

Conferencia Latinoamericana de Gestión de Mantenimiento  
y Confiabilidad Operacional 2008

## RESUMEN

## Determinación de equipos críticos en una planta de Chancado a través de la plataforma R-MES

Dr. Adolfo Arata (1)  
Ing. Roberto Villalón (2)

En este trabajo se presenta un análisis de equipos críticos para una planta de chancado, mediante el monitoreo de indicadores claves de mantenimiento durante 6 meses. La diagramación lógica-funcional de la planta y el procesamiento de la data histórica de detenciones, se realiza a través de la metodología RBD (Reliability Block Diagram) con la plataforma R-MES (Reliability and Maintenance Engineering System). El criterio que se utiliza para la identificación del equipo crítico es el del Costo de la Falta o de Ineficiencia, que se genera de la combinación de la frecuencia de fallas (Indisponibilidad) y los costos globales generados por la no facturación.

Los resultados obtenidos permiten individualizar aquellos equipos con comportamiento crítico (equipos que presentan altos Costos de la Falta) focalizando así el uso de recursos orientados a generar procesos de mejora continua. Esto permite propender al logro de los más altos niveles de disponibilidad posibles durante todo el ciclo de vida de los activos, mejorando de esta manera la competitividad de la organización.

---

(1) Partner Director CGS. Viña del Mar, V Región, Chile. e-mail: [aarata@mes.cl](mailto:aarata@mes.cl)

(2) Maintenance Engineering. Project Engineer CGS. Viña del Mar, V Región, Chile. e-mail: [rvillalon@mes.cl](mailto:rvillalon@mes.cl)

## 1.- Introducción

Las actuales tendencias demuestran que la función mantenimiento se está transformando en un factor determinante para mejorar la competitividad de las empresas. Por su efecto sobre los costos globales, esta actividad propia de los sistemas productivos, ha demostrado que puede influir positivamente sobre la productividad de las compañías reforzando además los principios de satisfacción del cliente, respeto del medio ambiente y cuidado de las personas.

En el panorama industrial la tendencia es modificar la tradicional opinión que considera al mantenimiento como un centro de costo complejo y difícil de gestionar tanto organizativa como económicamente. Las empresas referentes en el área consideran el mantenimiento como una unidad de negocio o de resultados que debe ser tratada como tal a través de metodologías organizativas y herramientas ingenieriles que puedan contribuir a la competitividad de la unidad.

Estas metodologías y herramientas tienen necesariamente que transformarse en apoyo a la toma de decisiones, ya que la clave en la gestión es abordar los problemas de forma global minimizando los riesgos asociados a la incertidumbre, para poder de esta manera decidir sobre una base rigurosa y confiable.

Una Gestión Optimizada de Activos, requiere de la priorización de los esfuerzos en post de racionalizar los recursos. De esta manera, tener la posibilidad de contar con la metodología y las herramientas que permiten identificar aquellos equipos que impactan de mayor forma en la criticidad de plantas, se torna una ventaja competitiva en pro del logro de una mayor productividad y tender al logro de la sustentabilidad de la competitividad empresarial.

## 2.- Objetivos

El objetivo general de este trabajo es la determinación de los equipos críticos de una Planta de Chancado a través del uso de la Metodología RBD (Reliability Block Diagram) y la Plataforma Reliability and Maintenance Engineering System (R-MES), bajo el criterio del Costo de la Falta o de Ineficiencia.

Entre los objetivos específicos es posible mencionar:

- Diagramar lógico-funcionalmente la Planta de Chancado
- Validar la base de datos de detenciones de equipos de la planta.
- Procesar la base de datos por intermedio de la plataforma R-MES
- Determinar los equipos críticos de la planta a partir del análisis del indicador Costo de la Falta.

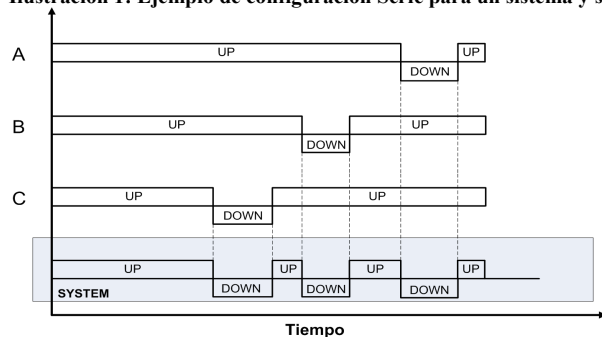
## 3.- Bases Conceptuales

### Metodología RBD

La metodología RBD permite diagramar cualquier tipo de planta compleja entregando soporte para configuraciones redundantes y otros escenarios de plantas reales. A continuación se presentan las bases conceptuales de las cinco configuraciones lógico-funcionales incluidas en la metodología RBD que posee el Sw R-MES, cuatro de ellas ampliamente difundidas en la literatura y una (Fraccionamiento), perteneciente al desarrollo y know how de los especialistas de R-MES.

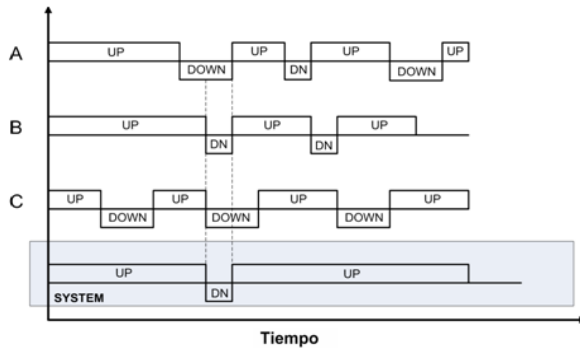
**Serie:** La configuración en *Serie* implica que la falla de cualquier equipo o subsistema bajo este modelo provoca una detención total del sistema al que pertenecen. Tal como lo muestra la figura siguiente el sistema está compuesto de 3 equipos en serie (A, B, C). En este caso la detención (downtime) de cualquiera de ellos provoca una detención del sistema.

**Ilustración 1: Ejemplo de configuración Serie para un sistema y sus elementos.**



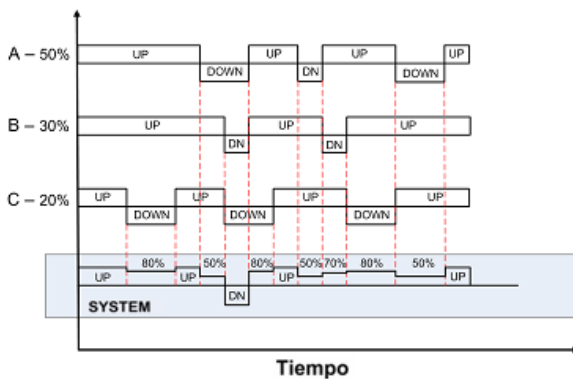
**Paralelo:** La configuración en paralelo relaciona a dos o más equipos siendo cada uno de ellos capaz de soportar la carga total de la etapa del proceso. Tal como muestra la figura 2, un sistema paralelo se encuentra indisponible solamente el tiempo en que coinciden en detención todos los elementos que lo conforman.

**Ilustración 2: Ejemplo de configuración Paralelo para un sistema y sus componentes.**



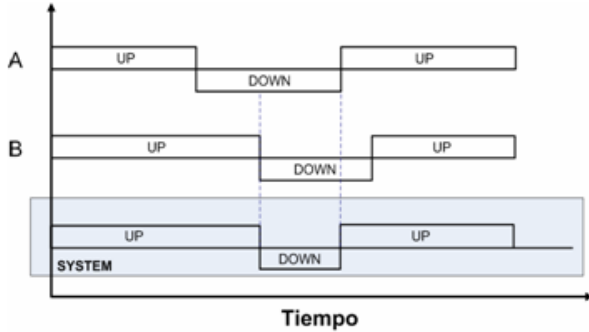
**Fraccionamiento:** La configuración en fraccionamiento representa que dos o más equipos se reparten la carga total de trabajo según una ponderación generalmente asociada a capacidad productiva de los equipos. A diferencia del sistema en paralelo la falla de cualquiera de los equipos supone una pérdida de carga equivalente al impacto del equipo en el proceso de producción. En este caso, a modo de ejemplo se tienen 3 equipos con impactos de 50%, 30% y 20% en el proceso, por lo tanto la detención de cualquiera de ellos tiene un impacto parcial sobre el sistema dependiendo de la capacidad de procesamiento perdida.

**Ilustración 3: Ejemplo de configuración Fraccionamiento para un sistema y sus componentes.**



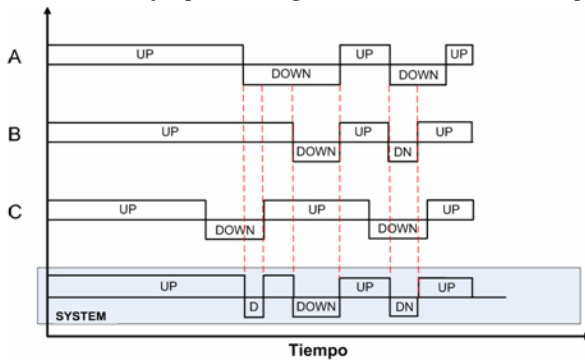
**Stand By:** La configuración de subsistemas en Stand By se compone de dos equipos, uno primario y otro secundario. El equipo primario opera hasta su falla y tras este evento lo reemplaza el equipo secundario, capaz de soportar en un 100% la capacidad del primario. La falla en el subsistema se verifica cuando los equipos se encuentran en un estado de falla de manera simultánea. A modo de ejemplo se presenta la figura siguiente:

**Ilustración 4: Ejemplo de configuración Stand By para un sistema y sus componentes.**



**Redundancia Parcial:** El subsistema en configuración de redundancia parcial está compuesto por “n” equipos, de los cuales se requiere una fracción para la correcta operación del proceso productivo. En el caso del ejemplo se tiene 3 equipos de los cuales se requiere al menos 2 disponibles para que el sistema se encuentre en esta condición.

**Ilustración 5: Ejemplo de configuración Redundancia Parcial para un sistema y sus componentes.**



A partir de las definiciones existentes en la metodología RBD, es posible determinar la configuración lógica más apropiada para cada etapa de los procesos en estudio. Mediante la integración de la totalidad de equipos, líneas y sistemas principales de la planta en estudio, es posible obtener indicadores clave de mantenimiento al nivel que el usuario desee consultar (equipo, líneas, subsistemas y planta).

## Plataforma Reliability & Manintenance Engineering System (R-MES)

En el último tiempo se ha instalado con mayor fuerza en las organizaciones el concepto de Ingeniería de Mantenimiento (IM), como respuesta al cada vez más creciente interés por incorporar técnicas y herramientas de análisis de confiabilidad para la optimización de su gestión de activos. En este desafío la Ingeniería de Mantenimiento (IM) juega un rol relevante, y si bien existe conciencia a nivel empresarial de su importancia, no ha logrado desarrollarse adecuadamente ya que ha prevalecido una cultura orientada a la intervención, por sobre la creación de las competencias profesionales necesarias para incorporarla realmente en la organización.

Como una forma de facilitar la implementación y el desarrollo de la IM, el Centro de Desarrollo de Gestión Empresarial S.A. (CGS), ha desarrollado el Software R-MES que es una aplicación que da respuesta a los actuales desafíos en el área del mantenimiento de las empresas, a través de la proyección y simulación de diversos escenarios.

El Sw R-MES es una herramienta confiable, rigurosa, amigable y personalizable, desarrollada bajo plataforma JAVA, que facilita el proceso de "Ingenierización" del mantenimiento a través de diferentes módulos, entre los cuales se pueden mencionar:

- Diseño lógico funcional de sistemas. (Reliability Blocks Diagram RBD)
- Importación y exportación de data.
- Ajustes a distribuciones probabilísticas de comportamientos históricos. (Weibull – Exponencial)
- Análisis de confiabilidad de sistemas.
- Disponibilidad y costos globales para equipos y sistemas.
- Reemplazo de equipos.
- Análisis de repuestos críticos.
- Análisis de componentes críticos para el desarrollo del plan de mantención productiva.

El mantenimiento ha evolucionado de manera importante pudiéndose identificar cambios dramáticos en la conceptualización de la función mantención, manifestándose estos cambios en etapas propias de una evolución histórica.



El software R-MES pertenece a la última generación en conceptos relacionados con el mantenimiento, ya que es producto de años de investigación de CGS en Ingeniería de Mantenimiento, además de la experiencia recopilada en los innumerables trabajos de asesoría en la industria nacional y extranjera. De esta manera, el potencial del Software R-MES se aprecia cuando, a través de una sólida estructura conceptual y matemática, se obtienen indicadores históricos y probabilísticos.

### Costo de la Falta

El criterio del Costo de la Falta es utilizado para la determinación de equipos críticos, porque recoge además del efecto de la Disponibilidad, el efecto de la Configuración lógico-funcional de los sistemas. El Costo de la Falta corresponde a la pérdida económica asociada a la indisponibilidad de las plantas para producir, ya que se asume que los tiempos muertos de producción son irre recuperables (Procesos Continuos).

El indicador se construye a partir de la siguiente función:

$$C_f [\$ / Hr] = \frac{CB}{H} = \frac{F(1-ICV)}{H}$$

Donde  $C_f$  es el Costo de la Falta horario,  $CB$  es el Costo de la Falta Base,  $H$  son las horas de operación anual,  $F$  es la facturación anual e  $ICV$  es el Impacto de los Costos Variables.

## 4.- Desarrollo

Por motivos de extensión del trabajo, no se presenta la configuración lógica-funcional de la totalidad de la planta, sin embargo los resultados y conclusiones están en función de los resultados que el Sw R-MES arroja para cada uno de los equipos, líneas y sistemas principales de la planta completa. Para este efecto se escoge una sección representativa de la planta en la que se muestre la mayor cantidad de configuraciones que soporta la metodología RBD. De esta manera el desarrollo de la configuración del resto de la planta se extiende a partir del desarrollo de la configuración del área escogida.

### Planta Chancado Estudio

La planta en estudio consta de las siguientes secciones: Chancado Secundario, Chancado Terciario, Proceso Aglomeración y Alimentación a Pila de Lixiviación. El proceso parte en la zona de acopio de mineral grueso (Stock Pile). Desde ahí el mineral es transportado hacia el área de Chancado Secundario, donde se reduce su



tamaño y es alimentado al área de Chancado Terciario. En esta área el mineral ha sido reducido al tamaño adecuado para ser alimentado al proceso de Aglomeración, proceso en el cual se le adicionan los reactivos necesarios para alimentar posteriormente la Pila de Lixiviación.

Por sus características lógico-funcionales, el proceso escogido para mostrar el desarrollo de la configuración según la metodología RBD es el Proceso de Aglomeración.

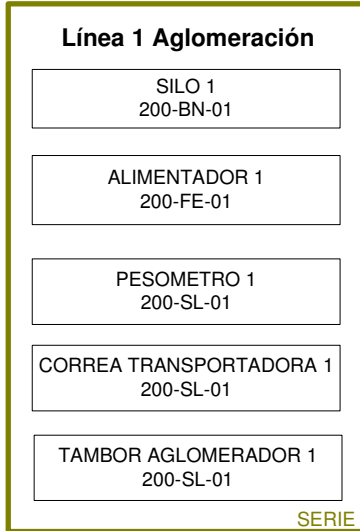
### Proceso Aglomeración

Esta área esta formada por el subsistema Aglomeradores, compuesto por 3 Líneas independientes; y por 5 equipos a saber, Agua Industrial, Ácido Sulfúrico, Lavador de Gases y Colector de Polvo de Aglomeración.

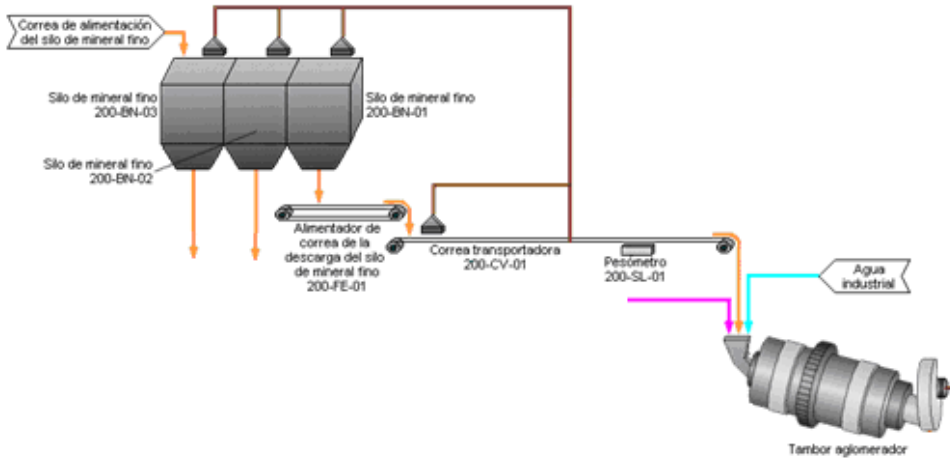
### Subsistema Aglomeradores

Cada línea de Aglomeración esta formada por 5 equipos, a saber, Silo, Alimentador, Pesómetro, Correa Transportadora y Tambor Aglomerador. Para efectos de mostrar el detalle de los diagramas lógicos funcionales, solo se mostrarán los equipos de la Línea 1. Cabe destacar que la detención de cualquiera de los equipos provoca la detención de la línea de Aglomeración, por cuanto operan bajo lógica funcional de Serie.

Ilustración 6. Diagrama Lógico Funcional subsistema Línea 1 Aglomeración



**Ilustración 7. Flow Sheet Línea 1 Aglomeración**



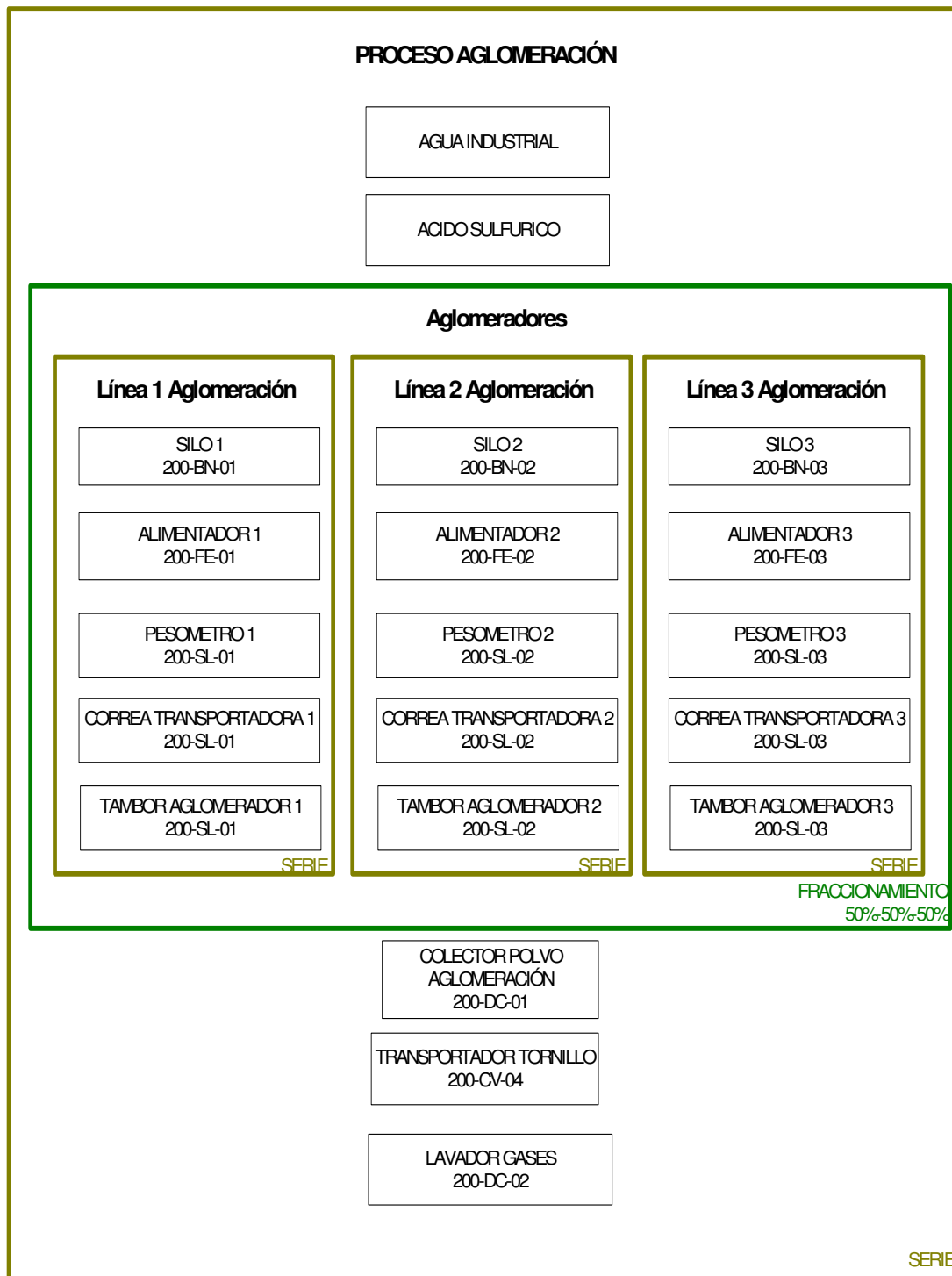
Integrando las 3 líneas se puede decir que operan bajo lógica funcional de Fraccionamiento, por cuanto una detención en cualquiera de ellas provoca una pérdida parcial de carga en el subsistema. Se debe dejar en claro que la caída de una línea no provoca impacto en el sistema, debido a la capacidad ociosa contemplada para el subsistema. La caída de 2 líneas en forma simultánea provoca una disminución de la capacidad en un 50%. Ahora bien, la detención de los 3 equipos en forma simultánea, provoca la detención total del subsistema. Por lo tanto se tiene una capacidad ociosa de 50%, en esta etapa del proceso (se requieren 2 de las 3 líneas para tener un 100% de disponibilidad).

**Ilustración 8. Diagrama Lógico Funcional subsistema Aglomeradores.**

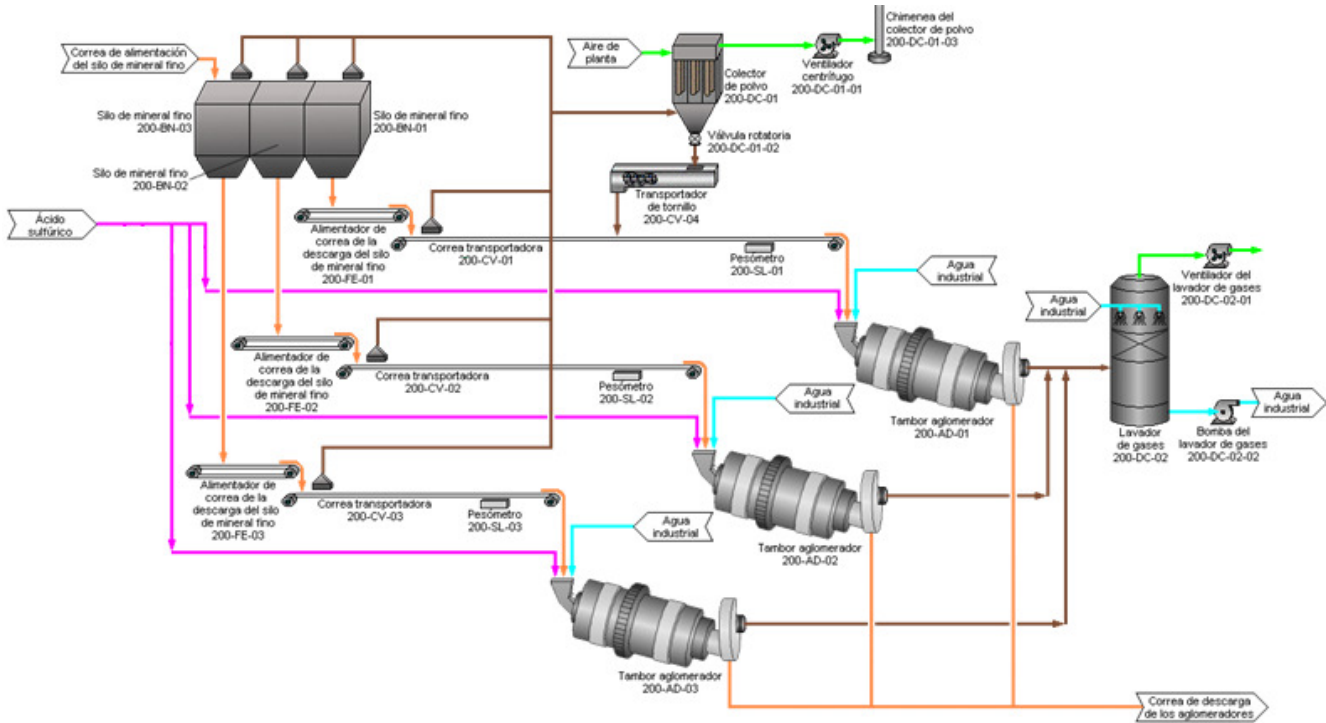


Integrando la totalidad del área se puede decir que el subsistema Aglomeradores y los 5 equipos, operan bajo lógica funcional de Serie, por cuanto la detención de cualquiera de los elementos provoca la detención del área.

**Ilustración 9. Diagrama Lógico Funcional área Proceso Aglomeración.**



**Ilustración 10. Flow Sheet Proceso Aglomeración.**



## Resultados del Análisis

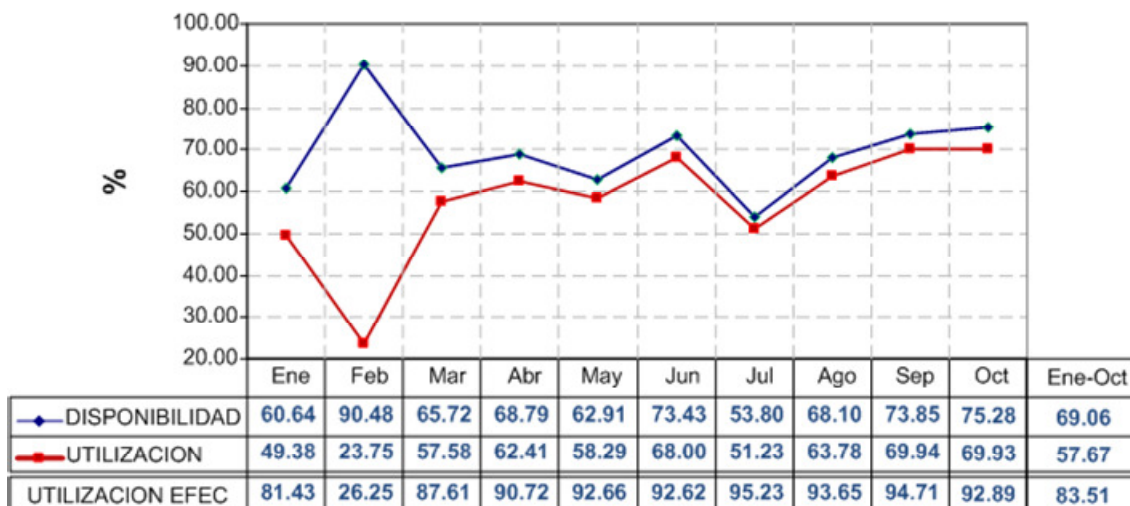
A partir de los registros históricos de detenciones de la Planta de Chancado para el período enero-octubre 2007, se obtienen los indicadores clave de mantenimiento. Esta base de 10 meses fue validada por los encargados del área de operaciones y mantenimiento de la Planta de Chancado en estudio.

A continuación se presentan los principales resultados obtenidos al procesar la información con el Sw R-MES versión 4.1

## Disponibilidad – Utilización

El siguiente gráfico muestra el comportamiento durante el periodo Enero Octubre de 2007 de la Planta de Chancado en cuanto a Disponibilidad, Utilización y Utilización Efectiva. La Disponibilidad muestra en porcentaje el tiempo posible de operar, que se construye a partir del tiempo Planeado descontando las intervenciones de mantención correctivas y preventivas (planificadas). La Utilización también en porcentaje, descuenta a la disponibilidad el tiempo asociado a detenciones de carácter operativo, sean estas programadas y no programadas. Finalmente la Utilización Efectiva muestra en porcentaje la relación entre la Utilización y la Disponibilidad, es decir que porcentaje del tiempo posible (Disponibilidad) fue utilizado para operar.

**Ilustración 11: Gráfico Disponibilidad Utilización Planta de Chancado.**



Fuente: elaboración propia según datos entregados por el Sw R-MES.

En anexo se muestra la disponibilidad para la totalidad de Sistemas, Líneas y Equipos incluidos en la Planta en el período de estudio, como muestra del análisis sistémico realizado.

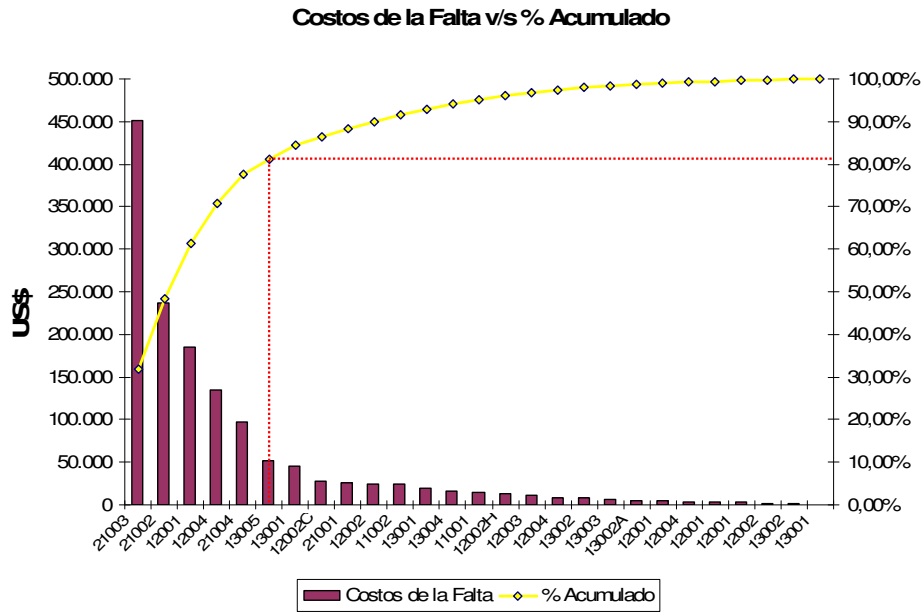
Se puede apreciar que en el periodo Febrero 2007 la Utilización fue muy baja en relación con la Disponibilidad. Este efecto es recogido por la Utilización Efectiva. De acuerdo a la base de datos (por motivos de extensión del trabajo no se muestra), la baja utilización de febrero es explicada por dos detenciones de carácter externo, debido a una detención de un proceso aguas arriba que afecta a la Planta completa. Entre las 2 se llevan el 80,6% de las detenciones de carácter operacional y el 70,1% del total de detenciones del periodo.

### Costo de la Falta

Se estimó una facturación anual de 10.950.000 US\$, un Impacto de los Costos Variables igual a 20% y un total de 8.760 horas de operación anual, ya que no fue posible obtener estos datos reales. Con estos datos se determina el Costo de la Falta horario, que asciende a los 1.000 [US\$/Hr].

A continuación se presentan dos gráficos que resumen la información del análisis de Costo de la Falta para la planta en estudio.

Ilustración 12: Gráfico Disponibilidad Utilización Planta de Chancado.

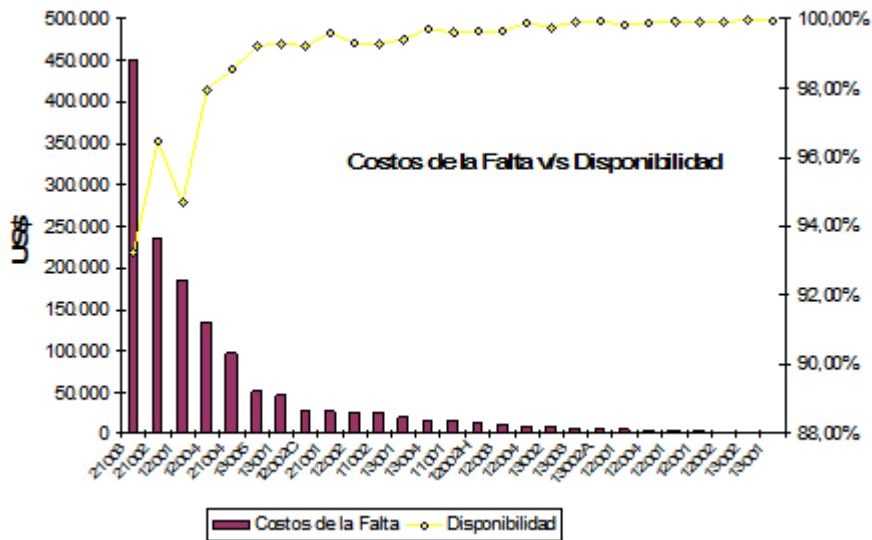


Fuente: elaboración propia según datos entregados por el Sw R-MES.

Del gráfico se puede apreciar que los 6 primeros equipos explican el 80% de los Costos de la Falta de la Planta, siendo el equipo Correa Apiladora Móvil (21003) el que presenta el mayor porcentaje (32%).

Al revisar la configuración lógico-funcional del equipo, es posible percatarse que está en serie con la planta, por cuanto toda detención del equipo representa una detención total de la planta.

Ilustración 13: Gráfico Disponibilidad Utilización Planta de Chancado.



Fuente: elaboración propia según datos entregados por el Sw R-MES.

Del gráfico es posible apreciar, el comportamiento de los equipos de la planta en función de los Costos de la Falta y la Disponibilidad. Si se toma como ejemplo la situación de los equipos Correa Alimentación Pila (21002) y Harnero Secundario 1 (12001), se puede decir que para el período enero-octubre de 2007, el equipo Correa alimentación Pila generó Costos de la Falta por 237.000 US\$ y tuvo una disponibilidad del 96,45%. Por su parte el equipo Harnero Secundario 1 generó Costos de la Falta por 185.000 US\$ y tuvo una disponibilidad del 94,68%.

Al revisar la configuración lógico-funcional de los equipos, es posible percatarse que el equipo Correa alimentación Pila está en serie con la Planta, por cuanto toda detención del equipo representa una detención total de la planta, mientras que el equipo Harnero Secundario 1, es parte de un sistema Fraccionado 50%-50%, por cuanto toda detención del equipo representa una detención parcial del 50%.

## 5.- Conclusiones

A partir de los resultados expuestos en la sección anterior se puede concluir lo siguiente:

- La Metodología RBD presente en el Sw R-MES, brinda el soporte necesario para la diagramación de plantas complejas.
- El Sw R-MES es una herramienta, que permite realizar análisis de plantas complejas a través de la configuración lógico-funcional de éstas y el procesamiento de data histórica.
- El criterio del Costo de la Falta utilizado por el Sw R-MES para la elección de los equipos críticos, es una buena manera para determinar la criticidad de los equipos a nivel sistémico de planta, ya que incluye el criterio de la indisponibilidad y del impacto de una detención de equipo a nivel del sistema. Además permite priorizar los esfuerzos y no desperdiciar recursos en aquellos equipos que tienen poco o nulo impacto en la disponibilidad sistémica.
- Se reafirma el hecho de que la disponibilidad por sí sola no es un criterio suficiente para la determinación de criticidad, ya que pueden haber equipos con baja disponibilidad pero que son parte de sistemas redundantes, lo que implica un impacto parcial o nulo en la disponibilidad sistémica, mientras que un equipo en serie y que tiene alta disponibilidad, puede generar un mayor impacto a nivel sistémico, debido a que su relación con el sistema es uno a uno.

- El Costo de la Falta, al permitir identificar la criticidad de equipos e instalaciones, representa el punto de partida para análisis más específicos (como RCM, simulaciones de reemplazo de equipos, etc) que pretenden identificar con un mayor grado de certeza los fenómenos relacionados, permitiendo de este modo ser un aporte más tangible a la toma de decisiones y con esto aportar al proceso de ingenerización de la función mantenimiento.

El Sw R-MES permite realizar simulaciones de cambios genéticos, para analizar los impactos de aumento de redundancia cuando ya no se pueden mejorar los indicadores de un equipo crítico a partir de la optimización de su plan de mantenimiento. De esta manera el Sw R-MES contrasta los Costos Globales antes y después del aumento de redundancia.



