

Adolfo Arata Andreani^a, José Villarroel Bozzolo^b,
Emilio Ahumada Mora^b y Rodrigo Andia Barrera^d

^a Ingeniero Especialista Senior (CGS) - Dirección de Proyectos

^b Ingeniero Especialista Confiabilidad (CGS) – Área Proyectos

^c Ingeniero de Terreno (CGS) – Área Proyectos

19 de Marzo de 2009

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo determinar el comportamiento de los procesos de Chancado Primario, esto considerando las dimensiones de Confiabilidad, Mantenibilidad, Utilización y Productividad, lo que permite identificar las causas de las pérdidas del sistema y definir las acciones de mejoramiento posibles (mejoras de planes, equipos y prácticas operacionales).

En relación a los procesos en estudio, estos se agruparon en tres sistemas principales:

- Sistema A: Chancado Primario X, Sistema de Transporte 1 y Prechancado.
- Sistema B: Chancado Primario Y, Primario Z y Sistema de Transporte 2.
- Sistema C: Chancado Terciario / Cuaternario.

La metodología utilizada corresponde a Diagramas de Bloques de Confiabilidad a través de la plataforma informática R-MES, que efectúa el cálculo sistémico de los *Indicadores Claves de Proceso* (KPI), permitiendo identificar los equipos de mayor impacto en el negocio y en los cuales se deben focalizar las acciones de mejora. El período de estudio corresponde al trimestre Octubre - Diciembre del año 2008.

Keywords: (Confiabilidad, Overall Equipment Effectiveness, Indicadores Claves de Proceso)

1. Análisis de Efectividad Global de los Procesos

El primer objetivo del análisis es determinar las causas principales de pérdidas de producción y su incidencia en el negocio. En este sentido, si bien es simple determinar la brecha respecto de los planes de producción, tanto en el caso de incumplimiento como sobrecumplimiento de los mismos, no es sencillo segmentar esta diferencia en sus causas básicas: Actividades de Mantenimiento, Detenciones Operacionales, Velocidad de Producción y Calidad del Producto.

El análisis sistémico desarrollado con el sistema R-MES permite aislar el efecto de cada causa, identificando los tiempos muertos de producción de cada una de ellas. Primeramente corresponde una definición de los tiempos asociados al análisis:

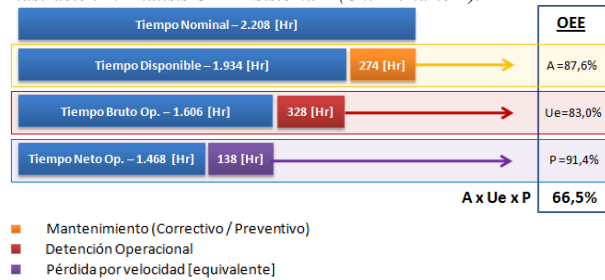
- a. Tiempo Nominal (TN): corresponde al tiempo calendario del período en análisis.
- b. Tiempo Disponible (TD): corresponde al tiempo durante el cual el proceso se encuentra disponible para operar. En este caso se descuenta del TN, el tiempo de

ejecución de las actividades de Mantenimiento ya sean producto de averías imprevistas (Mtto. Correctivo) o actividades planificadas (Mtto. Preventivo).

- c. Tiempo Bruto de Operación (TB): es el tiempo real de operación del proceso, se obtiene descontando del TD las detenciones de tipo operacionales o reservas, estas últimas debido a causas externas a la Planta.
- d. Tiempo Neto de Operación (TE): es equivalente al tiempo efectivo de producción considerando una velocidad de procesamiento normal, previamente definida para el proceso. Se calcula como la razón entre la producción del período y el parámetro de productividad normal (velocidad) definido para la Planta.

Para el Sistema compuesto por la planta de Chancado Primario X, Prechancado y Sistema de Transporte 1 asociado, el estudio de tiempos arroja el siguiente resultado.

Ilustración 1: Análisis OEE – Sistema A (Ch. Primario X).



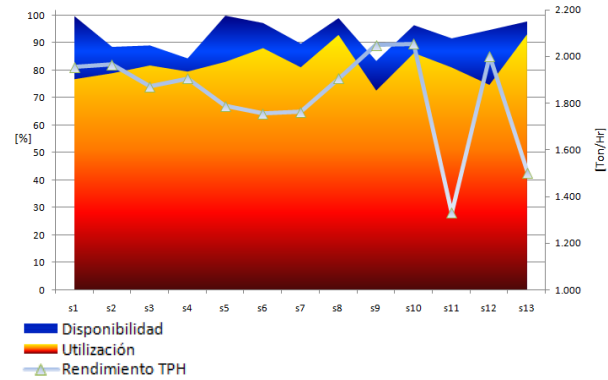
En este caso los tiempos muertos de producción se distribuyen de acuerdo a la siguiente estructura: Actividades de Mantenimiento 274 [Hr] (Programado 140 [Hr] y Correctivo 134 [Hr]); 328 [Hr] de tiempo disponible no utilizado y 138 [Hr] de pérdida equivalente de tiempo por baja velocidad del proceso. Esto último considerando una velocidad normal de 2.000 [Ton/Hr] medida respecto del tiempo de utilización del proceso, siendo la real de 1.828 [Ton/Hr] para el período.

A modo de evaluar el efecto de los factores principales de detención del proceso, se calculan indicadores porcentuales en cada dimensión que son: *Disponibilidad* (A), la que incorpora el impacto de las actividades de mantenimiento sobre el proceso; *Utilización Efectiva* (U_e) que responde al porcentaje del tiempo disponible efectivamente utilizado y la *Productividad* (P) como indicador del rendimiento del proceso.

En el caso del Sistema A los resultados de los factores son: Disponibilidad 87,6%, Utilización Efectiva 83,0% y Productividad 91,4%. Estos indicadores determinan el impacto de cada causa en el tiempo improductivo del proceso. Combinando los resultados se puede señalar que el

indicador de la efectividad global del proceso es de un 66,5% (Disponibilidad x Utilización x Productividad).

Ilustración 2: Disponibilidad, Utilización y Productividad – Sistema A (Ch. Primario X)

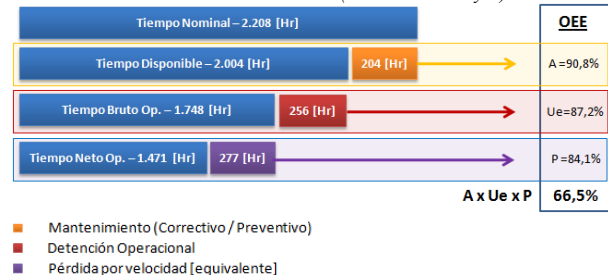


De manera complementaria se presenta en la Ilustración 2, la evolución de los indicadores de Disponibilidad, Utilización Total y Productividad del Sistema A considerando una métrica semanal. A modo de resumen se tiene una brecha entre Disponibilidad y Utilización Total (U_T) de la Planta de un 14,6% y una velocidad media de procesamiento de 1.828 [Ton/Hr].

En el caso de las Plantas de Chancado Primario Y, Primario Z y Sistema de Transporte 2 los resultados sistémicos indican 123 [Hr] de Mantenimiento Programado, 81 [Hr] de Reparación de Averías (204 Total en Mantenimiento), 256 [Hr] de Detenciones Operacionales y una pérdida equivalente a 277 [Hr] por baja velocidad del proceso, esto relativo a una producción normal de 1.900 [Ton/Hr] respecto al tiempo de utilización de la Planta. El estudio de los factores clave en este caso indica una Disponibilidad de 90,8%, Utilización Efectiva de 87,2% y Productividad de 84,1% lo que indica que el factor de mayor incidencia en las pérdidas es la velocidad de producción, siendo la real de 1.599 [Ton/Hr] y la definida como Normal de 1.900 [Ton/Hr].

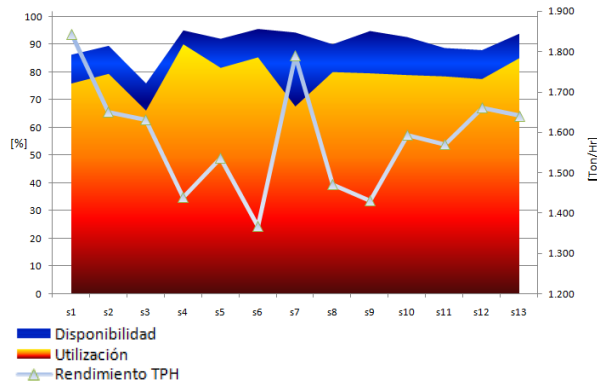
Considerando los tres factores: Disponibilidad, Utilización Efectiva y Productividad el índice de efectividad global del proceso en este caso es de un 66,5%, de acuerdo al detalle presentado en el siguiente cuadro descriptivo:

Ilustración 3: Análisis OEE – Sistema B (Ch. Primario Y y Z).



Cabe destacar que ambas plantas presentan el mismo índice de rendimiento global (66,5%), sin embargo los factores de mayor incidencia en cada caso difieren: en el caso del *Sistema A* la utilización efectiva aparece como el factor de menor índice (83,0%) y en el *Sistema B* corresponde a la Productividad con un factor de 84,1%.

Ilustración 4: Disponibilidad, Utilización y Productividad – Sistema B (Ch. Primario Y y Z).



Respecto de la evolución de los indicadores en el período en estudio se presenta la *Ilustración N°4*, siendo los resultados globales de Disponibilidad de 90,8%, Utilización Total 79,2% y Productividad Media 1,581 [Ton/Hr] medidas respecto del tiempo de utilización de la Planta.

La mejora en la eficiencia, obviamente pasa por el mejoramiento en las tres dimensiones observadas, partiendo por aquellas de que presentan una eficiencia menor, estudiando las causas para minimizar los tiempos muertos de producción y la subutilización de la capacidad instalada.

A modo de referencia la producción del trimestre fue menor a la meta planificada (del P0), siendo los resultados los siguientes:

Tabla 1: Producción Real v/s Planificada y Cumplimiento – Sistemas A y B.

	P0 [KTon]	Real [KTon]	Real/P0 [%]
Sistema A	3.461	2.935	84,8
Sistema B	3.201	2.795	87,3

De acuerdo a estudios previamente desarrollados por CGS, las principales causas que explican los tiempos de detención operativa en las Plantas de Chancado Primario, son las siguientes:

- a) Sin Alimentación – Espera de Mineral (incidencia de 45% del tiempo en detención operacional): Se refiere a la falta de alimentación a Planta de Chancado Primario, por la naturaleza discontinua de

traspaso de carga desde Mina o por una detención operativa o por mantenimiento en la misma.

- b) Detención Operacional Programada (incidencia de 30% del tiempo en detención operacional): En esta categoría los elementos de mayor incidencia corresponden a cambios de turno, setup de procesos, calibración, etc.
- c) Detención Operacional no Programada (incidencia de 7% del tiempo en detención operacional): Son eventos operacionales imprevistos que implican detención de la Planta, por ejemplo atollos, bloqueo de equipos, etc.
- d) Detención Proceso Aguas Abajo (incidencia de 14% del tiempo en detención operacional): Detenciones de Planta Aguas Abajo, que implican que el stock pile acumule su capacidad máxima, con la consecuente detención del proceso de Chancado Primario.
- e) Reserva por falta en suministro (incidencia de 4% del tiempo en detención operacional): Corresponde a detenciones por falta o falla en los sistemas de alimentación de energía eléctrica, agua u otros insumos del proceso.

Las recomendaciones en el caso particular de las Plantas de Chancado Primario, corresponden a las siguientes:

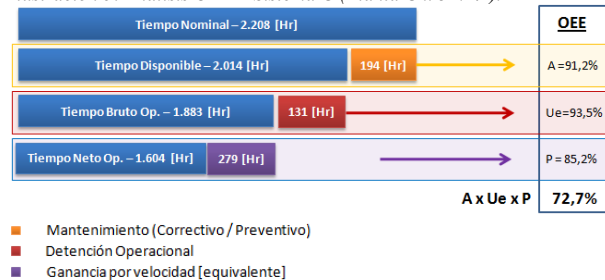
- a) Clasificar las detenciones operacionales de Planta acuerdo a la normativa XXXXX, que diferencia entre detenciones externas (reservas) e internas; programadas y no programadas. Esto permite identificar de mejor manera los focos de pérdida, estudiarlos y reducir su impacto en el proceso.
- b) Establecer límites de control de la productividad horaria de la Planta, evitando en lo posible salir de la banda establecida, tanto por sobrecarga como subutilización. Además es recomendable considerar la productividad horaria del proceso como forma de determinar su influencia en el cumplimiento de los planes de producción. Los aspectos técnicos de esta medida se encuentran prácticamente abordados en el sistema PI System, el que entre otras funcionalidades permite monitorear la velocidad instantánea del proceso, restando definir los límites aceptables.
- c) Considerando que es deseable obtener y mantener altos niveles de efectividad global de los procesos (OEE), es imprescindible un programa efectivo e integrado de Producción y Mantenimiento en y entre las distintas gerencias de proceso, de manera de considerar los procesos de manera integrada. En este sentido se considera importante evaluar y

asimilar la filosofía de Total Quality Maintenance (TQMain) para desarrollar los Planes de Producción/Mantenimiento de las plantas.

A modo de simulación de los resultados, si se hubiera utilizado la capacidad de cada Planta a la Velocidad definida como *Normal* (2000 [Ton/Hr] Sistema A y 1900 [Ton/Hr] Sistema B), el nivel de procesamiento para el período sería de: 3.211 [KTon] para el Sistema A y 3.540 [KTon] para el Sistema B. Esto implica un sobrecumplimiento de la meta para la Planta de Chancado Primario Y y Z, sin embargo en la Planta de Chancado Primario X se debería complementar con un aumento en la Disponibilidad y Utilización de la misma, para lograr el cumplimiento del P0. Alternativamente se recomienda estudiar posibles redefiniciones de los planes de producción de acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio.

Respecto de la Planta de Chancado Terciario / Cuaternario (Sistema C), los resultados sistémicos del proceso indican 194 [Hr] de tiempo muerto de producción por causa de actividades de mantenimiento, 131 [Hr] por Detenciones Operacionales y una pérdida equivalente de 279 [Hr] por mayor velocidad del proceso respecto de la capacidad de la Planta (Nominal 1.950 [Ton/Hr] , Real 1.665 [Ton/Hr]). Bajo este esquema el resumen de la efectividad global de los activos, es como se presenta en el siguiente cuadro:

Ilustración 5: Análisis OEE – Sistema C (Planta Ch. 3° / 4°).



Se aprecia que el factor de mayor impacto es la Productividad con un índice de 85,2%, La Disponibilidad es de 91,2% y la Utilización Efectiva de 93,5% lo que entrega un resultado global (OEE) de 72,2%.

Por otra parte, analizando el período en estudio, existe un incumplimiento de la meta de producción en 4° trimestre de 2008, de acuerdo a la tabla siguiente:

Tabla 2: Producción Real v/s Planificada y Cumplimiento – Sistema C.

	P0 [KTon]	Real [KTon]	Real/P0 [%]
Sistema C	3.288	3.129	95,2

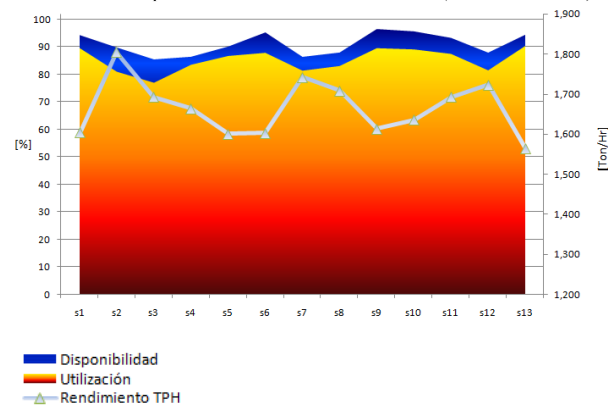
Analizando el Plan de Producción P0 para la Planta de Chancado Terciario / Cuaternario, se concluye que para el cumplimiento de la producción planeada de 3.288 [KTon] a una velocidad media planificada de 1.950 [Ton/Hr] serían

necesarias 1.686 [Hr] de operación. En otras palabras una Utilización Total, medida respecto del Tiempo Nominal, de 76,3%, siendo el resultado del 4° trimestre de 2008 de 85,3%.

La mejora en el rendimiento global del proceso para por un aprovechamiento mayor de la capacidad instalada de la Planta de Chancado Terciario / Cuaternario, aspecto que depende en gran medida de la alimentación desde la Planta de Chancado Primario Y / Z (Proceso Aguas Arriba).

Complementariamente para el Sistema C, se presenta la evolución de la Disponibilidad y Utilización Total para el período en estudio, en métrica semanal:

Ilustración 6: Disponibilidad / Utilización Sistema C (Planta Ch. 3° / 4°).



En el caso de esta Planta se aprecia que la brecha entre disponibilidad y utilización es menor que en los casos anteriores (Sistemas A y B), lo que indica un aprovechamiento mayor del tiempo disponible de la Planta. Cuantitativamente para el período completo se tiene una Disponibilidad de 91,2% y la Utilización de 85,3% (Utilización Efectiva de 93,5%). Siendo la brecha de 5,9% entre ambos indicadores.

2. Identificación de Equipos Críticos

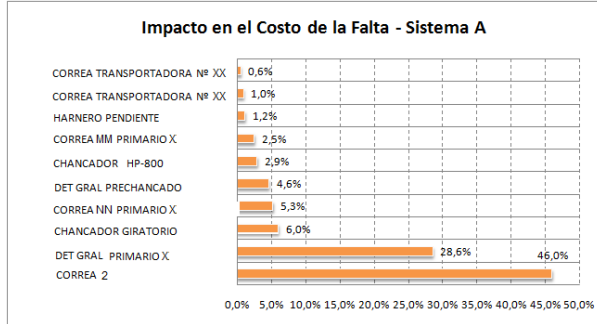
Aislado el efecto de las actividades de Mantenimiento sobre las Plantas, la metodología utilizada permite calcular el costo de la falta por la indisponibilidad de los procesos y distribuirlo entre los equipos constituyentes. Esto permite jerarquizar los equipos que generan mayor pérdida por los tiempos muertos de producción que generan en el sistema al que pertenecen.

En el caso de las plantas en estudio se consideró un costo de la falta ficticio de 1.000 [U.M/Hr], que de todos modos permite determinar en términos relativos los equipos que generan mayor impacto económico al negocio.

2.1. Equipos Críticos Sistema A (1° Don Luis).

Para la Planta de Chancado Primario X, Prechancado y sistema de Transporte 1 los resultados de la distribución del costo de la falta, indican lo siguiente:

Ilustración 7: Distribución de Costos de la Falta – Sistema A.



El cuadro anterior implica una alta concentración del costo de la falta en la Correa 2, con un 46% del total observado en el período, siendo la disponibilidad del equipo de un 92,58%.

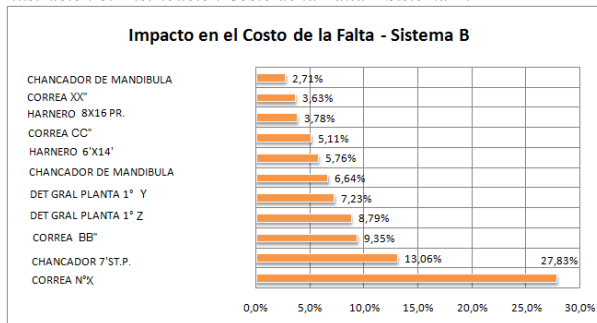
Es posible constatar una evolución positiva del equipo en la dimensión de Confiabilidad, aspecto que queda validado con la tendencia creciente en el MTBF (27,2 [Hr] a 56,4 [Hr]). Sin embargo la mantenibilidad del equipo presenta una tendencia a detenciones más agudas (mayor duración), con un MTTR de 1,68 [Hr] en Octubre llegando a 3,38 [Hr] en Diciembre.

El segundo factor de mayor incidencia corresponde a Detenciones Generales de la Planta con un 28,6% estas son generalmente actividades de mantenimiento programado imputadas al proceso y que no es posible descomponer en los tiempos de ejecución asociados a cada equipo.

2.2. Equipos Críticos Sistema B (Ch. Primario Y / Z).

En el caso de la Planta de Chancado Y/Z y sistema de transporte asociado, los resultados del análisis son los siguientes:

Ilustración 8: Distribución Costo de la Falta – Sistema B.

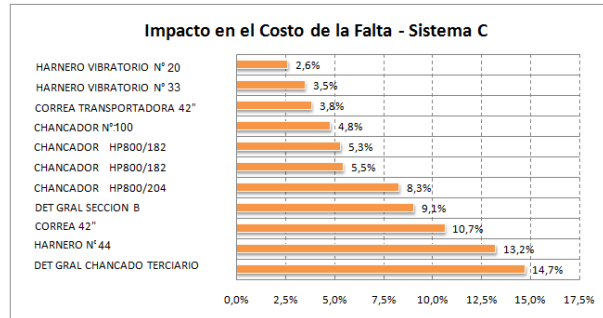


La Correa N°X del sistema de transporte Planta Chancado Primario Y/Z, es la que concentra un 27,83% del costo de la falta asociado al Sistema B (Planta de Chancado Primario Y / Z y Sistema de Transporte). Un análisis más detallado indica una mejora de la confiabilidad del equipo en el período en estudio con un MTBF de 28,86 [Hr] en octubre a 84,69 [Hr] en Diciembre. Adicionalmente los tiempos en detención por falla son bajos, lo que implica un bajo impacto de las averías en la indisponibilidad del equipo. Acá el cuidado apunta a la ejecución eficiente de las actividades de Mantenimiento Programado considerando la dotación adecuada y apoyo logístico que permitan optimizar la disponibilidad del equipo.

2.3. Equipos Críticos Sistema C (Terciario / Cuaternario)

El análisis desarrollado para la Planta de Chancado Terciario / Cuaternario arroja la jerarquización siguiente:

Ilustración 9: Distribución Costos de la Falta - Sistema C



En este caso el equipo de mayor impacto en el proceso corresponde al Harnero Vibratorio N°44, concentrando un 13,2% de impacto en el costo de la falta. Le supera eso si la categoría de Detenciones Generales de la Planta con un 14,7%, en las cuales no es posible identificar los equipos intervenidos.

Para el período en estudio se tiene en el Harnero Vibratorio N°44 una disminución de su Confiabilidad, manteniendo prácticamente constante su nivel de mantenibilidad, esto implica una reducción en la Disponibilidad del Equipo que hace que lidere el ranking de costos de la falta para la Planta de Chancado Terciario / Cuaternario, para el período en estudio.

El análisis de las actividades de mantenimiento en este caso se refiere principalmente a reemplazo de correas de transmisión; otras actividades menos frecuentes corresponden a cambio de módulos rotos y reparación de vigas y rayos (sistema estructural).

Respecto de los equipos críticos identificados es importante determinar si las mejoras pasan por un

mejoramiento de la confiabilidad, mantenibilidad o ambas dimensiones. En el caso de la confiabilidad las mejoras pasan por evaluaciones de diseño de los equipos, calidad de los repuestos, componentes y reparaciones, definir y controlar los límites aceptables de velocidad de procesamiento y en general todas las acciones tendientes a reducir la tasa de falla de los equipos.

En el ámbito de la mantenibilidad la influencia directa responde a la evaluación de la dotación de personal de mantenimiento, sistemas de abastecimiento y logística de repuestos y herramientas, que la información técnica de los equipos se encuentre disponible y facilitar la accesibilidad a equipos/componentes críticos.

Información detallada de los factores que inciden en la confiabilidad y mantenibilidad de activos puede ser consultada en la Norma XXXXXX.

Es relevante señalar que los equipos críticos de las Plantas de Chancado Primario corresponden a correas de los sistemas de transporte, siendo dos factores los esenciales en este resultado: 1° Configuración lógico funcional en *Serie* lo que implica una relación 1-1 con las detenciones del proceso y 2° La indisponibilidad presentada por los equipos (Correa 1 = 7,42% y Correa 2 = 3,74%). Respecto de las actividades de mantenimiento desarrolladas sobre los equipos, corresponden principalmente a cambio / revisión de polines y rodillos, cambio de planchas y actividades de vulcanización.

En este sentido se recomienda desarrollar un análisis detallado del síntoma, causa y parte objeto asociados a la falla en los equipos identificados como críticos, con miras a la optimización de los planes de mantenimiento y/o en la propuesta de mejoras genéticas en los procesos que impliquen reemplazo de equipos o incorporación de redundancia en los procesos.

3. Evolución en la Confiabilidad y Mantenibilidad de Equipos Críticos.

Una aplicación interesante para determinar la posición y evolución de los equipos en el ámbito de la confiabilidad y mantenibilidad son los gráficos de dispersión. Estos permiten clasificar a los equipos de manera relativa en:

- Crónicos: Equipos con mayor número de fallas en el período (Cuadrante Inferior Derecho).
- Agudo: Equipos con altos tiempos medios de reparación (Cuadrante Superior Izquierdo).
- Agudo y Crónico: aquellos que poseen ambas condiciones no deseadas (Cuadrante Superior Derecho).
- Bajo control: equipos de baja frecuencia y duración en la reparación de averías (Cuadrante Inferior Izquierdo).

A modo de ejemplo en las *Ilustraciones N°8 y N°9* se presenta la evolución de la Correa 1 en el último trimestre de 2009, la evolución Octubre – Noviembre indica una reducción del número de fallas por lo tanto una mejora en la confiabilidad del mismo. Para el período Noviembre – Diciembre en cambio se aprecia un aumento en el tiempo medio de reparación del equipo, manteniendo su nivel de confiabilidad. Por lo tanto se puede resumir una tendencia mejorativa en la Confiabilidad del equipo acompañada por un desmedro en la mantenibilidad.

Más que el análisis particular de un equipo, el objetivo es incorporar dentro de la organización de mantenimiento metodologías tales como el OEE, análisis de costos de la falta y tendencia en la confiabilidad y mantenibilidad de los activos como forma de identificar los focos de pérdida y sus causas principales.

Ilustración 10: Gráfico de Dispersión Octubre – Noviembre 2008 – Sistema A (Ch. Primario X)

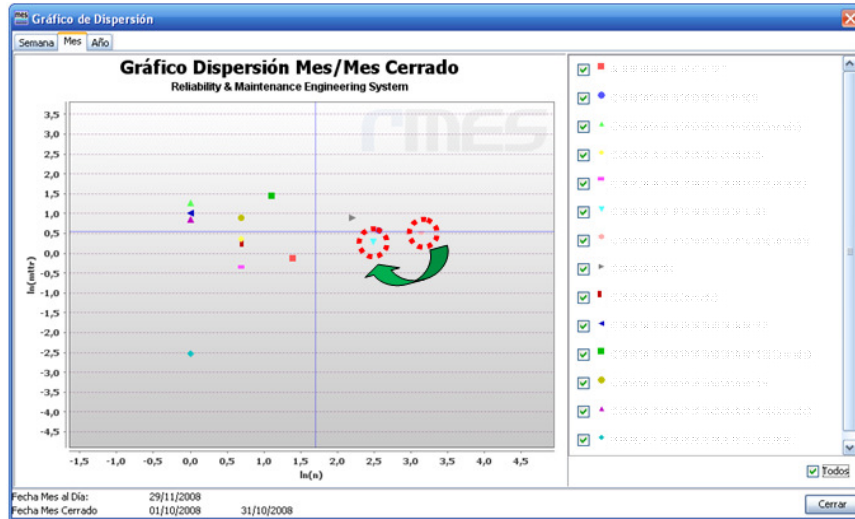


Ilustración 11: Gráfico de Dispersión Noviembre – Diciembre 2008 – Sistema A (Ch. Primario X)

