks operativos (tabla 3.5) considerando también su clasificación por naturaleza; además de su respectiva ubicación (imagen 3.2)

Tabla 3.5 - Definición de Stocks

Suma de Stock	Rótulos de columna		
Rótulos de fila	Caliza	Combustible	Corrector
CAL		472	
Caolín	2.500		
CAS		216	
Ceniza			600
Conchuela	29.000		
Neumáticos		500	
Ñilhue	10.000		
Fierrito			150
Pachacamita	2.600		
Petcoke		20.000	
Relave			1.200
Tunga	4.000		
Total general	48100	21188	1950

Fuente: Elaboración Propia

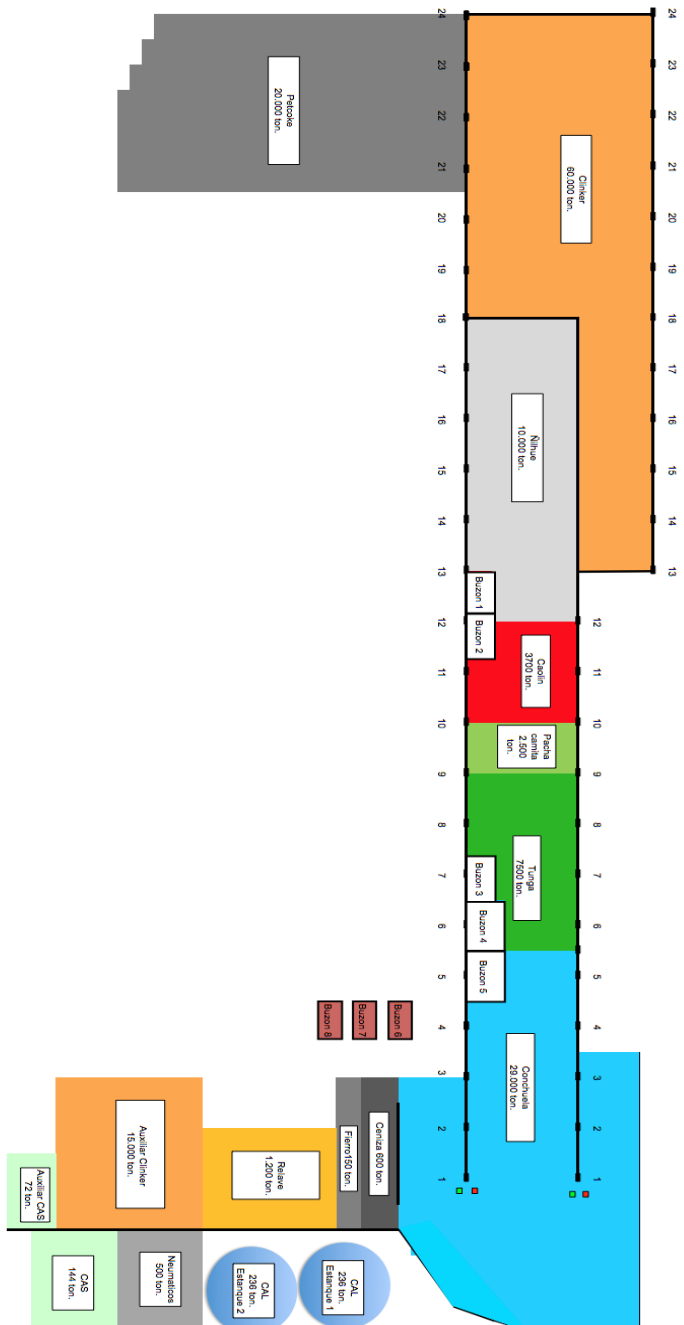


Figura 3.2: Layout Materias primas
Fuente: [Alfendes15]

3.3.2 Definir política de inventario

La metodología MRP se enfoca en una política de inventario basada en el abastecimiento de las materias primas estrictamente necesarias para cumplir con la producción requerida, adaptándose a las realidades de cada empresa agregando consideraciones locales sobre stock de seguridad, tamaño de lote requerido para obtener precios menores asociados a economías de escala, tamaños de lote óptimos asociados a consideraciones de distancia, etc. En este caso particular el precio de las materias primas y combustibles son independientes de la demanda, por lo mismo la política de inventario definida de materias primas y combustibles es de un stock mínimo por lo tanto igual al stock de seguridad más el lead time de cada producto y ordenes de materias primas y combustibles asociadas al cumplimiento escrito del plan de producción de clinker.

3.3.3 Definir stock de seguridad

El mayor evento que se puede presentar en la producción de Clinker es la caída de los ladrillos refractarios al interior del horno de clinkerización. Buscando la eficiencia del proceso siempre se busca alargar lo máximo posible la vida del ladrillo refractario, la cual ronda un año calendario, por lo cual es común que se deje el ladrillo hasta la caída del mismo. También en ocasiones producto de una mala instalación del ladrillo, de un ladrillo de mala calidad o de una mala operación del horno se han debido ejecutar renovación de ladrillos en periodos no menores a 4 meses, este proceso demora 3 semanas de trabajo. Considerando el estudio de las condiciones anteriores se determina que el stock de seguridad del producto final, en este caso Clinker, deber ser igual a la sumatoria de la demanda proyectada para las tres semanas siguientes, este stock se debe alcanzar en un periodo de cuatro meses posterior al último derrumbe de ladrillos.

Figura 3.3 - Derrumbe de ladrillos en interior horno de clinker



Fuente: [Corpus15]

En cuanto al Stock de seguridad de materias primas y combustibles, en este caso al ser un proceso continuo se determina que el stock de materias primas y combustibles debe ser igual al tiempo de espera por el producto. Actualmente el Stock de seguridad de materias primas y combustibles se establecía como el cincuenta por ciento de la capacidad de la cancha.

3.3.3.1 Distribución de canchas

La metodología MRP recomienda que la capacidad de stock de los insumos mantenga la relación que existe en la producción del producto. Una manera de ver si el diseño en la capacidad de stock está distribuido de buena manera, es considerar el consumo lineal del mismo y detenerse cuando algún insumo tenga stock igual a cero. En la tabla 3.6. se puede observar que en un consumo lineal de Clinker con la distribución de capacidad de stock actual, cuando es consumida toda la Ceniza aún tenemos un 65% de stock de conchuela un 79% de Ñilhue, etc. Esto nos indica que puede existir una oportunidad de mejora en la distribución del stock.

Tabla 3.6 - Comparación canchas

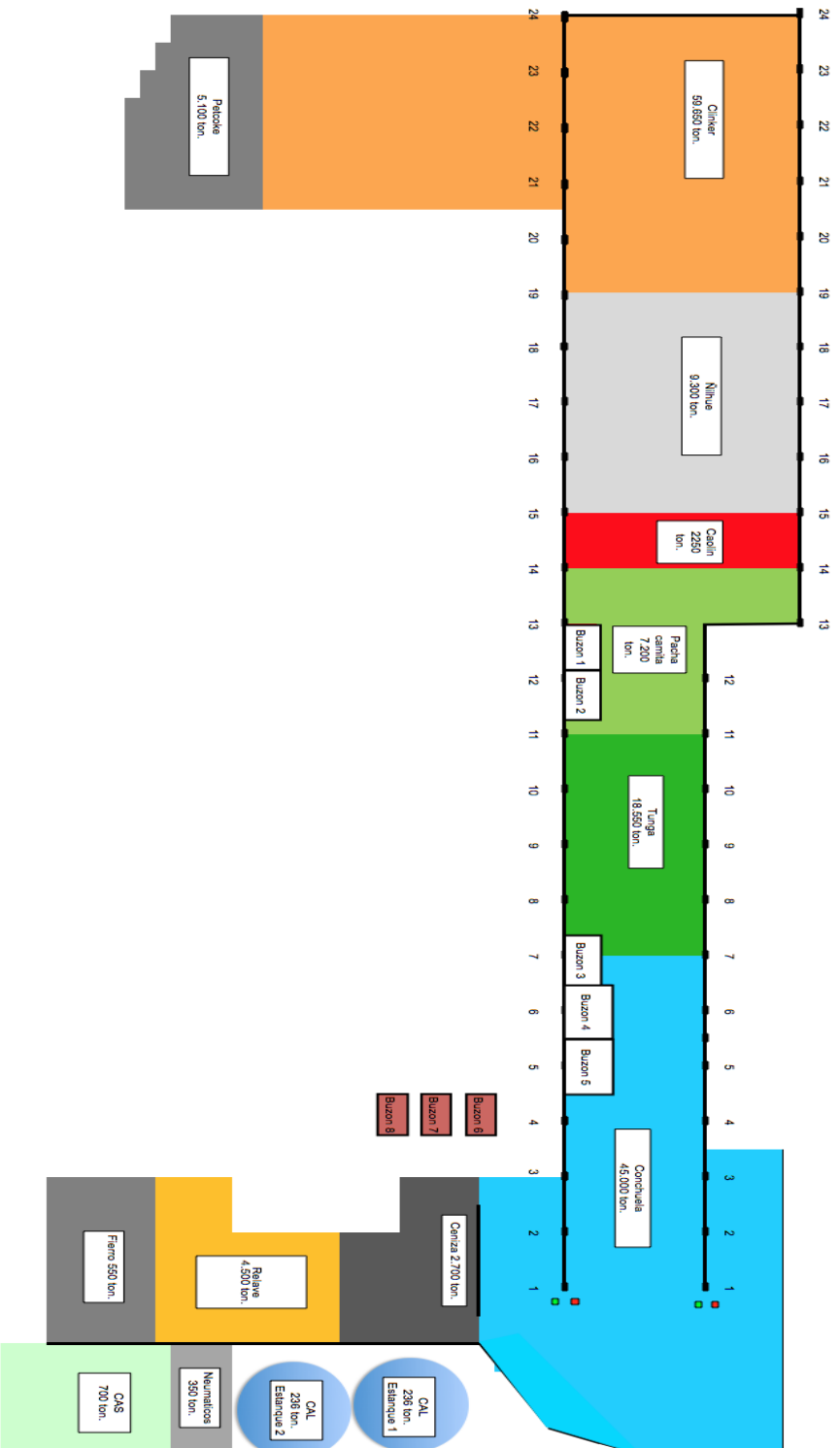
Nombre	Costo unitario	Materia prima	Capacidad stock	LT	Consumo lineal	Stock remanente	Stock remanente
	Pesos/t	t/1t clinker	T	Sem.	t	t	%
Conchuela	14.193	0,75	29.000	1	10.005	18.995	65,50
Tunga	13.919	0,309	7.500	1	4.122	3.378	45,04
Pachacamita	8.063	0,12	2.500	1	1.601	899	35,96
Ñilhue	9.538	0,155	10.000	1	2.068	7.932	79,32
Caolín	21.451	0,038	3.700	1	507	3.193	86,30
Fierro	31.345	0,009	150	1	120	30	20,00
Ceniza	7.525	0,045	600	1	600	0	0,00
Relave	7.572	0,075	1.200	1	1.001	199	16,58
CAS	1.731	0,011	216	2	147	69	31,94
CAL	18.563	0,021	472	2	280	192	40,68
Petcoke	51.023	0,085	20.000	2	1.134	18.866	94,33
Neumáticos	7.815	0,006	500	2	80	420	84,00

Fuente: Elaboración propia

3.3.3.2 Mejora en distribución de canchas

En el caso particular de Planta Melón La Calera, las materias primas no presentan economías de escala asociadas a su tamaño de pedido, el costo asociado a cada materia prima es entregado en planta y a excepción del CAL, el cual es almacenado en dos estanques con una capacidad de almacenamiento fija, el resto de las materias primas son almacenadas en canchas, las cuales pueden ser modificadas fácilmente en su diseño de almacenamiento. De acuerdo a los parámetros anteriores la distribución óptima es la que pueda generar mayor cantidad de productos finales. Considerando que el tamaño de la cancha es finito, el espacio otorgado a cada producto debe ser proporcional a su aporte en la formación de 1 tonelada de clinker, lo que corresponde a la columna Materia prima en la tabla 3.6, considerando lo anterior el nuevo layout se puede observar en la figura 3.4.

Figura 3.4 - Propuesta



layout materias primas
Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Determinar tiempo de espera (Lead Time)

En este punto se debe determinar el tiempo de espera que se genera desde la emisión de la solicitud hasta la llegada de la materia prima o combustible a la planta con el objetivo de entregar esta información en la planificación de la emisión de órdenes de compra.

3.3.4.1 Tiempo de traslado

Tiempo de traslado es el tiempo en que el proveedor demora en el traslado de la materia prima desde su dependencia a la planta de Melón La Calera. Como se puede observar en Tabla 3.9 todas las materias primas tienen un tiempo de despacho inferior a 7 horas, por lo cual en todos los casos la fecha de despacho y la fecha de entrega serán iguales, así no es necesario introducir un factor de corrección en las órdenes de compra.

3.3.4.2 Tiempo de espera

Tiempo de espera es el tiempo en que el proveedor demora en cumplir la orden de compra emitida por Melón S.A. En este caso particular la planta Melón La Calera indica a los proveedores en qué fechas necesita los insumos en planta por lo que el proveedor informa con qué plazo de anticipación se debe emitir la orden de compra.

Estos plazos están establecidos de mutuo acuerdo entre el proveedor y Melón S.A. dentro de los contratos marco, que especifican e con una multa de 100UF por incumplimiento y la facultad de terminar el contrato con el proveedor.

Tabla 3.7 - Variables Lead Time

MP / INSUMO	Nombre Genérico	Ubicación (región)	Tiempo de Traslado (h)	Tiempo de Respuesta (días)
CALIZA	CONCHUELA	IV	5	7
CALIZA	TUNGA	IV	4	7
CALIZA	PACHACAMITA	V	1	7
CALIZA	CAOLIN	RM	2	7
CALIZA	ÑILHUE	IV	3	7
CORRECTOR	CENIZA	V	1	7
CORRECTOR	RELAVE	IV	1	7
CORRECTOR	OX FIERRO	IV	7	1
COMBUSTIBLE	PETCOKE	V	1	14
COMBUSTIBLE	NEUMATICOS	RM	2	14
COMBUSTIBLE	CAS	RM	2	14
COMBUSTIBLE	CAL	RM	2	14

Fuente: Elaboración Propia

3.4 Fase IV. Producción

Con el propósito de llegar a la fase siguiente que el Plan Maestro de Producción, se debe consolidar toda la información recopilada y tabulada hasta ahora en donde se deben considerar para ello: Producción, Stock, Lead Time, Costos, Demandas Semanales. Todo lo anterior se puede visualizar de mejor forma en la tabla 3.8

3.4.1 Consolidar información

A continuación se puede observar una tabla consolidando todos los datos de producción, stock, lead time, costos y necesidades semanales.

Tabla 3.8 - Información consolidada MMPP y combustibles

Cuadro resumen materias primas y combustible en la producción de Clinker en planta Melón La Calera, V Región.													
Nombre	Descripción	Lead time	Capacidad máxima de Stock	Materia prima	Energía		Costo unitario	Energía por tonelada	Materia prima x costo unitario	Materia prima necesaria para producción semanal	Materia prima x costo semanal	Subtotal	Total
		Semanas	t	t/1t clinker	kcal necesarias	% de uso	Pesos/t	Kcal/t	pesos/1t clinker	16.572	pesos/16.572 t clinker	pesos/semana	pesos/semana
Clinker	Producto		75.000	1	910.000				24.145,32				
Conchuela	Caliza	1	29.000	0,750			\$14.193		10.644,75	12.429	\$176.404.797	\$321.164.440	\$400.136.243
Tunga	Caliza	1	7.500	0,309			\$13.919		4.300,97	5.121	\$71.275.691		
Pachacamita	Caliza	1	2.500	0,120			\$8.063		967,56	1.989	\$16.034.404		
Ñilhue	Caliza	1	10.000	0,155			\$9.538		1.473,62	2.560	\$24.420.847		
Caolín	Corrector	1	3.700	0,038			\$21.451		804,41	621	\$13.330.724		
Fierro	Corrector	1	150	0,009			\$31.345		282,11	149	\$4.675.044		
Ceniza	Adición	1	600	0,045			\$7.525		338,63	746	\$5.611.694		
Relave	Adición	1	1.200	0,075			\$7.572		567,90	1.243	\$9.411.239		
CAS	Combustible	2	216	0,011	45.500	5,00%	\$1.731	4.100.000	19,21	184	\$318.346		
CAL	Combustible	2	472	0,021	91.000	10,00%	\$18.563	4.359.000	387,53	346	\$6.422.108		
Petcoke	Combustible	2	20.000	0,085	728.000	80,00%	\$51.023	8.612.000	4.313,14	1.401	\$71.477.322	\$78.971.802	
Neumáticos	Combustible	2	500	0,006	45.500	5,00%	\$7.815	7.815.000	45,50	96	\$754.026		

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Plan maestro de producción

En la fase 1 del proceso se determinó la demanda del producto, esta demanda también conocida como requerimiento bruto no considerara stock inicial, stock de seguridad y paros programados para cubrir las necesidades reales de la planta. Si el stock de seguridad es superior al stock inicial esta diferencia se debe agregar a la producción o requerimiento bruto, el stock de seguridad es la sumatoria del despacho de las tres semanas siguientes, por lo cual varía durante el año. Además se deben considerar la detenciones programadas que equivalen a 4 semanas de detención programadas en un grupo de 3 semanas para el cambio del ladrillo refractario y 1 semana para correcciones acumulativas, el stock de seguridad después del paro anual de 3 semanas debe ser recuperado en periodo no mayor a 16 semanas. Agregadas la consideraciones anteriores se especifica en tabla 3.9 el Plan Maestro de producción considerando los requerimientos netos o producción real.

Tabla 3.9 - Plan maestro de producción.

Semana	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Demanda		17.564	17.565	17.566	17.567	17.568	17.569	17.570	17.571	17.572	17.573	17.574	17.575	17.576
Stock de seguridad		52.698	52.701	52.704	52.707	52.710	52.713	52.716	52.719	52.722	52.725	52.728	52.731	52.734
Stock	54.227	52.698	52.701	52.704	52.707	52.710	52.713	52.716	52.719	52.722	52.725	52.728	52.731	52.734
Producción		16.035	17.568	17.569	17.570	17.571	17.572	17.573	17.574	17.575	17.576	17.577	17.578	17.579

Semana	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Demanda	17.577	17.578	17.579	17.580	17.581	17.582	17.583	17.584	17.585	17.586	17.587	17.588	17.589
Stock de seguridad	52.737	52.740	52.743	52.746	52.749	52.752	52.755	52.758	52.761	52.764	52.767	52.770	52.773
Stock	52.737	52.740	52.743	52.746	52.749	52.752	52.755	52.758	52.761	52.764	52.767	52.770	52.773
Producción	17.580	17.581	17.582	17.583	17.584	17.585	17.586	17.587	17.588	17.589	17.590	17.591	17.592

	Mantenimiento programada						Recuperación de Stock						
Semana	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Demanda	17.590	17.591	17.592	17.593	17.594	17.595	17.596	17.597	17.598	17.599	17.600	17.601	17.602
Stock de seguridad	52.776	52.779	52.782	52.785	52.788	52.791	52.794	52.797	52.800	52.803	52.806	52.809	52.812
Stock	52.776	52.779	52.782	35.189	17.595	0	2.354	4.707	7.059	9.410	11.760	14.109	16.457
Producción	17.593	17.594	17.595	0	0	0	19.950	19.950	19.950	19.950	19.950	19.950	19.950

	Recuperación de Stock												
Semana	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Demanda	17.603	17.604	17.605	17.606	17.607	17.608	17.609	17.610	17.611	17.612	17.613	17.614	0
Stock de seguridad	52.815	52.818	52.821	52.824	52.827	52.830	52.833	52.836	52.839	35.227	32.911	30.594	45.891
Stock	18.804	21.150	23.495	25.839	28.182	30.524	32.865	35.205	37.544	35.227	32.911	30.594	45.891
Producción	19.950	19.950	19.950	19.950	19.950	19.950	19.950	19.950	19.950	15.295	15.297	15.297	15.297

Fuente: Elaboración propia

3.5 Fase V. MRP

La quinta fase procesa la información obtenida en las fases anteriores para producir el plan de requerimiento de material ósea que cantidad exacta se deberá solicitar de materias primera y combustibles para cumplir el plan de producción a tiempo.

3.5.1 Planificación de requerimiento de material

Al conocer la necesidad de Clinker en Empresas Melón para el año 2016 (Fase I, Demanda), definir los requerimientos de materiales por cada tonelada producida de clinker (Fase II, Producto), conocer los tiempos de espera de cada material (Fase III, Inventario) y así desarrollar el plan maestro de producción (Fase IV, Producción), podemos procesar esta información y determinar la planificación de requerimiento de materiales (Fase V). La cual nos indicara la necesidad exacta de materiales para el cumplimiento del programa de producción, como se observa en tabla 3.10 y tabla 3.11

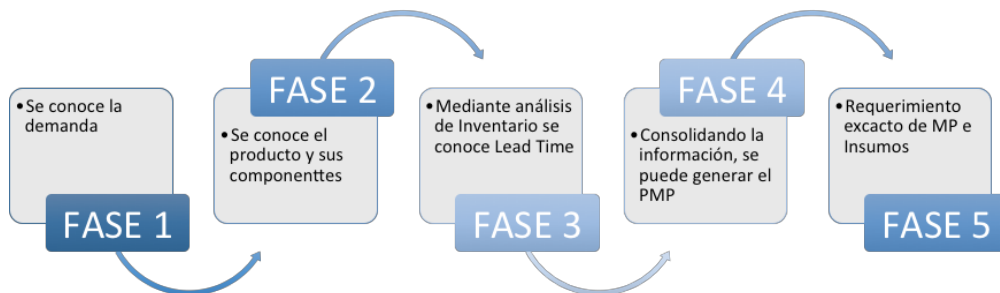


Figura 3.5 - Diagrama de Fases
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10 Plan requerimiento material.

Semana	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
Chinker	1			16035	17568	17569	17570	17571	17572	17573	17574	17575	17576	17577	17578	17579	17580	17581	17582	17583	17584	17585	17586	17587	17588	17589	17590
Cordoba	0750	12026	13176	13177	13178	13179	13180	13181	13182	13183	13184	13184	13184	13185	13186	13187	13187	13188	13188	13189	13190	13190	13191	13192	13193	13193	13193
Turgo	0309	4955	5429	5429	5429	5430	5430	5431	5431	5432	5432	5432	5433	5433	5433	5433	5433	5433	5433	5434	5434	5435	5435	5435	5435	5436	5436
Pachacamba	0110	1924	2108	2108	2109	2109	2109	2109	2109	2109	2109	2109	2110	2110	2110	2110	2110	2110	2110	2110	2110	2110	2111	2111	2111	2111	2111
Nilhue	0155	2477	2714	2714	2715	2715	2715	2715	2715	2715	2715	2716	2716	2716	2716	2717	2717	2717	2717	2717	2717	2717	2718	2718	2718	2718	2718
Cadiri	0038		601	659	659	659	659	659	659	659	659	659	659	659	659	659	659	659	659	659	659	660	660	660	660	660	660
Ferro	0009		144	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158
Ceriza	0045		722	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	791	792	792	792	792
Relave	0075		1203	1318	1318	1318	1318	1318	1318	1318	1318	1318	1318	1318	1319	1319	1319	1319	1319	1319	1319	1319	1319	1319	1319	1319	1319
CAS	0011	178	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195
CAI	0021	335	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367
Petisco	0085	1355	1485	1485	1485	1485	1485	1485	1485	1485	1485	1485	1485	1485	1485	1485	1485	1485	1485	1485	1487	1487	1487	1487	1487	1487	1487
Neumáticos	0006	93	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.11 Plan requerimiento material.

Semana	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	
Chinker	17591	17592	17593	17594	17595	0	0	0	19550	19590	19590	19590	19590	19590	19590	19590	19590	19590	19590	19590	19590	19590	19590	19590	19590	19590	19590	19590	
Cordoba	13194	13195	13196	13196	0	0	14963	14963	14963	14963	14963	14963	14963	14963	14963	14963	14963	14963	14963	14963	14963	14963	14963	14963	14963	14963	14963	14963	
Turgo	5436	5436	5437	5437	0	0	6165	6165	6165	6165	6165	6165	6165	6165	6165	6165	6165	6165	6165	6165	6165	6165	6165	6165	6165	6165	6165	6165	6165
Pachacamba	2111	2111	2111	2111	0	0	2394	2394	2394	2394	2394	2394	2394	2394	2394	2394	2394	2394	2394	2394	2394	2394	2394	2394	2394	2394	2394	2394	2394
Nilhue	2718	2718	2718	2718	0	0	3082	3082	3082	3082	3082	3082	3082	3082	3082	3082	3082	3082	3082	3082	3082	3082	3082	3082	3082	3082	3082	3082	3082
Cadiri	660	660	660	660	0	0	748	748	748	748	748	748	748	748	748	748	748	748	748	748	748	748	748	748	748	748	748	748	748
Ferro	158	158	158	158	0	0	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Ceriza	792	792	792	792	0	0	898	898	898	898	898	898	898	898	898	898	898	898	898	898	898	898	898	898	898	898	898	898	898
Relave	1319	1319	1320	1320	0	0	1496	1496	1496	1496	1496	1496	1496	1496	1496	1496	1496	1496	1496	1496	1496	1496	1496	1496	1496	1496	1496	1496	1496
CAS	195	195	195	0	0	0	416	416	416	416	416	416	416	416	416	416	416	416	416	416	416	416	416	416	416	416	416	416	416
CAI	367	367	367	0	0	0	1686	1686	1686	1686	1686	1686	1686	1686	1686	1686	1686	1686	1686	1686	1686	1686	1686	1686	1686	1686	1686	1686	1686
Petisco	1487	1487	1487	0	0	0	1487	1487	1487	1487	1487	1487	1487	1487	1487	1487	1487	1487	1487	1487	1487	1487	1487	1487	1487	1487	1487	1487	1487
Neumáticos	102	102	102	0	0	0	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	

Fuente: Elaboración propia

3.6 Output

La salida final del sistema son las tablas de requerimiento de material con lo cual se puede emitir las órdenes de compra necesarias.

3.5.1 Ordenes planificadas de compras

Finalmente al obtener la planificación de requerimientos de material sabemos exactamente qué es lo que tenemos que adquirir para cumplir con la producción a modo de ejemplo para cumplir los requerimiento de la semana 1, que consisten en 16.035 t de Clinker, debemos adquirir los siguiente:

Tabla 3.12: Solicitud eficiente de Materiales / Insumos

Requerimiento de Clinker para la semana 1*	16.035	TON
--	--------	-----

Solicitud de MP / I para Base Cálculo 1 Ton Clinker

MP / INSUMO	Nombre Genérico	Cantidad Requerida (TON)	Tiempo de Respuesta (DIAS) ¹
Tipo		Cantidad	T. Respuesta
CALIZA	CONCHUELA	12.026	7
CALIZA	TUNGA	4.955	7
CALIZA	PACHACAMITA	1.924	7
CALIZA	ÑILHUE	2.477	7
CALIZA	CAOLIN	601	7
CORRECTOR	OX FIERRO	144	7
CORRECTOR	CENIZA	722	7
CORRECTOR	RELAVE	1.203	7
COMBUSTIBLE	CAS ²	178	14
COMBUSTIBLE	CAL	335	14
COMBUSTIBLE	PETCOKE	1.355	14
COMBUSTIBLE	NEUMATICOS	93	14

Fuente: Elaboración Propia

Esta metodología reemplazaría el actual sistema que genera una orden de compra al llegar a un nivel mínimo predeterminado, sin considerar las necesidades futuras de los requerimientos para la producción ya programada.

4 Análisis de Resultados

En el siguiente capítulo, se realizará un análisis de los resultados obtenidos sobre los indicadores de la empresa, encuestas al personal, datos recopilados en terreno y la posterior aplicación de la metodología MRP en la gestión de materias primas.

4.1 Interrupción del suministro CAS, confiabilidad y factor de uso.

Existe una interrupción identificada del suministro de CAS al proceso, como muestra el extracto de Tabla 1.4 el aporte promedio de CAS al sistema es de un 1,27% siendo el objetivo de un 5%, lo que significa un incumplimiento del 74,6% sobre el objetivo. Al observar que la confiabilidad del equipo es de un 88,22%, lo que indica que el tiempo de detención asociado a fallas corresponde a un 11,78% del tiempo total y que del tiempo disponible restante en que el equipo podría estar operando, solo está en uso un 42,91% del tiempo (Tabla 1.3 – Factor de uso en los equipos principales del proceso).

Extracto Tabla 1.4 - Tasa de Reemplazo CAS.

Mes	Año	Producción Clinker (t)	Reemplazo CAS
Enero	2014	69.840	1,34%
Febrero	2014	69.120	0,94%
Marzo	2014	68.400	1,34%
Abril	2014	69.840	1,85%
Mayo	2014	68.400	1,65%
Junio	2014	77.040	1,05%
Julio	2014	66.240	1,87%
Agosto	2014	72.720	0,99%
Septiembre	2014	61.200	0,83%
Octubre	2014	74.160	1,01%
Noviembre	2014	27.360	1,36%
Diciembre	2014	68.400	1,75%
Enero	2015	64.800	1,87%
Febrero	2015	74.880	1,35%
Marzo	2015	65.520	0,89%
Abril	2015	64.080	1,60%
Mayo	2015	73.440	1,00%
Junio	2015	69.840	1,22%
Julio	2015	67.680	1,25%
Agosto	2015	74.160	1,11%
Septiembre	2015	66.240	0,90%
Octubre	2015	72.720	0,99%
Noviembre	2015	69.840	1,12%
Promedio			1,27%

Fuente: Elaboración Propia

Lo anterior indica que el problema principal no es un problema de mantenimiento y que aun si se mejora la confiabilidad del equipo el factor de uso del mismo o el tiempo en operación seguirá siendo menos de la mitad del tiempo útil, los datos recopilados sobre el consumo de CAS y consumo total del horno permiten identificar que existe un problema con la tasa de suministro de CAS, del cual solo el 11,78% del tiempo puede ser asociado a fallas mecánicas, eléctricas o de instrumentación, en tanto del resto del tiempo útil el equipo está detenido un 57,09% del tiempo, por lo tanto los indicadores corporativos de confiabilidad y factor de uso son útiles para detectar la existencia un problema, pero no son suficientes para identificar sus causas principales.

4.2 Denominación de las fallas más frecuentes

La investigación de campo registro las causas en la interrupción del suministro de CAS durante un mes (Tabla 1.10 – Fallas en abastecimiento y alimentación con CAS), con el objetivo de evitar sobrerrepresentación de eventos puntuales durante el periodo de toma de datos se generó una encuesta a los cuatro jefe de turno de la planta y al jefe de operaciones (Tabla 1.11 Encuesta). El resultado de la toma de datos en terreno entrego que el 88,7% de las causas correspondía a problemas relacionados con la disponibilidad del CAS para la operación del equipo y los resultados de la encuesta entrego como la causa más preponderante de falla el no contar con stock de CAS, lo cual confirma el problema en el abastecimiento de las materias primas.

Extracto Tabla 1.10–Fallas en abastecimiento y alimentación con CAS

N°	Descripción	% Total	% Total Acum.
1	No disponibilidad de CAS en planta	59	58,5
2	No disponibilidad de CAS en cancha	30,2	88,7
3	Horno en falla	4,3	93
4	Sistema de suministro en falla	2,9	95,9
5	Falla en huinche	1,6	97,5
6	Personal no disponible	1,1	98,6

Fuente: Elaboración propia mediante toma de datos en terreno.

4.3 Costos interrupción suministro CAS

Desde Enero del año 2014 a Noviembre del año 2015 se observa que la tasa promedio de reemplazo de Petcoke por combustible sólido alternativo ha sido de un 1,27% de la matriz energética, sin embargo el objetivo es reemplazar un 5%, este no cumplimiento del programa genera un sobre costo de 12.646.484 pesos mensuales promedio (Extracto Tabla 1.9 – Consumo actual CAS). Al determinar que el 88,7% de las causas son relacionadas a problemas en el suministro de CAS la aplicación de una metodología de gestión de Stock en este caso MRP si es implementada correctamente lograra una disminución en los costos de 11.217.431 pesos mensuales en promedio.

Extracto Tabla 1.9–Consumo actual CAS

Mes	Año	Clinker producido en el mes (t)	Reemplazo real CAS	Costo CAS Potencial aumento (Pesos)	Costo Petcoke potencial reducción (Pesos)	Costo Petcoke - Costo Cas (Pesos)
Enero	2014	69.840	1,34%	982.064	13.781.252	12.799.188
Febrero	2014	69.120	0,94%	1.077.859	15.125.527	14.047.669
Marzo	2014	68.400	1,34%	961.816	13.497.103	12.535.287
Abril	2014	69.840	1,85%	845.219	11.860.914	11.015.694
Mayo	2014	68.400	1,65%	880.350	12.353.905	11.473.555
Junio	2014	77.040	1,05%	1.169.444	16.410.743	15.241.299
Julio	2014	66.240	1,87%	796.561	11.178.101	10.381.539
Agosto	2014	72.720	0,99%	1.120.302	15.721.133	14.600.831
Septiembre	2014	61.200	0,83%	979.710	13.748.216	12.768.506
Octubre	2014	74.160	1,01%	1.136.900	15.954.047	14.817.148
Noviembre	2014	27.360	1,36%	382.624	5.369.339	4.986.715
Diciembre	2014	68.400	1,75%	854.071	11.985.132	11.131.061
Enero	2015	64.800	1,87%	779.245	10.935.099	10.155.854
Febrero	2015	74.880	1,35%	1.050.058	14.735.404	13.685.346
Marzo	2015	65.520	0,89%	1.034.059	14.510.893	13.476.834
Abril	2015	64.080	1,60%	837.059	11.746.400	10.909.341
Mayo	2015	73.440	1,00%	1.128.628	15.837.971	14.709.343
Junio	2015	69.840	1,22%	1.014.263	14.233.096	13.218.833
Julio	2015	67.680	1,25%	975.093	13.683.430	12.708.337
Agosto	2015	74.160	1,11%	1.108.342	15.553.305	14.444.962
Septiembre	2015	66.240	0,90%	1.042.928	14.635.342	13.592.415
Octubre	2015	72.720	0,99%	1.120.302	15.721.133	14.600.831
Noviembre	2015	69.840	1,12%	1.041.095	14.609.633	13.568.538
Sumatoria				22.317.993	313.187.119	290.869.126
Promedio		67.649	1,27%	970.348	13.616.831	12.646.484

Fuente: Elaboración propia desarrollada en base a los datos obtenidos del departamento de producción de Melón S.A.

4.4 Gestión de Stock

El sistema de gestión de stock actual, mantiene en promedio un stock materias primas y combustibles igual al 50% de la capacidad de cada cancha, este es el resultado de una gestión de stock basada en puntos de reorden según el nivel de la cancha y un tamaño de reorden basado en la demanda de las semanas anteriores, el costo del material inmovilizado con ese nivel de stock es de 881.350.991 pesos. La metodología MRP tendrá como resultado un stock promedio igual al lead time del producto, disminuyendo el dinero inmovilizado en stock de materias primas y combustibles a 480.013.987 pesos, lo que significa movilizar 401.337.004 pesos como se observa en tabla 4.1 – Comparativa niveles de stock promedio.

Tabla 4.1–Comparativa niveles de stock promedio.

Cuadro comparativo de stock según metodología									
Nombre	Costo unitario	Materia prima	Descripción	Lead time	Capacidad máxima de Stock	Stock actual promedio	Stock actual promedio	Stock MRP promedio	Stock MRP promedio
	Pesos/t	t/1t clinker		Semanas	t	t	pesos	t	pesos
Conchuela	\$14.193	0,750	Caliza	1	29.000	14.500	205.798.500	12.429	176.404.797
Tunga	\$13.919	0,309	Caliza	1	7.500	3.750	52.196.250	5.121	71.275.691
Pachacamita	\$8.063	0,120	Caliza	1	2.500	1.250	10.078.750	1.989	16.034.404
Ñilhue	\$9.538	0,155	Caliza	1	10.000	5.000	47.690.000	2.560	24.420.847
Caolín	\$21.451	0,038	Corrector	1	3.700	1.850	39.684.350	621	13.330.724
Fierro	\$31.345	0,009	Corrector	1	150	75	2.350.875	149	4.675.044
Ceniza	\$7.525	0,045	Adición	1	600	300	2.257.500	746	5.611.694
Relave	\$7.572	0,075	Adición	1	1.200	600	4.543.200	1.243	9.411.239
CAS	\$1.731	0,011	Combustible	2	216	108	\$186.948	182	631.095
CAL	\$18.563	0,021	Combustible	2	472	236	4.380.868	348	12.920.294
Petcoke	\$51.023	0,085	Combustible	2	20.000	10.000	510.230.000	1.409	143.744.037
Neumáticos	\$7.815	0,006	Combustible	2	500	250	1.953.750	99	1.554.122
Total						37.919	881.350.991	26.896	\$480.013.987

Fuente: Elaboración propia

4.5 Distribución de espacio almacenamiento materias primas y combustibles

A excepción del CAL, que se almacena en estanques de capacidad limitada, el resto de los once insumos tanto materias primas como combustibles son almacenados en canchas sin delimitaciones entre ellos, el diseño original de las canchas (figura 3.3) estando al 100% de capacidad podría producir con ese material 13.330 toneladas del clinker, en tanto si rediseñamos las asignaciones de espacio a cada insumo en la cancha (figura 3.4) se podría producir 59.915 toneladas de clinker antes de necesitar reabastecimiento. La optimización de la distribución de los espacios asignados en cancha también se puede observar en el porcentaje restante de insumos después de un consumo lineal como se observa en tabla 4.2.

Tabla 4.2–Diferencia consumo lineal.

Insumo	Dosificación	Actual			Propuesta		
		Tamaño actual canchas	Consumo lineal en cancha original	% Restante	Diseño de cancha	Consumo lineal en cancha optimizada	% Restante
Conchuela	0,750	29.000	9.998	66	45.000	44.936	0
Tunga	0,309	7.500	4.119	45	18.550	18.514	0
Pachacamita	0,120	2.500	1.600	36	7.200	7.190	0
Ñihue	0,155	10.000	2.059	79	9.300	9.257	0
Caolín	0,038	3.700	500	86	2.250	2.247	0
Fierro	0,009	150	120	20	550	539	2
Geniza	0,045	600	600	0	2.700	2.696	0
Relave	0,075	1.200	1.000	17	4.500	4.494	0
CAS	0,011	288	148	49	700	665	5
Petcoke	0,085	20.000	1.127	94	5.100	5.065	1
Neumáticos	0,006	500	78	84	350	349	0
		150.438	34.677	52	150.400	155.866	1

Fuente: Elaboración propia

5 Conclusiones y recomendaciones.

En el presente capítulo, se muestran las conclusiones del trabajo de título. Primero se presentan las respuestas a los objetivos específicos, posteriormente al objetivo general. Para concluir este capítulo, se harán las recomendaciones que tienen como propósito sugerir mejoras en el proceso de materias primas y combustibles en planta Melón, La Calera.

5.1 Conclusiones

El primer objetivo específico corresponde a diagnosticar la situación actual de suministro de CAS en planta Melón, La Calera. La cual se realiza mediante toma de datos en terreno, encuesta a expertos, jerarquización de causas, Pareto, diagrama causa-efecto, historial de confiabilidad, incidentes y factor de uso. El diagnóstico es que el 88,7% de los problemas asociados a este sistema son producto de un problema en la gestión de stock del combustible sólido alternativo y que el actual sistema de abastecimiento basado en puntos de reorden no cumple con el abastecimiento continuo de este insumo para la fabricación de clinker, lo que genera en parte su reemplazo por el combustible Petcoke el cual tiene un costo mayor, generando un sobre costo no deseado de 12.646.484 pesos mensualmente.

El segundo objetivo específico es formular una propuesta para el abastecimiento CAS en planta Melón, La Calera, se realiza propuesta de modificar sistema actual basado en puntos de reorden por un sistema MRP obtenido como resultado de los planes de producción y la explosión de materiales, generando órdenes de compra independientes al nivel de stock. Aumentando la tasa de reemplazo de CAS del 1,27% al 3,31%.

El tercer objetivo es elaborar una propuesta para definir los niveles de stock de materias primas y combustibles mediante el método MRP en planta Cementos Melón, La Calera. Se cambia el concepto de administración basado en porcentajes de uso del espacio disponible para almacenamiento por un sistema basado en un stock suficiente para cumplir con el lead time y los parámetros de seguridad de la compañía. Esta propuesta permite aumentar la autonomía de diseño de canchas desde sistema desde 13.330 a 59.915 toneladas de clinker.

En cuanto al objetivo general de generar un plan de abastecimiento de combustible sólido alternativo (CAS), mediante la metodología de Planificación de los requerimientos de material (MRP) en la planta de Melón La Calera. La propuesta logra cumplir este objetivo aumentando la tasa de uso de C.A.S. mediante la implementación de la metodología MRP en la planificación de la producción y gestión de stock, con lo que se logra un ahorro promedio mensual proyectado de 11.217.431 pesos. Además la metodología MRP propone un manejo de stock en función de la producción futura lo cual entrega como resultado una propuesta que logra disminuir el stock de materias primas y combustibles desde un valor de 881.350.991 pesos a 480.013.987 pesos producto de pasar de un sistema por punto de reordena un sistema basado en la demanda futura conservando solamente el stock necesario para el lead time y la política de seguridad de la empresa.

5.2 Recomendaciones

En relación a la información recopilada y los resultados obtenidos después de hacer los análisis, se plantean las siguientes recomendaciones importantes para la empresa.

- Redefinir la distribución de stock en canchas mediante la metodología MRP, en específico los stock de materias primas y combustibles deben ser analizados como una parte del producto final por lo cual el stock debe ser en base a una relación específica entre ellos, explicitada en el listado de materiales (BOM) del MRP.
- Capacitar al personal en la metodología MRP, especialmente en lo que busca la metodología y sus beneficios.
- Generar procedimiento formal para la solicitud de materias primas y combustibles incorporando la metodología MRP.
- Debido a los buenos resultados se recomienda a futuro ampliar el alcance de la metodología del MRP dentro de la misma planta y posteriormente a otras áreas de la empresa como Hormigones, Morteros y Áridos. De implementarse a nivel corporativo se puede expandir software ya presente en la empresa en el área comercial, JD Edwards, en su módulo MRP.
- Implementar todas las recomendaciones mediante la gestión del cambio, en la cual el Sponsor debe ser el Gerente de Planta La Calera y el Agente el Jefe de Producción. Lo anterior debido a que se aprecia en la planta personal con más de 25 años realizando tareas de la misma manera, quienes se observa presentaron resistencia al cambio.

6 Bibliografía

- **[Palacio13]**(2013). Palacio P., Alvaro. "Total Productive Maintenance: Implementando el TPM", 2013.
- **[Crespo07]**(2007) Crespo Márquez A. The maintenance management framework. Models and methods for complex systems maintenance. London: Springer Verlag.
- **[Denney05]** (2005) Denney R. Succeeding with Use Cases: Working Smart to Deliver Quality. Addison-Wesley Professional Publishing.
- **[Rosaler02]** (2002) Rosaler, Robert C. Manual del Ingeniero de Planta. Mac-Graw-Hill/Interamericana de Editores, S.A. de C.V
- **[Ramon90]** (1990)RAMOS ANTÓN, ARISTIDES, Procedimiento para la valoración cuantitativa de los riesgos. Métodos de los árboles de fallos, Madrid, COASHIQ, 1990
- **[Dávila08]**(2008) Flores Dávila Ana Laura Sistemas MRP Material Requieriment Planning (Planeacion de recurso de materiales).
- **[Chase03]**(2003). Chase R. B, A. N. Administración de producción de operaciones. Edición McGraw-Hill.
- **[MV1?]**(2000). M., M. V. Enterprise Resource Planning. En Production and inventory management journal 41. Survey.
- **[Mark05]** (2005). Mark, B. Recuperado el 2 de Mayo de 2009, de ERP for Beginners
- **[Rondeau01]** Rondeau Patrick J, L. L. (2001). "Evolution of manufacturing planning and control systems From reorder point to enterprise resource planning". . Alejandria: Production and inventory management journal.
- **[Universidad Melón15]** Documentacion de capacitacion interna año 2015 Universidad Melón.
- **[Melón15]**Memoria anual Empresas Melon S.A.
- **[Melón14]**Memoria anual Empresas Melon S.A.
- **[Melón13]**Memoria anual Empresas Melon S.A.
- **[Melón10]**Memoria anual Empresas Melon S.A.

7 Otras informaciones

- [Lopez15] Javier López, Jefe de Producción planta Melón La Calera.
- [Allendes15] Renzo Allendes, Jefe de Servicios Generales Planta Melón La Calera.
- [Rey15] Marcelo Rey, Gerente de planta Melón La Calera.
- [Vidal15] Patricio Vidal, Programador en gestión de procesos.
- [Corpus15] Juan Corpus, Representante RHI para Sudamérica.
- [Cemex15] Visita Planta Cemex Agosto 2015, Planta Tepeaca, México.
- [Lafargeholcim15] Visita Planta Lafargeholcim Octubre 2015, Planta Tilttil, Chile.