

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL

CONFIABILIDAD OPERACIONAL BASADA EN INGENIERÍA DE NEGOCIOS

*PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN
INGENIERIA DE NEGOCIOS CON TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN*

CRISTIAN RODRIGO CASTILLO COLLADO

PROFESOR GUIA:

SR. OSCAR BARROS VERA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

SR. PATRICIO WOLFF ROJAS

SR. EZEQUIEL MUÑOZ KRSULOVIC

SANTIAGO DE CHILE

ABRIL 2013

Resumen

La minería del cobre fue incluida en el estudio por la importancia que tiene para la economía Chilena y por el rol de liderazgo global que ejerce Chile en la producción mundial.

Una configuración del modelo de negocios que considera una alta inversión en activos físicos y grandes niveles de producción a bajo costo, son las propuestas comunes de grandes compañías que conforman el clúster minero en nuestro país. Sumado a esto, la operación continua trae consigo un problema de confiabilidad en el sistema, que involucra grandes pérdidas económicas, un incremento en el riesgo de accidentes y daño medio ambiental, ocasionadas por las detenciones a causa de fallos y mala operación. Para abordar esta problemática, el área de Mantenimiento define estrategias para el estudio de los activos que conforman el sistema y la línea crítica de producción, para detectar la ocurrencia de fallos y mejorar los procesos que la operan. La implementación de las estrategias intenta llevar a clasificar al área de mantenimiento como una unidad de clase mundial, con estándares de excelencia en rendimiento, mantenibilidad y confiabilidad de sistemas industriales.

El presente trabajo propone un rediseño de procesos para la implementación de la confiabilidad operacional en una compañía con una mina a cielo abierto; con este fin elabora un estudio de la planta área seca y parte de electro obtención, para comprender su función de estructura y la línea crítica de producción, dado su impacto en el negocio, al medio ambiente y en la seguridad de las personas.

El área de Mantenimiento tiene como objetivo principal asegurar la capacidad disponible. Para esto, se llevará a cabo el diseño de un proceso de mantenimiento confiable, con un alto apoyo de tecnologías de información y lógica de negocios para la gestión de activos, exceptuando la gestión de inventarios. La solución se llevó a cabo en la planta área seca, de una compañía minera, durante el período que comprende el año 2010 y el primer trimestre del año 2011.

Objetivos Específicos

1. Diseñar un proceso integral para el análisis de confiabilidad de activos.
2. Elaborar un perfil de catálogo que describe de forma lógica la ubicación de activos físicos, basado en el diseño de la función de estructura.
3. Generar una aplicación web para la gestión de detenciones y perfil de catálogo.
4. Generar información de los resultados obtenidos en la aplicación de tácticas, con la utilización de analítica e indicadores claves de desempeño definidos en el BSC, para ser considerados como información de entrada en el proceso de mejora continua durante el año 2010.
5. Determinar la probabilidad de supervivencia de activos, como información de entrada a la planificación de tácticas asociadas a mantenimiento predictivo y como información de entrada para decidir la transferencia de recursos (Segundo trimestre, 2011).
6. Determinar un modelo para elaborar políticas de reemplazo y de mantenimiento de activos (Tercer trimestre, 2011).

El diseño de procesos se basa en la metodología propuesta en el MBE, utilizando los patrones de procesos de negocios y considera desde la arquitectura empresarial de un conjunto de compañías mineras, hasta el diseño de procesos de apoyo a estrategias y tácticas de mantenimiento, usando BPMN, con sus respectivas lógicas de negocios, hasta llegar al diseño de apoyo computacional. Además, se llevó a cabo un diseño conceptual de la metodología para optimizar la extracción de cobre en una mina a cielo abierto por medio de programación lineal entera, como información de entrada para la planificación de la capacidad disponible, y la programación de mantenimiento y reemplazo de activos críticos, usando programación dinámica. Para terminar, se llevó a cabo la generalización del proyecto con la construcción de un

framework semiflexible, para cualquier empresa que requiera un análisis de confiabilidad de sistemas industriales.

Es importante indicar el impacto de esta solución en el área de operaciones planta área seca y mantenimiento, dado que la confiabilidad es transversal y la utilización de impacto obtenida en el año 2010 (78,6%), sugiere una mejora en la operación del sistema.

Se define a la utilización de impacto como una medida porcentual del tiempo calendario que está disponible para el uso del sistema planta área seca, considerando las detenciones aguas arriba de operaciones y mantenimiento, que ocurren en las unidades productivas de chancado primario, chancado secundario, chancado terciario y apilamiento.

La justificación económica considera un incremento en la utilización de impacto menor a un 1% anual, obteniendo un VAN de US \$ 4.028.127, cercano al 10% del total en pérdidas, a una tasa de descuento del 12%.

A mis hijos Martín y Santiago

Siempre están en mi corazón

Agradecimientos

A mi madre, María Angélica Collado, por apoyarme incondicionalmente, por darme mucho cariño y por todo su esfuerzo en canalizar mi espíritu hacia el conocimiento.

A mi Abuela, Rosa Ocaranza, por su apoyo incondicional y por todos sus consejos que me han facilitado enfrentar la vida.

A mis dos hermanas: Camila y Loreto, por estar siempre a mi lado y darme fuerza en momentos difíciles.

A mí esposa, Mariluz Rodríguez, por estar en mi corazón y por brindarme todo su apoyo durante todo este período.

A mí amado hijo, Santiago Pablo, por sonreír y por ser mi mejor amigo.

A mí amado hijo, Martín Ignacio, ya que es el responsable de esta iniciativa.

Al profesor Oscar Barros, por toda su paciencia y tiempo, por aconsejarme y ser un guía en mi trabajo y en mi vida, por creer en mi propuesta y persistir en el avance de este estudio. Además, por creer en los proyectos de mis compañeros y por formar esta gran familia, "MBE", de la que todos estamos muy orgullosos de pertenecer.

A la señora Ana María Valenzuela, por su preocupación y constante apoyo en este proceso, por escucharme en momentos difíciles y por aconsejarme para salir adelante.

A todos los profesores del MBE, por ampliar el horizonte y mostrar un plan de largo plazo que será el pilar para el crecimiento de mi familia.

A mis compañeros del MBE, por todos sus consejos y amistad que guardaré por siempre en mi memoria.

A todas las personas que olvido mencionar, pero que aportaron durante todos estos años con información, datos, consejos, amistad y buenas intenciones.

Tabla de contenido

Resumen.....	1
Agradecimientos.....	5
Tabla de contenido	6
Índice de ilustraciones.....	11
Índice de tablas.....	17
Índice de Ecuaciones.....	18
1. Introducción.....	19
2. Antecedentes del mercado del Cobre.....	21
2.1 Demanda Mundial de Cobre Refinado	21
2.2 Oferta Mundial de Cobre.....	22
2.2.1 Producción Mundial de Cobre Refinado.....	22
2.3 Composición de mercado productor mundial	23
2.4 Composición del mercado productor en Chile	23
2.5 Responsabilidad social y de medio ambiente para la minería en Chile.	24
3. Análisis de las cinco fuerzas.....	25
3.1 Intensidad de la rivalidad.....	25
3.2 Amenaza en el ingreso de nuevos competidores	26
3.3 Poder de negociación de proveedores.....	26
3.4 Poder de negociación de clientes	27
3.5 Presión que ejercen los productos sustitutos.....	27
4. Análisis FODA.....	27
5. Motivación del proyecto	30
6. Revisión de documentos que han permitido dar sustento a la solución del problema.....	33
7. Marco Teórico.....	34
7.1 Metodología para el desarrollo del proyecto	34
7.2 Ingeniería de Negocios	35
7.3 Arquitectura de Procesos	37
7.4 Business Process Modeling Notation (BPMN)	38
7.5 Confiabilidad Operacional	39

7.6	Confiabilidad en función del tiempo	41
	Confiabilidad condicionada a una edad o vida cierta.....	42
	Componentes que no envejecen	42
	Tasa instantánea de fallas	44
	Confiabilidad en función del tiempo para varios tipos de sistemas	45
	Leyes de fallas para componentes	46
7.7	Políticas de reemplazo.....	50
7.8	Programación Lineal Entera.....	51
7.9	Programación Dinámica	53
7.10	Principio de Pareto	54
7.11	Análisis de Jack – Knife	56
8.	Planteamiento estratégico	57
8.1	Eficacia Operacional	57
8.2	Modelo Delta	59
8.3	Balanced Scorecard (BSC)	60
	8.3.1 Visión	61
	8.3.2 Misión	61
	8.3.3 Valores y principios.....	61
	8.3.4 Objetivos estratégicos transversales a la industria minera.	61
8.4	Mapa Estratégico de alineamiento.	62
	8.4.1 Desde la perspectiva financiera	63
	8.4.2 Desde la perspectiva de los clientes.....	64
	8.4.3 Desde la perspectiva de los procesos internos	64
	8.4.4 Desde la perspectiva de aprendizaje y crecimiento	65
9.	Modelo de negocios.....	65
9.1	Proposición de valor.....	66
	Cátodos de alta pureza.....	66
	Asegurar la Capacidad	67
	Entrega a Tiempo	67
	Bajo costo	67
9.2	Procesos Claves.....	67
	Desarrollo de las personas.....	67
	Gestión de activos.....	68
	HSEC (salud, seguridad, medio ambiente y comunidad).....	68
	Logística de Distribución.....	68

Operación de la cadena de valor	68
9.3 Recursos Claves.....	68
Personas	68
Procesos con alta tecnología	69
Equipamiento.....	69
Información relevante para el proceso de toma de decisiones	69
9.4 Formulas Beneficios.....	69
Disponibilidad	69
Utilización de la capacidad el activo	70
Incrementar la Calidad	70
Costos de operación.....	70
Rentabilidad operativa	70
10. Arquitectura de Procesos	71
10.1 Macro procesos Relevantes	71
10.2 Factorización de la cadena de valor en tres grandes casos de estudio.....	75
11. Objetivos del proyecto para el rediseño de procesos.....	77
11.1 Objetivo Principal	77
11.2 Objetivos específicos	77
11.3 Descripción.....	79
12. Rediseño de Procesos.....	80
12.1 Macro 1, Cadena de Valor.....	80
12.1.1 Relación con clientes directos.....	82
12.1.2 Administración relación con proveedores.....	82
12.1.3 Gestión producción y entrega	83
12.1.4 Producción y entrega de cátodos.....	83
12.1.5 Mantenimiento	84
12.1.6 Administración Relación con proveedores	86
12.1.7 Gestión de Producción y Entrega	90
12.1.8 Producción y Entrega.....	94
12.2 Macro 4, recursos habilitadores (Gerencia de Mantenimiento).....	95
12.2.1 Mantenimiento	98
12.2.2 Decidir estrategias para asignar recursos	102
12.2.3 Decidir Tácticas Para Utilizar Recursos	113
12.2.4 Decidir transferencia de recursos.....	120
12.2.5 Aplicar estrategias y tácticas.....	125
13. Lógica de Negocios.....	128
13.1 Planificación de producción.....	128

13.2	Estudiar mantenibilidad.....	131
13.3	Eliminación de pérdidas.....	133
13.4	Análisis RCA.....	163
13.5	Táctica predictiva	168
13.6	Programar transferencias, modelo dinámico de reemplazo.	174
14.	Diseño de aplicaciones computacionales.....	181
14.1	Diagrama de Casos de Uso.....	185
1.	Eliminación de pérdidas.....	185
2.	Táctica predictiva	186
3.	Programar transferencias	186
14.2	Diagramas de Secuencia	187
14.2.1	Eliminación de pérdidas.....	187
14.2.3	Programar transferencias	192
14.2.4	Tácticas predictivas.....	193
14.3	Diagrama de Clases	196
14.3.1	Eliminación de pérdidas.....	196
12.3.2	Programar transferencias.	200
12.3.3	Tácticas predictivas.....	201
12.4	Estructura Paquete de Datos	203
15.	Prototipo.....	205
15.1	Módulo Portal de Análisis.....	205
15.1.1	Menú de acceso a lógica de negocios.....	206
15.1.2	Análisis de Pareto	207
15.1.3	Análisis Jack – Knife	218
15.1.4	Confiabilidad Exponencial.....	222
15.1.5	Tiempo medio entre fallos	225
15.1.6	Tiempo Medio entre reparaciones.....	228
15.1.7	Disponibilidad.....	232
15.1.8	Informes Globales.....	237
15.1.9	Informes Globales, generales por área	242
15.1.10	Informes Generales Anuales	249
15.1.11	Utilización de la capacidad del activo (ACU)	254
16.	Proceso de Cambio	256
16.1	Contexto organizacional para la implementación del proyecto	256
16.2	Desafíos	256

16.3 Estrategia para la gestión del cambio	257
16.3.1 Sentido de Urgencia	257
16.3.2 Gestión de Poder	258
16.3.3 Gestión de Narrativas	259
16.3.4 Estrategia Comunicacional.....	260
16.3.5 Variables y Dominio para la evaluación de gestión del cambio	260
16.3.6 Resultados Esperados	262
17. Análisis económico.....	263
17.1 Diagnóstico	263
17.1.1 Balance de Pérdidas de producción	263
17.1.2 Indicadores claves de desempeño relevantes para el estudio económico	263
17.1.3 Análisis de alternativas	265
17.1.4 Tasa de descuento	272
17.1.5 Parámetros.....	272
17.1.6 Flujo de caja con proyecto	273
17.1.7 Flujo de caja sin proyecto.....	274
17.1.8 Análisis Incremental	274
17.2 Análisis de Riesgo	275
17.2.1 Análisis de sensibilidad	275
17.2.2 Identificación de variables riesgosas	276
17.2.3 Análisis por simulación	277
17.3 Conclusión de la simulación.....	279
18. Resultados Obtenidos	279
19. Framework.....	286
19.1 Alcance del dominio	286
19.2 Lógica de negocios Trivial y compleja Genérica.....	287
19.3 Diseño del Framework.....	288
19.4 Beneficios del Framework	291
20. Conclusiones y Trabajo Futuro	291
21. Bibliografía.....	293
22. Anexos	295
Configuración de servidor de aplicaciones y servidor de bases de datos.....	295
Configuración Servidor de Base de datos.....	295
Configuración Servidor de aplicaciones e IIS.....	304
Consideraciones tecnológicas.....	304
Servidor de aplicaciones.....	305

Índice de ilustraciones

Ilustración 0-1: mercado mundial de cobre	23
Ilustración 0-2: Mercado del Cobre en Chile.....	24
Ilustración 0-3: valor creado en compañías mineras.....	31
Ilustración 0-4: metodología ingeniería de negocios.....	37
Ilustración 0-5: perspectivas de la confiabilidad operacional	41
Ilustración 0-6: función de densidad de probabilidad Weibull	48
Ilustración 0-7: función de distribución Weibull	49
Ilustración 0-8: beneficios y costos en el tiempo para un equipo.....	50
Ilustración 0-9: diagrama de Pareto	55
Ilustración 0-10: Estrategias de HAX (HAX, 2010)	59
Ilustración 0-11: Estrategia de mejor producto y sus competencias necesarias (Hax, 2010).....	60
Ilustración 0-12: mapa estratégico, operaciones e ingeniería de mantenimiento	62
Ilustración 0-13 Reinventing your Business Model by Mark W. Johnson, Clayton M. Christensen, and Henning Kagermann. Harvard Business Review, December 2008.	66
Ilustración 0-14: Arquitectura empresarial, clúster minero.....	74
Ilustración 0-15: cadena de valor factorizada en tres grandes casos de estudio.....	76
Ilustración 0-16: Descripción objetivos del proyecto	78
Ilustración 0-17: cadena de valor	81
Ilustración 0-18: administración relación con proveedores.....	85
Ilustración 0-19: Administrar y mejorar desempeño.....	87
Ilustración 0-20: gestión de producción y entrega	89
Ilustración 0-21: producción y entrega	93
Ilustración 0-22: primer nivel mantenimiento	97
Ilustración 0-23: Decidir estrategias para asignar recursos.	101
Ilustración 0-24: Estudiar Mantenibilidad, diagrama de pistas.....	103
Ilustración 0-25: Establecer desempeño productivo, diagrama de pistas.....	106
Ilustración 0-26: Eliminación de pérdidas, diagrama de pistas.....	109
Ilustración 0-27: RCA, diagrama de pistas.....	111
Ilustración 0-28: decidir tácticas para utilizar recursos	112
Ilustración 0-29: Táctica reactiva, diagrama de pistas.....	114
Ilustración 0-30: Táctica predictiva, diagrama de pistas.....	117
Ilustración 0-31: táctica preventiva, diagrama de pistas.	119
Ilustración 0-32: Decidir Transferencia de recursos.	121
Ilustración 0-33: Programar transferencia de recursos.	123
Ilustración 0-34: Ejecutar trabajos, diagrama de pistas.....	126
Ilustración 0-35: Cerrar trabajos, diagrama de pistas.....	127
Ilustración 0-36: Análisis de avisos de trabajo y OT.....	136

Ilustración 0-37: Información mensual para "n" plantas.....	136
Ilustración 0-38: Información mensual por grupo de equipos.....	137
Ilustración 0-39: Pareto por unidades productivas.....	139
Ilustración 0-40: Pareto por área.....	139
Ilustración 0-41: Pareto por equipos agrupados.....	139
Ilustración 0-42: Pareto agrupado por modos de falla.....	140
Ilustración 0-43: Jack Knife por unidades productivas.....	142
Ilustración 0-44: Jack Knife por equipos agrupados por unidades productivas.....	142
Ilustración 0-45: Jack Knife por clasificación de falla.....	143
Ilustración 0-46: Jack Knife comparativo (diciembre 2010 y enero 2011).....	143
Ilustración 0-47: MTBF y MTBF mantenimiento acumulado por unidades productivas.....	144
Ilustración 0-48: MTBF y MTBF mantenimiento diario por unidades productivas.....	144
Ilustración 0-49: MTBF y MTBF mantenimiento acumulado agrupado por equipos.....	145
Ilustración 0-50: MTBF y MTBF mantenimiento acumulado por equipos.....	145
Ilustración 0-51: MTBF y MTBF mantenimiento, diario por equipo.....	145
Ilustración 0-52: MTTR acumulado por área.....	146
Ilustración 0-53: MTTR diario por unidad productiva de apilamiento.....	146
Ilustración 0-54: MTTR acumulado y agrupado por equipos.....	147
Ilustración 0-55: MTTR acumulado por equipos.....	147
Ilustración 0-56: MTTR diario por equipos.....	147
Ilustración 0-57: disponibilidad de mantenimiento y física acumulada por área.....	148
Ilustración 0-58: Disponibilidad de mantenimiento y física, diaria por área.....	148
Ilustración 0-59: Disponibilidad de mantenimiento y física acumulada por unidad productiva.....	149
Ilustración 0-60: Disponibilidad de mantenimiento y física, diaria por unidades productivas.....	149
Ilustración 0-61: Disponibilidad de mantenimiento y física acumulada por equipos.....	149
Ilustración 0-62: Disponibilidad de mantenimiento y física diaria, agrupada por equipos.....	150
Ilustración 0-63: Disponibilidad de mantenimiento y física acumulada por equipos.....	150
Ilustración 0-64: Disponibilidad de mantenimiento y física diaria por equipos.....	150
Ilustración 0-65: Disponibilidad de mantenimiento, espera operacional, utilización y uso, acumulado por área.....	151
Ilustración 0-66: Disponibilidad de mantenimiento, espera operacional, utilización y uso, diario por unidad productiva.....	151
Ilustración 0-67: Disponibilidad área seca y KPI's acumulados.....	152
Ilustración 0-68: Distribución de tiempo para la configuración de la disponibilidad área seca.....	152
Ilustración 0-69: representación en Visual Basic, Microsoft Excel.....	158
Ilustración 0-70: estimación de fallos futuros.....	159
Ilustración 0-71: Cálculo distribución Weibull de tres parámetros.....	161
Ilustración 0-72: Distribución exponencial por unidades productivas.....	162
Ilustración 0-73: Distribución exponencial, correas móviles de apilamiento.....	163
Ilustración 0-74: Registrar problema de negocio.....	164
Ilustración 0-75: identificar variables relevantes.....	165
Ilustración 0-76: diagrama de causa efecto.....	166

Ilustración 0-77: definición de planes.....	168
Ilustración 0-78: tonelaje procesado por equipos.....	170
Ilustración 0-79: Tonelaje procesado hasta el corte de cinta.	171
Ilustración 0-80: Fecha de corte y duración en días.	171
Ilustración 0-81: desgaste de cóncavos.	172
Ilustración 0-82: Histórico de cambio de manto en Chancadora.	172
Ilustración 0-83: distribución exponencial para una familia de correas móviles.	173
Ilustración 0-84: diagrama de paquetes.	183
Ilustración 0-85: Caso de uso, eliminación de pérdidas.....	185
Ilustración 0-86: caso de uso táctica predictiva.	186
Ilustración 0-87: Caso de uso Programar transferencias.	186
Ilustración 0-88: Diagrama de secuencias calcular avisos.....	187
Ilustración 0-89: diagrama de secuencia obtener riesgo operacional.	188
Ilustración 0-90: diagrama de secuencias calcular Pareto.	189
Ilustración 0-91: Diagrama de secuencias calcular Jack Knife.....	190
Ilustración 0-92: Diagrama de secuencias calcular MTBF.	191
Ilustración 0-93: Diagrama de secuencias calcular MTTR.	191
Ilustración 0-94: Diagrama de secuencias calcular disponibilidad, uso, utilización.	192
Ilustración 0-95: diagrama de secuencias programar transferencias.....	192
Ilustración 0-96: Diagrama de secuencia calcular rendimiento.	193
Ilustración 0-97: diagrama de secuencia obtener desgastes.	194
Ilustración 0-98: Diagrama de secuencia determinar riesgo operacional.	195
Ilustración 0-99: Diagrama de clases calcular avisos de trabajo.	196
Ilustración 0-100: Diagrama de clases calcular riesgo de seguir operando.	197
Ilustración 0-101: Diagrama de clases calcular Pareto.	198
Ilustración 0-102: Diagrama de clases Jack Knife	199
Ilustración 0-103: Diagrama de clases obtener KPI's.....	200
Ilustración 0-104: Diagrama de clases programar transferencias.....	201
Ilustración 0-105: Diagrama de clases determinar rendimiento.....	202
Ilustración 0-106: Diagrama de clases determinar desgaste.	203
Ilustración 0-107: Estructura de datos.....	204
Ilustración 0-108: Pantalla principal, portal de análisis.	206
Ilustración 0-109: Módulos de acceso a lógica de negocios.	207
Ilustración 0-110: Menú de acceso análisis de Pareto por área.....	207
Ilustración 0-111: Pareto por área.....	208
Ilustración 0-112: Menú de acceso a Pareto por área y especialidad	208
Ilustración 0-113: Pareto por especialidad agrupado por unidad productiva.	208
Ilustración 0-114: Menú de acceso a Pareto por área, modo de falla y especialidad	209
Ilustración 0-115: Pareto por área, modo de falla y especialidad.....	209
Ilustración 0-116: Menú de acceso a Pareto por unidad productiva.	209
Ilustración 0-117: Pareto por unidad productiva	210
Ilustración 0-118: Menú de acceso a Pareto por Unidad productiva y especialidad.	210

Ilustración 0-119: Pareto por unidad productiva y especialidad.....	210
Ilustración 0-120: Menú de acceso a Pareto por unidad productiva, modo de falla y especialidad.....	211
Ilustración 0-121: Pareto por unidad productiva, modo de falla y especialidad.....	211
Ilustración 0-122: Menú de acceso a Pareto por unidad productiva y equipos.....	211
Ilustración 0-123: Pareto por unidad productiva y equipo.	212
Ilustración 0-124: Menú de acceso a Pareto por equipos agrupados.	212
Ilustración 0-125: Pareto por equipos agrupados.	212
Ilustración 0-126: Menú de acceso a Pareto por grupo, modo de falla, tipo detención y equipos.	213
Ilustración 0-127: Pareto por grupo, modo de falla, tipo detención y equipos.	213
Ilustración 0-128: Menú de acceso a Pareto por grupo, equipos y clasificación de falla.	213
Ilustración 0-129: Pareto por grupo, equipos y clasificación de falla.	214
Ilustración 0-130: Menú de acceso a Pareto por grupo, tipo detención y equipos.	214
Ilustración 0-131: Pareto por grupo, tipo detención y equipos.	214
Ilustración 0-132: Menú de acceso a Pareto por Equipo, tipo detención y modo de falla.....	215
Ilustración 0-133: Pareto por Equipo, tipo detención y modo de falla.....	215
Ilustración 0-134: Menú de acceso a detalle detenciones.....	215
Ilustración 0-135: Informe detalle detenciones	216
Ilustración 0-136: Exportar detalle detenciones	216
Ilustración 0-137: Informe detalle detenciones Excel.	217
Ilustración 0-138: Informe detalle detenciones en formato PDF.	217
Ilustración 0-139: Menú de acceso a Jack Knife por unidades productivas.....	219
Ilustración 0-140: Jack Knife por unidades productivas.....	219
Ilustración 0-141: Menú de acceso a Jack Knife por equipos.....	219
Ilustración 0-142: Jack Knife por equipos.	220
Ilustración 0-143: Menú de acceso a Jack Knife por clasificación de falla.	220
Ilustración 0-144: Jack Knife por clasificación de falla.	220
Ilustración 0-145: Menú de acceso a Jack Knife por equipos agrupados.	220
Ilustración 0-146: Jack Knife por equipos agrupados.	221
Ilustración 0-147: Menú de acceso a Jack Knife por unidad productiva y clasificación de falla.	221
Ilustración 0-148: Jack Knife por unidad productiva y clasificación de falla.	221
Ilustración 0-149: menú de acceso a confiabilidad exponencial por unidades productivas.....	223
Ilustración 0-150: Confiabilidad exponencial por unidades productivas.....	223
Ilustración 0-151; menú de acceso a confiabilidad exponencial por equipos agrupados.	223
Ilustración 0-152: Confiabilidad exponencial por equipos agrupados.	224
Ilustración 0-153: menú de acceso a confiabilidad exponencial por equipos.....	224
Ilustración 0-154: Confiabilidad exponencial por equipos.....	224
Ilustración 0-155: Menú de acceso a tiempo medio entre fallos (MTBF) por área.....	225
Ilustración 0-156: tiempo medio entre fallos (MTBF) por área.....	225
Ilustración 0-157: Menú de acceso a Tiempo medio entre fallos diario por Unidad Productiva.....	226
Ilustración 0-158: Tiempo medio entre fallos diario por Unidad Productiva.....	226
Ilustración 0-159: Menú de acceso a Tiempo medio entre fallos por equipos agrupados.....	226
Ilustración 0-160: Tiempo medio entre fallos por equipos agrupados.....	227

Ilustración 0-161: Menú de acceso a tiempo medio entre fallos por equipos individuales.	227
Ilustración 0-162: Tiempo medio entre fallos por equipos individuales	227
Ilustración 0-163: Menú de acceso a Tiempo medio entre fallos acumulado diario por equipos individuales	228
Ilustración 0-164: Tiempo medio entre fallos acumulado diario por equipos individuales.....	228
Ilustración 0-165: Menú de acceso a Tiempo medio entre reparaciones por área	229
Ilustración 0-166: Tiempo medio entre reparaciones por área	229
Ilustración 0-167: Menú de acceso a Tiempo medio entre reparaciones acumulado diario por Unidades productivas.....	229
Ilustración 0-168: Tiempo medio entre reparaciones acumulado diario por Unidades productivas.....	230
Ilustración 0-169: Tiempo medio entre reparaciones por equipos agrupados.....	230
Ilustración 0-170: Tiempo medio entre reparaciones por equipos agrupados.....	230
Ilustración 0-171: Tiempo medio entre reparaciones por equipos individuales:.....	231
Ilustración 0-172: Tiempo medio entre reparaciones por equipos individuales.....	231
Ilustración 0-173: Menú de acceso a Tiempo medio entre reparaciones acumulado diario por equipos individuales	231
Ilustración 0-174: Tiempo medio entre reparaciones acumulado diario por equipos individuales.....	232
Ilustración 0-175: Menú de acceso a Disponibilidad acumulada mensual por área	232
Ilustración 0-176: Disponibilidad acumulada mensual por área	233
Ilustración 0-177: Menú de acceso a Disponibilidad acumulada diaria por área.....	233
Ilustración 0-178: Disponibilidad acumulada diaria por área	233
Ilustración 0-179: Menú de acceso a Disponibilidad Acumulada por unidades productivas.....	234
Ilustración 0-180: Disponibilidad Acumulada por unidades productivas	234
Ilustración 0-181: Menú de acceso a Disponibilidad diaria acumulada por unidades productivas	234
Ilustración 0-182: Disponibilidad diaria acumulada por unidades productivas	235
Ilustración 0-183: Menú de acceso a Disponibilidad acumulada por Equipos agrupados.....	235
Ilustración 0-184: Disponibilidad acumulada por Equipos agrupados	235
Ilustración 0-185: Menú de acceso a Disponibilidad Acumulada diaria por equipos agrupados.....	236
Ilustración 0-186: Disponibilidad Acumulada diaria por equipos agrupados	236
Ilustración 0-187: Menú de acceso a Disponibilidad acumulada por equipos individuales	236
Ilustración 0-188: Disponibilidad acumulada por equipos individuales	236
Ilustración 0-189: Menú de acceso a Disponibilidad Acumulada diaria por equipos individuales	237
Ilustración 0-190: Disponibilidad Acumulada diaria por equipos individuales	237
Ilustración 0-191: Informe Global KPI's de Impacto – Disponibilidad área Seca.....	239
Ilustración 0-192: Reporte KPI's de Impacto Disponibilidad área seca, Formato PDF	239
Ilustración 0-193: Reporte KPI's de Impacto Disponibilidad área seca, Formato Excel.....	240
Ilustración 0-194: Menú de acceso a Informes Globales – resumen KPI's diario.....	240
Ilustración 0-195: Informe diario de KPI's.....	241
Ilustración 0-196: Informes Globales – resumen KPI's diario – Formato PDF.....	241
Ilustración 0-197: Informes Globales – resumen KPI's diario – Formato Excel.....	242
Ilustración 0-198: Menú de acceso a indicadores generales por área	243
Ilustración 0-199: Indicadores generales por área	243

Ilustración 0-200: Indicadores generales por área	244
Ilustración 0-201: Informes Globales –Generales por área – Formato PDF.....	244
Ilustración 0-202: Informes Globales –Generales por área – Formato Excel.....	245
Ilustración 0-203: Menú de acceso a Informes Globales – Generales por unidades productivas	245
Ilustración 0-204: Indicadores generales por unidades productivas.....	245
Ilustración 0-205: Informe diario para la gerencia de mantenimiento.....	246
Ilustración 0-206: Informes Globales – Generales por unidades productivas – Formato PDF	246
Ilustración 0-207: Informes Globales – Generales por unidades productivas – Formato Excel.....	247
Ilustración 0-208: Menú de acceso a Informes Globales - General por equipos agrupados	247
Ilustración 0-209: Informes Globales - General por equipos agrupados	247
Ilustración 0-210: Menú de acceso a Informes Globales - General - KPI's Diario por equipos	248
Ilustración 0-211: Indicadores generales diarios por equipos	248
Ilustración 0-212: Menú de acceso a Informes Globales - Confiabilidad Versus Mantenibilidad	248
Ilustración 0-213: Informes Globales - Confiabilidad Versus Mantenibilidad.....	249
Ilustración 0-214: Menú de acceso a Informes Generales Anuales – tiempo medio entre fallos.....	249
Ilustración 0-215: Informes Generales Anuales – tiempo medio entre fallos.....	250
Ilustración 0-216: Informes Generales Anuales – Tiempo medio entre reparaciones	250
Ilustración 0-217: Informes Generales Anuales – Tiempo medio entre reparaciones	250
Ilustración 0-218: Menú de acceso a Informes Generales Anuales – Disponibilidad Mantención	251
Ilustración 0-219: Informes Generales Anuales – Disponibilidad Mantención	251
Ilustración 0-220: Menú de acceso a Informes Generales Anuales - Disponibilidad de Impacto área seca	251
Ilustración 0-221: Informes Generales Anuales - Disponibilidad de Impacto área seca.....	252
Ilustración 0-222: Menú de acceso a Informes Generales Anuales - Uso.....	252
Ilustración 0-223: Informes Generales Anuales - Uso.....	252
Ilustración 0-224: Menú de acceso a Informes Generales Anuales - Utilización.....	253
Ilustración 0-225: Informes Generales Anuales - Utilización	253
Ilustración 0-226: Menú de acceso a Informes Generales Anuales - Utilización de capacidad del activo	253
Ilustración 0-227: Informes Generales Anuales - Utilización de capacidad del activo	254
Ilustración 0-228: Menú de acceso a ACU- Informe Diario por unidad productiva.....	254
Ilustración 0-229: ACU- Informe Diario por unidad productiva	254
Ilustración 0-230: ACU – Informe Mensual – Unidad Productiva.....	255
Ilustración 0-231: ACU – Informe Mensual – Unidad Productiva.....	255
Ilustración 0-232: Menú de acceso a Acu Diario Chancado Terciario.....	255
Ilustración 0-233: Acu Diario Chancado Terciario.	255
Ilustración 0-234: Menú de acceso a Acu Diario Chancado Terciario.....	256
Ilustración 0-235: Acu Diario Chancado Terciario.	256
Ilustración 0-236: Proceso de cambio.....	257
Ilustración 0-237: Visión de mantenimiento, ajustado de GMN.....	258
Ilustración 0-238: Estructura organizacional, Mantenimiento.....	268
Ilustración 0-239: análisis de sensibilidad.....	276

Ilustración 0-240: Distribución probabilística de horas por fallos de mantenimiento.	277
Ilustración 0-241: Distribución probabilística de horas por fallos operacionales.	278
Ilustración 0-242: Distribución de frecuencia para el VAN	279
Ilustración 0-243: frecuencia de detenciones en planta área seca, primer mes de segundo período.....	281
Ilustración 0-244: Frecuencia de detenciones en planta área seca, segundo mes de segundo período.	281
Ilustración 0-245: Análisis Jack Knife, cuarto mes, segundo período de análisis.	282
Ilustración 0-246: Análisis Jack Knife, quinto mes, segundo período de análisis.	282
Ilustración 0-247: MTBF correas móviles apilamiento, cuarto mes, segundo período de análisis.	283
Ilustración 0-248: MTBF Correas móviles apilamiento, quinto mes, segundo período de análisis.....	283
Ilustración 0-249: Confiabilidad exponencial de equipos agrupados, cuarto mes, segundo período de análisis.....	284
Ilustración 0-250: Confiabilidad exponencial de equipos agrupados, quinto mes, segundo período de análisis.....	284
Ilustración 0-251: Disponibilidad de impacto área seca, primera mitad del segundo período de análisis.	285
Ilustración 0-252: Disponibilidad de impacto área seca, primera mitad del segundo período de análisis.	285
Ilustración 0-253: Scope del dominio para el Framework	287
Ilustración 0-254: Alcance del Framework integrado de mantenimiento.	289

Índice de tablas

Tabla 1: Demanda mundial de cobre.....	21
Tabla 2: producción de refinado- Fuente, COCHILCO.....	22
Tabla 3: creación de valor en gran minería, fuente (Moore, R 1998).....	30
Tabla 4: Perspectiva financiera.....	63
Tabla 5; Perspectiva del cliente	64
Tabla 6: Perspectiva de los procesos internos.	64
Tabla 7: Perspectiva de aprendizaje y crecimiento.	65
Tabla 8: Las ocho pérdidas principales (definida por JIMP - Instituto de Mantención de Planta del Japón).	108
Tabla 9: Elaboración de diagrama de Pareto.....	138
Tabla 12: tabla de Brainstorming.....	166
Tabla 13: decisión de reemplazo	181
Tabla 14: Tabla de prácticas de McKinsey.....	262
Tabla 15: pérdidas registradas en el período de estudio.	264
Tabla 16: Plan de inversiones Gerencia de Mantenimiento.	270
Tabla 17: Inversión en Hardware.....	271
Tabla 18: Inversión en Software	271
Tabla 19: Inversión en redes	271
Tabla 20: Flujo de caja con proyecto	273

Tabla 21: Flujo de caja sin proyecto.....	274
Tabla 22: Análisis Incremental.....	275

Índice de Ecuaciones

6-1: función de confiabilidad.....	41
6-2: distribución exponencial de fallos.	43
6-3: Confiabilidad de un sistema en serie	45
6-4: confiabilidad de un sistema en paralelo	46
6-5: función de densidad de probabilidad normal	46
6-6: Función confiabilidad ley normal.....	46
6-7: confiabilidad exponencial.....	47
6-8: ley de falla normal logarítmica	47
6-9: función de densidad de probabilidad Weibull	49
6-10: función de confiabilidad Weibull	50
6-11: Función objetivo para la política de reemplazo.....	54

1. Introducción

El presente trabajo propone un rediseño de procesos para la implementación de la confiabilidad operacional en una compañía minera que procesa óxido de cobre. Para esto elabora un estudio de la planta área seca y electro obtención, con el objeto de comprender su función de estructura y la línea crítica de producción, dado su impacto en el negocio, al medio ambiente y a la seguridad de las personas.

Inicialmente, se describe el mercado del cobre en el mundo y Chile, para identificar potenciales empresas donde aplicar esta metodología.

Después se contextualiza el problema en base a la motivación del proyecto, describiendo las distintas causas que impactan las estrategias de mantenimiento, considerando la experiencia de varias empresas en el mundo.

Luego se realizará una revisión de la literatura que incentivan distintas formas de abordar los problemas de mantenimiento.

Posteriormente, se explicará la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto, Ingeniería de Negocios, en conjunto se mostrarán conceptos de confiabilidad operacional.

En el siguiente capítulo se expone el planteamiento estratégico, utilizando conceptos propuestos por Michael Porter y Arnoldo Hax. Además, utilizaremos Balanced Scorecard y mapa estratégico para el planteamiento de acciones y objetivos medibles.

Luego, se expone el modelo de negocios, con la propuesta de valor para los clientes de compañías mineras.

En capítulos posteriores, se detalla la arquitectura empresarial del clúster minero, hasta la definición de procesos de negocios, utilizando BPMN (Business Process Modeling Notation).

Posteriormente, se plantea la lógica de negocios utilizada para abordar las estrategias y tácticas de mantenimiento, junto con resultados obtenidos.

Luego, se describe como se construyó el prototipo, se muestran las pantallas que lo componen y la forma de interactuar con la interfaz para su posterior uso.

Después, se mostrará un plan para la implementación del proyecto en la organización, considerando técnicas de gestión del cambio.

Posterior a esto, se justificará económicamente el proyecto a través de la implementación de un flujo de caja.

La justificación económica estimada será contrastada en el siguiente capítulo con los resultados obtenidos en faena.

Antes de concluir, se describirá el desarrollo y la generalización del proyecto a través de un Framework, que permitirá habilitar la solución a problemas similares de la industria.

El último capítulo incluye las conclusiones del trabajo y los trabajos futuros que motivan el crecimiento de este trabajo como una fuente de inspiración.

2. Antecedentes del mercado del Cobre

La recopilación de información en este ámbito tiene por objeto identificar a los distintos actores que componen el mercado del cobre y explicitar sus relaciones, de esta manera, se focaliza el esfuerzo en la identificación de oportunidades, amenazas, fortalezas y debilidades donde se desenvuelven las compañías que explotan este mineral.

2.1 Demanda Mundial de Cobre Refinado

La demanda mundial de cobre refinado ha demostrado cambios radicales, con un desplazamiento desde los países desarrollados a países emergentes tales como China, Brasil e India, debido a que son los principales productores de todo tipo de bienes de consumo. Además, dado que internamente presentan grandes cambios estructurales.

A continuación, la distribución de la demanda global y su variación pronosticada para el año 2012.

Periodo 2009-2012. Valores en miles de TM.

Miles TM	2009 (p)		2010 (e)		2011 (e)		2012 (e)	
	Demanda	Var (%)	Demanda	Var (%)	Demanda	Var (%)	Demanda	Var (%)
China (1)	7.119	36,9	7.455	4,7	7.902	6,0	8.140	3,0
Unión Europea (1)	2.755	-19,7	2.924	6,1	3.086	5,5	3.271	6,0
Estados Unidos	1.629	-19,4	1.729	6,1	1.720	-0,5	1.715	-0,3
Japón	875	-26,1	982	12,2	1.002	2,0	1.005	0,3
Corea del Sur	901	15,5	836	-7,2	857	2,5	883	3,0
Federación Rusa	393	-39,5	430	9,4	540	25,6	630	16,7
Taipei Chino	494	-15,1	522	5,7	535	2,5	547	2,2
India	610	7,0	648	6,2	694	7,1	767	10,5
Turquía	323	-10,3	370	14,6	389	5,1	398	2,3
Brasil	316	-16,4	395	25,0	410	3,8	425	3,7
Principales países	15.415	1,7	16.291	5,7	17.135	5,2	17.781	3,8
Resto del mundo	2.702	-6,7	2.893	7,1	3.061	5,8	3.264	6,6
Total mundial	18.117	0,4	19.184	5,9	20.196	5,3	21.045	4,2

Fuente: Elaboración Cochilco sobre la base de datos GIEC, Consensus Forecast, Brook Hunt y CRU.
Notas: (p) provisorio, (e) estimado, (1) demanda aparente.

Tabla 1: Demanda mundial de cobre.

El pronóstico para el año 2011 indica que la demanda mundial de cobre fino aumentaría en 1,012 Millones de TM, esta alza de la demanda determina el diseño y la

capacidad de cada una de las empresas que componen al clúster minero en Chile y el mundo.

2.2 Oferta Mundial de Cobre

2.2.1 Producción Mundial de Cobre Refinado

Para el año 2009, la oferta mundial de cobre refinado fué de 18.520 miles de TM, incrementándose 1,7% (+312 miles de TM más que el año anterior), la fuente de incremento proviene de la producción primaria, principalmente del cobre electro obtenido, objeto de estudio.

Para el año 2010 se estima que la oferta total de cobre refinado habría alcanzado las 19,094 Millones de TM, registrando un incremento de 3,1% anual (+574 miles de TM). Poco menos de dos tercios de este crecimiento se explicaría por el aumento en la producción de refinado secundario, producto de la mayor disponibilidad de chatarra por la mayor actividad industrial presenciada durante el año.

Periodo 2009-2012. Valores en miles de TM de mineral. Variaciones en %.

Miles de TM	2009		2010 (e)		2011(e)		2012(e)	
	Producción	Var.	Producción	Var.	Producción	Var.	Producción	Var.
Electro-refinado	12.327	79	12.487	160	12.673	186	13.039	366
Electro-obtenido	3.342	211	3.385	43	3.539	154	3.680	140
Refinado primario	15.669	290	15.872	203	16.212	340	16.719	506
Refinado secundario	2.852	22	3.222	370	3.518	296	4.029	511
Total de Refinado	18.520	312	19.094	574	19.730	636	20.748	1.017
Variación Porcentual	1,7		3,1		3,3		5,2	

Fuente: Elaborado en Cochilco, sobre la base de antecedentes de GIEC, Brook Hunt, CRU y empresas productoras.
Nota: (p) provisorio. (e) estimado.

Tabla 2: producción de refinado- Fuente, COCHILCO.

De las tablas 1 y 2, se descubre que la oferta no ha sido capaz de seguir el crecimiento sostenido de la demanda, explicado especialmente por el comportamiento de las economías asiáticas tales como China e India, esto trae como consecuencia un alza sostenida para el precio del cobre en el largo plazo.

2.3 Composición de mercado productor mundial

A nivel Mundial, los mayores productores de cobre son: Freeport con 349.720 toneladas, BHP Billiton con 273.600 toneladas, Xstrata con 209.935 toneladas, Rio Tinto con 141.400 toneladas, Anglo American con 138.800 toneladas; Southern Copper con 124.190 toneladas; Antofagasta Minerals con 129.800 toneladas, Norilsk con 94.000 toneladas, Grupo México con 167.100 toneladas, First Quantum con 74.900 toneladas, KGHM con 140.000 toneladas (Las toneladas corresponden a cobre y son resultados obtenidos en el primer trimestre del año 2011).

Las cifras excluyen a la minera estatal Chilena CODELCO que mantiene un liderazgo con el 11% de la producción mundial y el 33% de la producción en Chile.

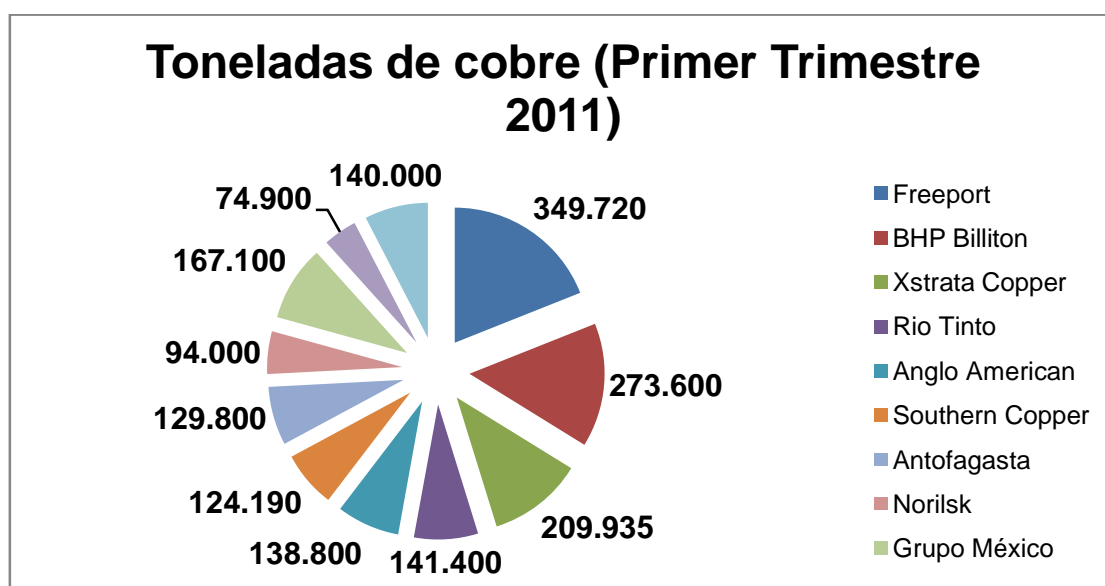


Ilustración 0-1: mercado mundial de cobre

2.4 Composición del mercado productor en Chile

En Chile, la producción está concentrada en cinco empresas que controlan el 76% del total: Codelco con el 33% de la producción, Escondida (BHP Billiton) con el

24%, Collahuasi (Xstrata Copper, Anglo American, Mitsui) con el 8%, los Pelambres (AMSA) con el 6,3%, y Sur Andes (Anglo American) con el 5,5%.

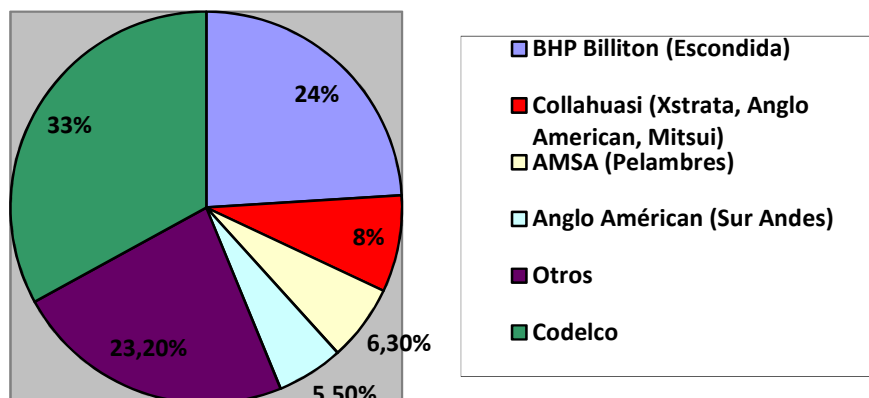


Ilustración 0-2: Mercado del Cobre en Chile

En resumen, identificamos a Xstrata avanzando una posición en la producción mundial, desde la cuarta a la tercera posición, cambio de estado que refrenda la búsqueda de liderazgo frente a compañías como BHP Billiton, actualmente, protagonista en el mercado Chileno.

2.5 Responsabilidad social y de medio ambiente para la minería en Chile.

La responsabilidad social y medio ambiental son considerados imperativos estratégicos que aseguran la continuidad del negocio minero.

El gobierno de Chile por medio de la entidad fiscalizadora CONAMA, corporación nacional de medio ambiente, ha elaborado una serie de políticas sociales y ambientales, que entregan un marco regulador para el ingreso, operación, mantenimiento y cierre de proyectos mineros. Las políticas tienen relación con la creación de planes de descontaminación en fundiciones estatales y privadas, acuerdos de producción limpia que requieren de una gestión eficiente de residuos industriales,

con una guía metodológica sobre drenaje ácido, una guía metodológica para el cierre de faenas, consideración del uso eficiente de la energía y el uso eficiente de recursos hídricos, todo esto con la aplicación de las mejores prácticas. Además, las políticas impulsan la competitividad ambiental según las regulaciones internacionales en aspectos tales como la emisión de gases de efecto invernadero.

Cada una de estas políticas implica una alta inversión en estudios, la implementación de procesos estandarizados, y el uso de tecnologías de información para medir los procesos, con el objeto de mitigar el impacto ambiental.

3. Análisis de las cinco fuerzas

El análisis de las cinco fuerzas permite estimar la intensidad competitiva y la rentabilidad de un sector industrial en particular, donde se encuentra inserto el proyecto. Además, se debe describir la dinámica entre fuerzas tales como fuerzas negociadoras de clientes, proveedores, ingreso de nuevos competidores, productos sustitutos y la propia rivalidad desarrollada entre competidores.

3.1 Intensidad de la rivalidad.

De acuerdo a la información entregada al inicio de este capítulo, se ha demostrado un bajo incremento en la oferta frente a la creciente demanda mundial, y un pequeño **crecimiento de la industria con una baja participación de competidores, poco diversificados**, ya que para ingresar al mercado del cobre es necesario contar con grandes inversiones en estudios de pre y factibilidad, para la operación, mantenimiento y cierre de la planta.

Las barreras de salida son altas, dado que los costos de cierre de planta son muy altos, por la naturaleza especializada de los activos y con altas restricciones por parte de organismos fiscalizadores de gobierno, CONAMA, en materias medio ambientales.

3.2 Amenaza en el ingreso de nuevos competidores

Las barreras de entrada para explotar cobre son muy altas, porque la configuración del bloque estratégico requiere una alta inversión en activos fijos, con un **producto poco diferenciado** y que se produce en grandes volúmenes. Esto genera de forma natural **economías de escala**, que impide el ingreso de nuevos actores. **Una mayor especialización por parte del productor** de cobre genera una mayor competencia en costos y una barrera adicional para el ingreso de competidores.

El **acceso a canales de distribución** es homogéneo y no representa una dificultad para ingresar al negocio del cobre.

Las **políticas de gobierno** que regulan el impacto ambiental provocado por instalaciones de empresas estatales y privadas, incrementan los costos para ingresar al mercado, debido a la profundidad de los estudios de impacto al medio ambiente requeridos. Esto se considera como una gran barrera para el acceso al mercado del cobre.

3.3 Poder de negociación de proveedores

Los proveedores tienen un alto impacto en los costos totales, el motivo, la operación y mantenimiento de equipamiento industrial necesita un mercado proveedor altamente especializado. Es por esta razón que, actualmente, existe una gran cantidad de empresas proveedoras homogéneas en servicios y productos, esto provoca la creación de una amplia gama de sustitutos que disminuye el poder de negociación de proveedores. Además, existe una amenaza muy baja de integración hacia adelante.

Desde la perspectiva de las tecnologías de información, los proveedores ofrecen la capacidad de integrar tecnologías a la línea de producción, con alternativas de trabajo basadas en resultados, coherentes con el mapa estratégico corporativo, incrementando su poder de negociación por "Know How".

3.4 Poder de negociación de clientes

Existe una sensibilidad moderada frente al precio. Los costos de cambio del cliente son bajos.

3.5 Presión que ejercen los productos sustitutos

Existe una alta disponibilidad de aluminio, pero esto trae consigo altos costos de cambio, lo que contribuye a una baja propensión del cliente a sustituir.

En resumen, las claves de la industria se centran en el control de costos, en aprovechar y expandir la experiencia para contribuir en la eficiencia de los procesos, y en la optimización de la producción.

Las tecnologías de información en la industria minera ofrecen la posibilidad de generar fuertes mejoras en los procesos, incrementando el poder de generar ventajas competitivas.

4. Análisis FODA

Dada la naturaleza del escenario minero global e interno, identificamos tendencias y nuevos desafíos que deben ser considerados al momento de emprender un proyecto minero.

4.1 Amenazas y oportunidades

- Desde la perspectiva del **medio ambiente**, la regulación gubernamental considera al medio ambiente como una variable de gran peso, es por esta razón que ha creado una legislación que regula el ingreso al sector minero. Para cumplir con cada una de las leyes y estándares, es necesario una gran inversión en cada una de las etapas de proyecto: ingeniería básica, implementación, control y cierre del proyecto, es decir, involucra a todo el ciclo de vida del activo.

En ocasiones, esta variable puede ser considerada como una amenaza, pero en ocasiones puede ser considerada como una oportunidad, con la emisión de bonos de carbono.

- Si consideramos el **desplazamiento de la producción industrial**, la competitividad del proveedor nacional se ve amenazada por la presencia de proveedores extranjeros que ofrecen productos y servicios sustitutos de menor costo.
- Si consideramos el incremento de la incertidumbre, la aleatoriedad amenaza los resultados esperados y puede provocar grandes pérdidas económicas, si no se desarrollan procesos y esquemas que aseguren la gestión del riesgo en todo ámbito (oportunidad). De esta manera, la planificación se ejecuta dentro de rangos razonables durante el ciclo de vida del proyecto.
- La disminución de la ley de cobre, variable importante en la planificación de la producción, es considerada como una amenaza, ya que impacta en la decisión de procesar el mineral.
- La profundidad de los yacimientos es considerada como una amenaza, ya que considera costos adicionales para el transporte de mineral.
- La asociatividad del sector permite generar un marco de trabajo en conjunto con proveedores de bienes y servicios, donde la confiabilidad del proceso y la mejora continua sean transversales a los objetivos de cada entidad, esta característica es considerada como una oportunidad.
- Los crecientes costos de operación son considerados como una amenaza, que determina la elaboración de un marco de trabajo, basado en la confiabilidad del proceso y las personas.
- El acceso y utilización de recursos hídricos es considerado como una amenaza, ya que surge debido a la necesidad de mantener un proceso para la elaboración de cátodos de cobre, donde uno de los insumos principales es el agua.

- Las crecientes exigencias medio ambientales son consideradas como una amenaza, ya que involucran una gran inversión en tecnologías que apuntan a disminuir la emisión de dióxido de carbono, ácido sulfhídrico, ácido sulfúrico, polvo, etc., dado que son causas de multas, sujetas a detenciones prolongadas, que provocan grandes pérdidas de producción.
- La inversión en investigación y desarrollo colaborativa es considerada como una oportunidad, con nuevos procesos, nuevos equipos, nuevas capacidades humanas, etc., que configuran un ciclo virtuoso de mejora continua como factor diferenciador y generador de ventajas competitivas.

Fortalezas y debilidades

- Ley de Cobre, dependiendo de su porcentaje puede ser considerado como una debilidad, si es baja, y como una fortaleza, si es alta.
- La gestión de activos es considerada como un proceso clave en el aseguramiento de la capacidad disponible, característica que es considerada como una fortaleza.
- La implementación de tecnologías de información para el control automático, la planificación de mina y planta, para la gestión de proyectos, la gestión de repuestos, etc., son consideradas como una fortaleza y contribuyen a la creación de valor, ya que materializa la eficacia operacional y la diferenciación de sus actividades.
- Personal altamente capacitado y mejor informado será considerado como una fortaleza.
- Una cadena de valor con una función de estructura confiable será considerada como una fortaleza frente a la competencia.

La información expuesta anteriormente nos entrega un marco de investigación, donde enfocamos los esfuerzos en la salud y seguridad de las personas, medio ambiente, eficacia operacional y en los distintos actores interesados en el negocio minero.

5. Motivación del proyecto

En la industria minera, el activo fijo tiene un peso significativo, esto promueve el estudio cuidadoso de las decisiones de inversión, que impactan en los beneficios de la empresa en el largo plazo.

Si consideramos el diseño de la función de estructura inicial, capacidad nominal, y la confiabilidad basada en el tiempo del sistema en estudio, capacidad real, se descubre la necesidad de crear y mantener estrategias y tácticas para la gestión de activos, que garanticen la correcta ejecución de procesos que coordinan a la cadena de valor de una compañía minera.

Bajo este marco se han encontrado variables que, de acuerdo a su comportamiento provocan una variación significativa en las utilidades de la compañía.

1% Cambio en	Ganancia en Utilidad
Productividad	2,5 – 4,0
Disponibilidad	1,7 – 3,5
Costo de Operación	0,5 – 3,5
Tasa de Interés	0,7 – 1,2
Precio	0,5 – 0,9

Tabla 3: creación de valor en gran minería, fuente (Moore, R 1998)

Si consideramos estos valores, inmediatamente reconocemos que la confiabilidad es un factor decisivo en la obtención de un margen operativo creciente,

dado que impacta directamente en la productividad, genera capacidad disponible y disminuye los costos de operación.

Así, la confiabilidad controlada de un sistema permite describir con mayor exactitud los insumos necesarios para la operación y los recursos necesarios para el mantenimiento de activos.

Esta descripción básica considera la adopción de un proceso productivo eficiente, que colabora en el diseño adecuado y la mejora paulatina de la capacidad real de la planta, incrementando los ingresos de forma más rápida que el crecimiento en costos.

De acuerdo a lo anterior, se ha detectado que el estudio de las fallas y detenciones de sistemas industriales requieren una atención especial, ya que su análisis enfoca los esfuerzos en el cumplimiento de la capacidad requerida y su posterior mejoramiento de acuerdo a los resultados obtenidos.

Esta premisa tiene sentido si visualizamos el siguiente esquema, en el cual especificamos como se crea valor para los accionistas en el proceso minero.



Ilustración 0-3: valor creado en compañías mineras.

Bajo la responsabilidad de la administración de operaciones y de mantenimiento están definidos los costos de producción, los costos de capital de trabajo, el CAPEX

sostenible y los activos fijos. Cada una de estas variables afecta a la creación de valor para los accionistas a medida que el sistema se torna menos o más confiable.

La pérdida de confiabilidad en sistemas industriales se encuentra dictada principalmente por la aleatoriedad en la ocurrencia de fallos de mantención y operación, esto trae como consecuencia una alta variabilidad en los procesos que determinan una deficiente utilización global de la planta y una pérdida de calidad en el producto obtenido, para cada una de las etapas que componen el proceso.

La aleatoriedad de los fallos en el proceso genera una alta demanda de recursos humanos, repuestos, etc., para cubrir esta necesidad, las empresas mineras deben mantener estrategias y tácticas que permitan priorizar esfuerzos y optimizar la utilización de estos recursos.

Los recursos escasos y una gran cantidad de necesidades que cubrir generan interrogantes que los tomadores de decisiones deben resolver:

1. Disminuyo la demanda de recursos (Es más factible pero, ¿mantengo la capacidad?).
2. Cambio en la criticidad de los equipos (Imposible).
3. Incremento en la oferta de recursos (Restricción presupuestaria).
4. Mejorar las condiciones de apoyo a la operación (mejorar Mantenibilidad).

En este contexto, es más probable enfocarse en disminuir la demanda de recursos y mejorar las condiciones de apoyo a la operación con estrategias y tácticas de mantenimiento, determinadas por las estrategias del negocio.

Todo lo mencionado anteriormente, ha provocado una búsqueda incesante de información en la industria, con académicos y profesionales destacados en el estudio del mantenimiento, procesos y tecnologías de información, con el objeto de elaborar una solución que realmente sea sustentable en el tiempo y que sea capaz de ser denominada como un motor para la generación de ventajas competitivas.

6. Revisión de documentos que han permitido dar sustento a la solución del problema.

Dentro de la literatura que ha sido revisada, los aportes más relevantes desde la perspectiva de quien redacta, son las propuestas hechas por el Doctor Andrew K.S. Jardine, University of Toronto, especialista en la optimización de estrategias de mantenimiento de equipos, donde especifica una metodología para el elaborar estrategias y tácticas de mantenimiento.

El Doctor Andrew K.S. Jardine, en seminarios internacionales, ofrece una analítica equivalente a la propuesta por otros autores, en la cual, la incorporación del riesgo en la toma de decisiones, análisis de datos asociado a fallos, reemplazo y análisis predictivo, marcan la pauta en la gestión de activos.

Por otro lado, El Doctor Oscar Barros, U. Wisconsin, ofrece un enfoque sistémico con énfasis en la estrategia, que descubre una ontología o arquitectura empresarial apoyada por patrones de procesos de negocios, que utiliza las mejores prácticas del mercado. Esta técnica, ingeniería de negocios, es considerada como un catalizador para la creación de ventajas competitivas, y se encuentra ligada estrechamente a la gestión de procesos de negocio con un alto apoyo de tecnologías de información, analítica y lógica compleja, como insumo para el proceso de toma de decisiones.

De la metodología que ha diseñado el Doctor Oscar Barros, es interesante descubrir que la lógica aplicada nace desde los procesos, y esta puede llegar a ser muy especializada, dependiendo del grado de profundidad otorgado en el estudio. Por otra parte, cabe destacar que el analista o diseñador que utiliza la ingeniería de negocios, no puede olvidar que existen otros procesos de gran envergadura, que requieren de la información generada por el área en estudio, para cumplir con los imperativos estratégicos definidos por la empresa en estudio.

La lista de académicos que describen metodologías para el análisis de mantenimiento, generalmente indican que la estrategia de mantenimiento es un proceso que requiere analítica para su evaluación, además, enumeran y definen una serie de técnicas que entregan solución a una problemática en particular, pero no determinan de qué manera se estructura esa estrategia en base a otros Macroprocesos, que en conjunto describen como la empresa crea, capta y entrega valor. Es por esta razón, que se ha optado por la investigación del enfoque que presenta el Doctor Oscar Barros, debido a que su postura formaliza y unifica a la estrategia, modelo de negocios, arquitectura empresarial, el diseño y la gestión de procesos de negocios, los sistemas de información y la lógica de negocio trivial y compleja, en un solo framework flexible que describe totalmente a cualquier instancia de la industria.

7. Marco Teórico

7.1 Metodología para el desarrollo del proyecto

La metodología utilizada para el presente proyecto, es la del Magister en Ingeniería de Negocios, liderada por el doctor Oscar Barros. En donde especifica que, de acuerdo a la creciente necesidad de las empresas de ser sustentables tanto en el corto como en el largo plazo, se ha buscado la forma de especializar su funcionamiento de acuerdo a las mejores prácticas del mercado junto a una gestión de procesos de excelencia, considerando que estas variables le permitirán alcanzar el éxito en un mercado competitivo.

Con esto aparece BPM (Business Process Management), que describe una forma sistemática para la gestión de procesos en empresas, con técnicas de

modelamiento, monitoreo y optimización recursiva con una lógica que presenta un enfoque de mejora continua.

7.2 Ingeniería de Negocios

La Ingeniería de negocios es una disciplina que busca formalizar y proveer una metodología para el diseño integral de los negocios desde el análisis y la concepción de la estrategia, pasando por el diseño de los modelos de negocio y los procesos de negocio que las materializan, llegando hasta el diseño de las aplicaciones y la infraestructura TI que apoya a la ejecución de dichos procesos. La metodología de la ingeniería de negocios cubre los siguientes ámbitos:

Planteamiento Estratégico, básicamente, consiste en definir como se alcanzará la eficacia operacional y el posicionamiento estratégico, para la obtención de ventajas competitivas sustentables.

Definición de modelo de negocio que consiste en definir explícitamente, a partir del planteamiento estratégico, quienes son los clientes, que es lo que estos valoran y como se generará un resultado económico positivo, producto de proveer tal valor.

Diseño de la arquitectura de procesos que, básicamente, consiste en instanciar los macro procesos relevantes para definir cuáles son los procesos necesarios para implementar el modelo de negocios, y más específicamente, estudiar las interacciones entre las entradas, salidas, recursos y normas. A partir de este punto se definen los requerimientos para la siguiente etapa, que es el diseño detallado de los procesos.

El diseño de los procesos consiste en definir detalladamente cómo se ejecuta cada proceso de la arquitectura, en forma detallada, como se ejecutan las actividades que transforman las entradas de cada proceso, en el resultado o salida requerido, a través del uso de sus recursos y normas asociadas.

El diseño de la aplicación de apoyo es generado a partir de los diseños de procesos en BPMN. Cada modelo BPMN determina el apoyo requerido en términos computacionales y luego se procede a diseñar, usando UML y una programación orientada a objetos.

La Construcción e implementación consiste en diseñar las aplicaciones, utilizando las tecnologías de información apropiadas, de acuerdo a las exigencias de la organización y en establecer la programación del plan piloto y la implementación del rediseño del proceso y los sistemas desarrollados, considerando las bases para la gestión del cambio (Dr. Oscar Barros, Director del Magister en Ingeniería de Negocios de la Universidad de Chile).

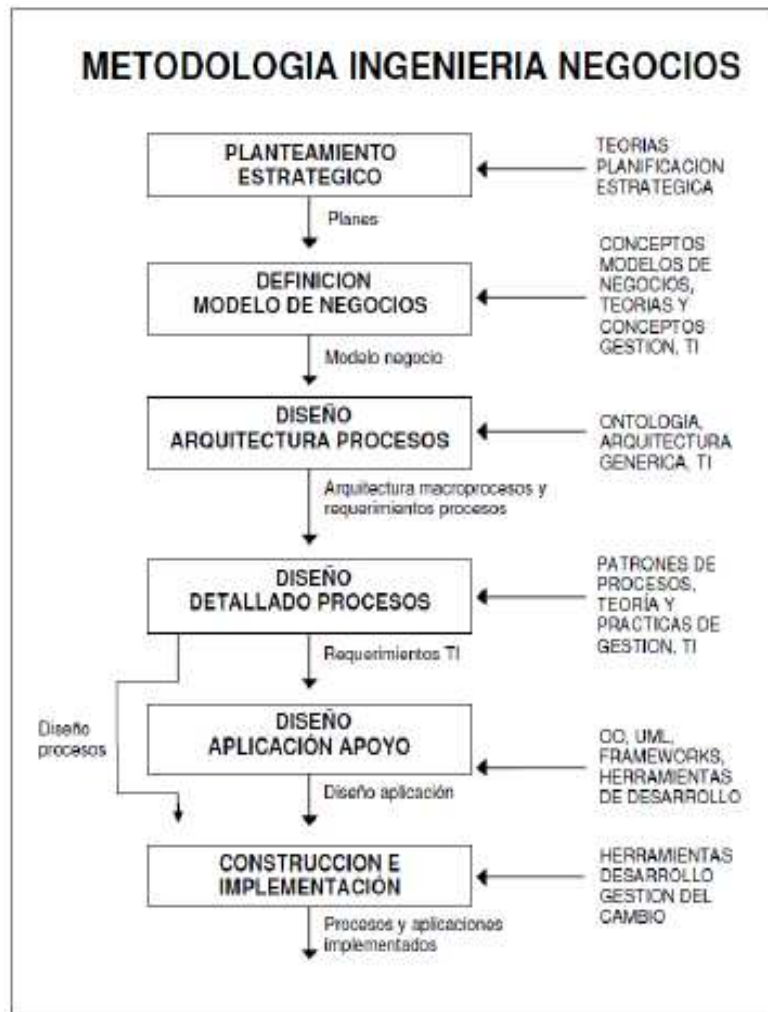


Ilustración 0-4: metodología ingeniería de negocios.

7.3 Arquitectura de Procesos

Para describir la arquitectura de procesos podremos decir que esta se estructura en distintas etapas o niveles. En primera instancia están los Macro procesos propuestos por el Dr. Oscar Barros:

MACRO 1, Macro proceso que corresponde a las actividades que se realizan en la cadena de valor.

MACRO 2, Macro proceso que corresponde a las actividades necesarias para la generación de nuevas capacidades.

MACRO 3, Macro proceso que corresponde a las actividades necesarias para la entrega de directrices alineadas a la visión, misión e imperativos estratégicos.

MACRO 4, Macro proceso que corresponde a las actividades de apoyo en la gestión de recursos, para que cada uno de los macro procesos mencionados anteriormente puedan ejercer su función, en este ámbito podremos encontrar recursos financieros, recursos humanos, Infraestructura y materiales.

Luego de haber estructurado el negocio basado en los macro procesos expuestos, es necesario llevar nuestro diseño a un siguiente nivel de especialización, donde encontramos a los procesos de negocio que determinan el funcionamiento global de la empresa, en este ámbito, es importante mencionar los patrones de procesos de negocio, debido a que corresponden a un framework estandarizado con las mejores prácticas de la industria, finalmente, encontramos con un mayor nivel de detalle a los procesos y subprocesos con sus respectivas relaciones y flujos de información, para terminar con la parte netamente procedural, donde se modela la ejecución de cada tarea, incluyendo la interacción con sistemas computacionales.

7.4 Business Process Modeling Notation (BPMN)

La notación para el modelado de procesos de negocio (Business Process Modeling Notation, por sus siglas en inglés), es un estándar que determina mediante configuración gráfica de elementos, la representación de cada una de las actividades que lleva a cabo un negocio.

Tiene como objetivo que todas las personas relacionadas con el proceso puedan comprender y compartir sus ideas de forma estandarizada y sostenible en el tiempo.

Los elementos gráficos de BPMN se encuentran clasificados dentro de cuatro categorías:

1. Objetos de flujo, que son los principales elementos gráficos que definen el comportamiento de los procesos, aquí podemos encontrar eventos, compuertas y actividades.
2. Objetos de conexión, que son elementos gráficos usados para conectar dos objetos del flujo en un proceso, dentro de los objetos de conexión encontraremos líneas de secuencia, asociaciones, líneas de mensaje.
3. Los canales son elementos gráficos utilizados para organizar las actividades del flujo, en diferentes categorías visuales que representan áreas funcionales, roles o responsabilidades. Dentro de estos canales encontramos los Pools y Lanes.
4. Los artefactos son elementos gráficos utilizados para proveer información adicional sobre el proceso, tales como objetos de datos, grupos y anotaciones.

7.5 Confiabilidad Operacional

La **Confiabilidad Operacional** se define como una serie de procesos de mejora continua que incorporan en forma sistemática herramientas avanzadas para el diagnóstico y resolución de problemas, metodologías de análisis y nuevas tecnologías para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción industrial.

La filosofía de la Confiabilidad Operacional, forma parte de **Las Diez Mejores Prácticas** de las organizaciones de Clase Mundial, estas son:

- Trabajo en equipo.
- Contratistas enfocados en la productividad.
- Integración con proveedores.
- Apoyo y visión gerencial.

- Planificación y programación proactiva.
- Mejoramiento continuo.
- Gestión disciplinada de materiales.
- Integración de los sistemas.
- Gerencia de paradas de plantas.
- Producción basada en confiabilidad.

Las empresas que enmarcan a la “Confiabilidad Operacional” dentro del “Mantenimiento”, están pasando por alto una serie de aspectos que pueden mejorar su productividad. Por el contrario, quienes aceptan el proceso con el enfoque sistémico, e implantan metodologías de mejoramiento continuo con una visión holística, adquieren una serie de ventajas competitivas para enfrentar el cambiante mundo de hoy.

Para que la confiabilidad operacional se convierta realmente en una nueva cultura, debe ser adoptada por todos, debe abarcar no solamente los activos físicos, también, las áreas relacionadas con los procesos de producción y el desarrollo de capital humano.

Para desarrollar con efectividad un cambio cultural, la alta gerencia debe enfocar todos sus esfuerzos en las personas; la redacción de la visión y la misión se tornan en extremo importantes si han de influir en los cambios conductuales.

La Confiabilidad Operacional es una de las más recientes estrategias que generan grandes beneficios a quienes la han aplicado, se basa en análisis estadísticos y análisis de condición, orientados a mantener la confiabilidad de los procesos de negocio con la activa participación del personal en la empresa.

La Confiabilidad de un sistema o un equipo es la probabilidad de que dicha entidad pueda operar durante un determinado periodo de tiempo con una pérdida aceptable de su función. El fin último del Análisis de Confiabilidad de los activos físicos es cambiar las actividades reactivas y correctivas, no programadas y altamente costosas, por acciones preventivas, planeadas, que dependan de análisis objetivos, situación actual, historial de equipos y un adecuado control de costos.

La Confiabilidad Operacional lleva implícita la capacidad de los procesos, tecnología, personas, para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un específico contexto operacional.

Es importante puntualizar que un sistema de Confiabilidad Operacional requiere el análisis de cuatro parámetros operativos: Confiabilidad Humana, Confiabilidad de los Procesos, Mantenibilidad y Confiabilidad de los equipos, sobre los cuales se debe actuar si se quiere un mejoramiento continuo sustentable en el largo plazo. Estos cuatro elementos básicos se muestran en la siguiente Figura.

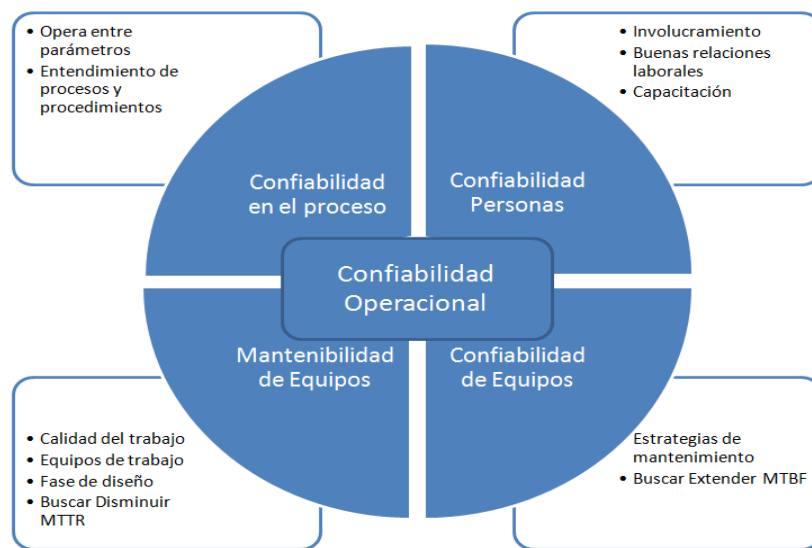


Ilustración 0-5: perspectivas de la confiabilidad operacional

7.6 Confiabilidad en función del tiempo

La confiabilidad de la componente i en el instante se denota $R_i(t)$. Se define como la probabilidad de que la componente i no falle en el intervalo $(0, t)$; es decir:

$$R_i(t) = P\{T_i > t\} = P\{x_i(t) = 1\}$$

0-1: función de confiabilidad

Donde T_i , es una variable aleatoria que denota la vida y $x_i(t)$ indica el estado de falla o funcionamiento en $(0, t)$ de la componente i . O sea, la característica de falla del sistema.

Por otro lado

$$R_i(t) = P\{T_i > t\} = P\{x_i(t) = 1\} = 1 - P\{T_i \leq t\} = 1 - F_i(t)$$

Donde $F_i(t)$ es la función de distribución acumulativa de la vida de la componente C_i .

La confiabilidad tiende a cero a medida que incrementa el tiempo de vida de la componente, cuando t crece; la confiabilidad en el instante $t = 0$, es 1, pues se tiene la certeza que la componente funciona.

Confiabilidad condicionada a una edad o vida cierta.

Si una componente ha vivido hasta v , se puede calcular la confiabilidad para cualquier t medido a partir de v . Llamemos:

$$R_{iv}(t) = P\{x(t) = 1 \mid \text{componente funciona hasta } v\}$$

$$R_{iv}(t) = P\{x(t) = 1 \mid x(v) = 1\} = \frac{P\{x(t) = 1, x(v) = 1\}}{P\{x(v) = 1\}} = \frac{P\{x(t+v) = 1\}}{P\{x(v) = 1\}}$$

$$R_{iv}(t) = \frac{R_i(t+v)}{R_i(v)}$$

Componentes que no envejecen

Si para una componente se detecta que

$$R_{iv}(t) = R_{i0}(t) = R_i(t)$$

Esto implicará que la confiabilidad no dependerá de la vida que haya tenido la componente funcionando, sino solo del intervalo que se analiza. Esto nos dice que estamos frente al caso de una componente que no envejece; vale decir, si la componente funciona hasta v , en ese momento está igual que nueva.

Por lo tanto, en este caso:

$$R_{iv}(t) = \frac{R_i(t+v)}{R_i(v)}$$

Lo que implica que

$$R_{iv}(t) R_i(v) = R_i(t+v)$$

Esta relación se cumple para

$$R_{iv}(t) = e^{-\lambda t}$$

Ya que

$$R_i(t+v) = e^{-\lambda(t+v)} = e^{-\lambda t} e^{-\lambda v} = R_{iv}(t) R_i(v)$$

Ahora, ya que

$$R_i(t) = 1 - F_i(t)$$

Resulta que

$$F_i(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

0-2: distribución exponencial de fallos.

Vale decir, la función de distribución de la vida de las componentes que no envejecen es exponencial, resultando lo que era de esperarse, pues una distribución de tiempos exponenciales implica que el proceso de generación de fallas es Poisson, y es, precisamente, este proceso el que no tiene memoria. El no tener memoria significa que

la probabilidad de ocurrir una falla en un cierto instante es independiente del tiempo en que se encuentra el sistema y el número de fallas anteriores.

Tasa instantánea de fallas

Se define como tasa instantánea de fallas a la densidad asociada a la probabilidad que una componente que haya vivido hasta t falle en un intervalo $(t, t + dt)$. Si la denominamos $r_i(t)$ tenemos que:

$$r_i(t) = P\{t \leq T_i \leq t + dt \mid T_i > t\}$$

$$r_i(t)dt = \frac{f_i(t)dt}{R_i(t)} = \frac{f_i(t)dt}{1 - F_i(t)}$$

Luego

$$r_i(t) = \frac{f_i(t)}{1 - F_i(t)}$$

En la generalidad de los casos $r_i(t)$ será dependiente de t y creciente con él. En el caso en que $r_i(t)$ no dependa de t significa que la probabilidad de fallar en cualquier instante es la misma, independiente de la vida anterior; vale decir, estamos en el caso de las componentes que no envejecen. Por ejemplo en el caso:

$$f_i(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

$$1 - F_i(t) = e^{-\lambda t}$$

Luego

$$r_i(t) = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda$$

Confiabilidad en función del tiempo para varios tipos de sistemas

a. Sistema Serie

Consideremos el caso de dos componentes.

Tenemos que las confiabilidades de los componentes 1 y 2 serán respectivamente:

$$R_1(t) = P\{T_1 > t\}$$

$$R_2(t) = P\{T_2 > t\}$$

Ahora, la confiabilidad del sistema será:

$$R(t) = P\{T > t\} = P\{T_1 > t \bigwedge T_2 > t\}$$

Donde T será la vida del sistema y T_1 y T_2 la vida de las componentes. Si T_1 y T_2 son variables aleatorias independientes entonces:

$$P\{T > t\} = P\{T_1 > t \bigwedge T_2 > t\} = P\{T_1 > t\} P\{T_2 > t\}$$

$$R(t) = R_1(t) R_2(t)$$

0-3: Confiabilidad de un sistema en serie

Generalizando, se puede decir que la confiabilidad de un sistema en serie es el producto de la confiabilidad de sus componentes.

b. Sistema ParaleloEscriba aquí la ecuación.

Considerando el caso de dos componentes en paralelo. La confiabilidad del sistema será, en este caso:

$$R(t) = P\{T_1 > t \vee T_2 > t\} = 1 - P\{T_1 \leq t \bigwedge T_2 \leq t\} = 1 - P\{T_1 \leq t\}P\{T_2 \leq t\}$$

$$R(t) = 1 - [1 - R_1(t)][1 - R_2(t)]$$

Generalizando, se puede decir que la confiabilidad de un sistema en paralelo es:

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t))$$

0-4: confiabilidad de un sistema en paralelo

Leyes de fallas para componentes

Todo sistema, es un conjunto de componentes, los cuales están sujetos a fallas. A continuación pasamos a detallar las leyes de fallas más usuales para diferentes tipos de componentes.

Ley de falla normal. Existen muchos tipos de componentes cuya conducta de falla puede ser representada por una ley normal, tasa de falla creciente. Si t es el tiempo de vida de una componente, la función de densidad de probabilidad está dada por:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}, t > 0$$

0-5: función de densidad de probabilidad normal

La función de densidad de probabilidad normal indica que las piezas fallan en tiempos que están agrupados en torno al tiempo esperado de falla $E(t) = \mu$ y el número de fallas decrece cuando $|t - \mu|$ crece, la función normal es simétrica.

La función de confiabilidad de las leyes normales de falla resulta:

$$R(t) = P\{T > t\} = 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx$$

0-6: Función confiabilidad ley normal

Ley de falla exponencial. Uno de los casos más interesantes de las leyes de fallas es el caso de la exponencial, donde la función de densidad de probabilidad y de distribución de tiempos de falla es respectivamente:

$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ y $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ en que $\frac{1}{\lambda}$ es la media del proceso (o vida esperada de la componente) y λ es la tasa del proceso. De acuerdo a esto, la función de confiabilidad es:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

0-7: confiabilidad exponencial

La tasa instantánea de fallas $r(t)$ será λ y es independiente de t . En el caso que una componente tenga falla exponencial, se puede ver, claramente, que si ella llega a una cierta edad está tan buena como cuando nueva, vale decir nos encontramos en el caso de componentes que no envejecen.

Ley de falla Normal Logarítmica. Esta ley se caracteriza por tener una función densidad de probabilidad dada por:

$$f(t) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\log(t)-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad t > 0, \sigma > 0$$

0-8: ley de falla normal logarítmica

Esta ley presenta una tasa de fallas decreciente y se ha visto que describe fenómenos relacionados con fatiga de materiales

Distribución Weibull

Desde hace algunos años la distribución Weibull ha sobresalido dentro de la familia de distribuciones para análisis de fallas. Su aplicabilidad a diferentes situaciones

de falla fue presentada por Weibull en 1951. Se utilizó para describir fallas en rodamientos (Lieblein y Zelen, 1956).

Considerando que la distribución exponencial está limitada, debido a que hace la suposición de una tasa de falla o función de riesgo constante; la distribución de Weibull puede ser definida para incluir una tasa de falla o tasa de riesgo creciente o decreciente. Ya que la mayor cantidad de fallas en campo, especialmente las partes mecánicas, muestran un aumento en la tasa de falla (debido a desgaste o deterioro del material), la distribución de Weibull es muy útil en describir patrones de falla de este tipo.

La tasa de falla o función de riesgo para la distribución Weibull se define como:

$$h(x) = \frac{\beta}{\theta} \left[\frac{x - \delta}{\theta} \right]^{\beta-1} ; \beta, \theta > 0 ; \delta \geq 0 ; x \geq \delta$$

Donde

β , es el parámetro de forma de la distribución.

θ , es el parámetro de escala o de vida característica.

δ , es el parámetro de localización.

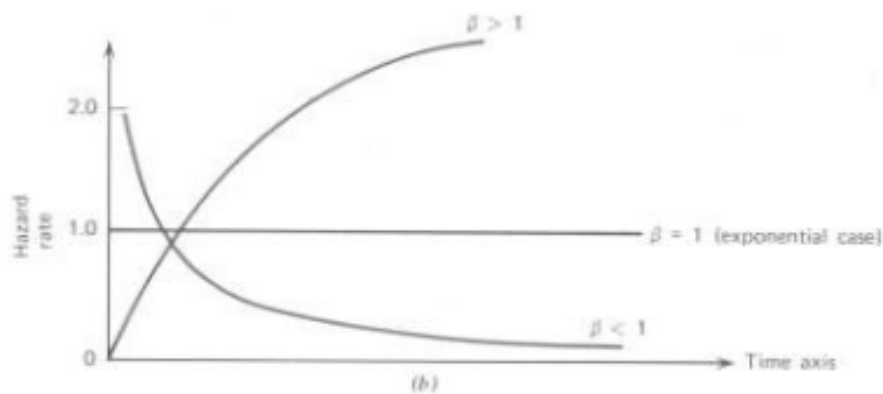


Ilustración 0-6: función de densidad de probabilidad Weibull

La función de densidad de probabilidad de la distribución Weibull para tres parámetros es:

$$f(x) = \frac{\beta(x-\delta)^{\beta-1}}{\theta^\beta} e^{-\left(\frac{x-\delta}{\theta}\right)^\beta}, x \geq \delta$$

0-9: función de densidad de probabilidad Weibull

Esta se puede representar con sólo dos parámetros (β , θ). La diferencia en las dos distribuciones es el parámetro de localización, δ , el cual recorre la distribución a lo largo del eje x . Por definición, hay cero probabilidad de falla para $x < \delta$. Esto implicaría valores negativos en el parámetro de localización, lo cual significaría que los elementos fallan antes de la prueba.

Para el caso de $\delta = 0$, $\theta = 1$ y el parámetro de forma, β , con diferentes valores la función de distribución se ilustra en la siguiente figura.

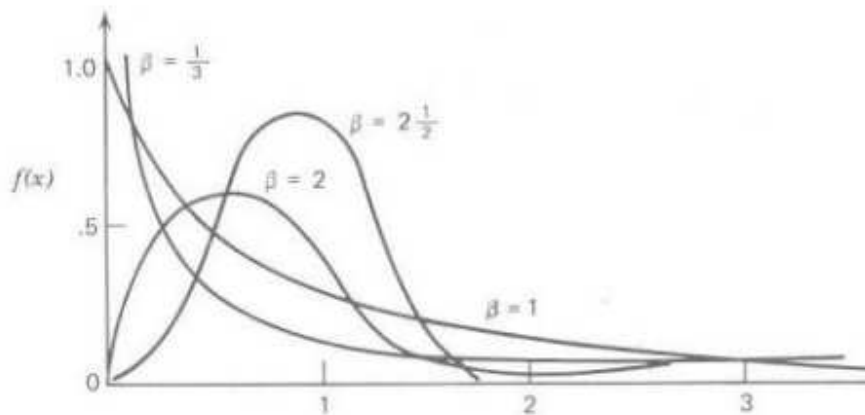


Ilustración 0-7: función de distribución Weibull

La distribución de Weibull es utilizada extensamente en aplicaciones de confiabilidad para modelar los tiempos a la falla obteniéndose resultados adecuados de la confiabilidad. La función acumulativa de la distribución para Weibull quedaría de la siguiente manera:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-\delta}{\theta}\right)^\beta}$$

Y la función de confiabilidad sería:

$$R(x) = 1 - F(x)$$

$$R(x) = e^{-\left(\frac{x-Y}{\theta}\right)^\beta}$$

0-10: función de confiabilidad Weibull

7.7 Políticas de reemplazo

El reemplazo de equipos proviene de su deterioro con el transcurso del tiempo, por la operación que se hace más ineficiente con la edad y su mantenimiento más costoso. Es por estas razones que llega el momento en el cual será necesario incurrir en una inversión para el reemplazo de ese equipo.

Al ciclo de vida de un activo, es posible asociar dos tipos de flujos: el primero, de beneficios provenientes de la producción, y el segundo, de gastos originados en la operación y mantenimiento del mismo.

En el mantenimiento, los costos se ven reflejados por las características de falla provenientes de la confiabilidad y de las políticas de reemplazo.

La evolución en el tiempo de estos costos tiene la forma del siguiente esquema.

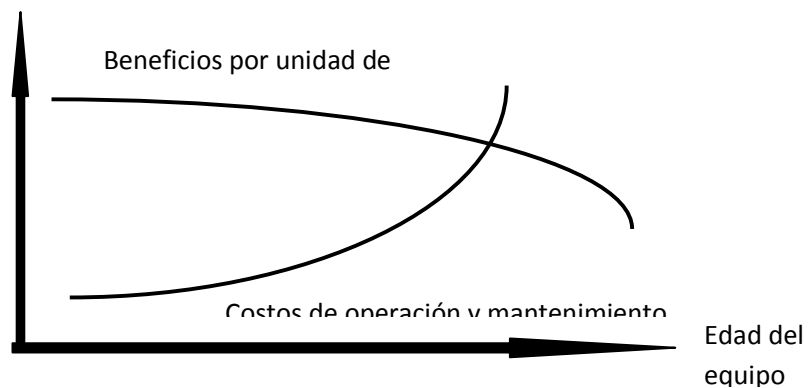


Ilustración 0-8: beneficios y costos en el tiempo para un equipo

A los dos flujos, será necesario agregar el costo de adquisición del activo.

Cabe destacar la dificultad de comprobar los beneficios asociados al funcionamiento de un equipo, dado que cada equipo puede poseer múltiples propósitos. A raíz de esto será necesario asumir que los beneficios asociados a diferentes máquinas son iguales produciéndose solo una diferenciación en costos.

El problema de reemplazo consiste en determinar, cuando se debe llevar a cabo el cambio del equipo de la forma más adecuada desde la perspectiva económica, o sea, de forma de maximizar los retornos netos actualizados.

Cabe destacar que para el proyecto será necesario considerar un modelo de reemplazo que considere aspectos tales como beneficios enfocados en el período de análisis, posibilidad de mejoras tecnológicas en equipos, que los costos de operación dependan del año de operación o sea que el proceso tiene un horizonte de n años y en cada año se desea obtener una política óptima. Es por esta razón que será necesario aplicar programación dinámica utilizando el principio de optimalidad de Bellman.

7.8 Programación Lineal Entera

En muchos problemas reales no siempre es posible que las variables puedan tomar valores continuos. Así, existen problemas en los cuales las variables solo pueden tomar valores enteros, como por ejemplo cuántos viajes diarios debe realizar cada camión de una determinada empresa, si sus capacidades son distintas, para cubrir una determinada demanda con un coste mínimo, en este caso si cada variable representa el número de viajes que debe realizar cada camión, es evidente que solo podrán tomar valores enteros. Incluso existen determinados problemas de decisión (del tipo si o no) en los cuales las variables solo pueden tomar valores uno o cero, por ejemplo si se instala un almacén en un determinado lugar la variable tomará valor uno y si no se instala, valor cero.

Así pues, los problemas de programación lineal entera, aparecen cuando en los problemas lineales, todas o algunas de las variables pueden tomar valores enteros, es decir, se abandona la hipótesis de perfecta divisibilidad de las variables.

En sentido estricto, todo problema de programación entera tendría que ser definido como un problema de programación no lineal, dado que la función objetivo del problema estará definida únicamente para valores discretos de las variables.

No obstante, en programación entera, se dice que un problema es de programación lineal entera (PLE) si prescindiendo de las condiciones de integridad de las variables, el problema resultante es lineal.

Clasificación

1). Problemas enteros puros

Todas las variables, coeficientes y el valor de la función objetivo han de ser enteras.

2). Problemas enteros mixtos

Existen al mismo tiempo variables continuas y variables que solo pueden tomar valores enteros.

3). Problemas binarios

Las variables que han de ser enteras sólo pueden tomar valores cero o uno. Este tipo de problemas son los que corresponden a los problemas de decisión, asignación, localización, etc.

$$\text{mín. } C^T X$$

$$Ax \leq b$$

$$X \geq 0$$

$$x_i \text{ entera para } i \in \mathcal{L} \subseteq \{1, \dots, n\}$$

Si $\mathcal{L} = \{1, \dots, n\}$ Programación lineal entera pura.

Si $\mathcal{L} \neq \{1, \dots, n\}$ Programación lineal entera Mixta.

Si $x_i \in \{0,1\}, \forall i \in \mathcal{L}$ Programación binaria o 0 – 1.

7.9 Programación Dinámica

La programación dinámica encuentra la solución óptima de un problema con “n” variables, descomponiéndolo en “n” etapas, siendo cada etapa un sub problema de una sola variable. Sin embargo, como la naturaleza de la etapa difiere de acuerdo con el problema de optimización, la programación dinámica no proporciona los detalles de cómputo para optimizar cada etapa.

Naturaleza recursiva de los cálculos en programación dinámica

Los cálculos de programación dinámica se hacen en forma recursiva, ya que la solución óptima de un sub problema se usa como dato para el siguiente sub problema. Para cuando se resuelve el último sub problema queda a la mano la solución óptima de todo el problema. La forma en la que se hacen los cálculos recursivos depende de cómo se descomponga el problema original.

En particular, los sub problemas se vinculan normalmente mediante restricciones comunes, Al pasar de un sub problema al siguiente se debe mantener la factibilidad de esas restricciones comunes.

Principio de Optimalidad de Bellman

Las decisiones futuras para las etapas restantes formarán una política óptima independiente de las políticas adoptadas en las etapas anteriores.

Relación recursiva hacia atrás

Define la política óptima en la etapa K conocida como la política óptima en cualquier estado de la etapa K+1.

$$\mathcal{F}_k^*(X_k) = \min\{C_{X_k U_k} + \mathcal{F}_{k+1}^*(X_{k+1})\}$$

0-11: Función objetivo para la política de reemplazo.

X_k Estado actual de la etapa K

X_{k+1} Estado al que se llega en la etapa k+1 dependiente del estado inicial X_k y la decisión U_k

U_k Variable de decisión en la etapa K

$\mathcal{F}_k^*(X_k)$ Valor acumulado de la función objetivo para el estado X_k desde la etapa K hasta N

$C_{X_k U_k}$ Valor inmediato de tomar la decisión U_k desde el estado X_k

7.10 Principio de Pareto

El principio de Pareto también es conocido como la regla del 80-20 y recibe este nombre en honor a Wilfredo Pareto, quien lo enunció por primera vez.

Su uso para efectos del proyecto en estudio se encuentra relacionado en el control de calidad, (80% de los defectos radican en el 20% de los procesos), así, de forma relativamente sencilla aparecen los distintos elementos que participan en un fallo y se pueden identificar los problemas realmente relevantes que acarrearán el mayor porcentaje de errores.

Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto, también llamado curva 80 - 20 o Distribución A-B-C, es una gráfica para organizar datos de forma que estos queden en orden descendente, de izquierda a derecha y separados por barras. Permite, pues, asignar un orden de prioridades.

El diagrama facilita el estudio comparativo de numerosos procesos dentro de las industrias o empresas comerciales, así como fenómenos sociales o naturales.

Hay que tener en cuenta que tanto la distribución de los efectos como sus posibles causas no es un proceso lineal sino que el 20% de las causas totales hace que sean originados el 80% de los efectos.

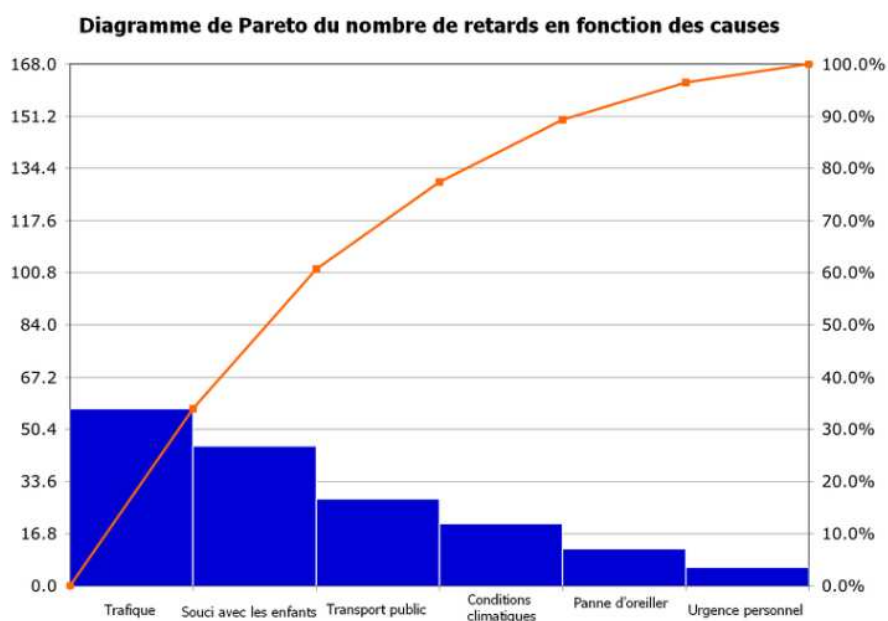


Ilustración 0-9: diagrama de Pareto

Para la elaboración de un diagrama de Pareto se debe efectuar el siguiente proceso:

1. Preparar los datos, considerando un efecto cuantificable y medible sobre lo que se quiere priorizar o una lista completa de elementos o factores que contribuyen a dicho efecto.
2. Cálculo de las contribuciones totales y ordenar los factores de mayor a menor contribución.
3. Obtener frecuencia relativa dada la contribución de cada factor.
4. Obtener frecuencia relativa acumulada.

7.11 Análisis de Jack – Knife

El método de análisis Jack-Knife corresponde a un estudio de varios criterios, que considera las distintas variables involucradas en los modos de falla, tales como frecuencia de ocurrencia, tiempo fuera de servicio, costos asociados, entre otros. El elemento en sí de análisis, es un diagrama en dos o más dimensiones, en donde cada una de estas corresponde a una variable de estudio. En el caso de mantenimiento donde se trabaja con frecuencia y tiempo fuera de servicio, en la gráfica se trazan líneas de referencia que denotan la frecuencia promedio y el tiempo promedio de reparación de los modos de falla, generando cuatro cuadrantes. Los subsistemas ubicados en el primer cuadrante son subsistemas con una frecuencia mayor al promedio (crónicos) y un tiempo mayor al promedio (agudos), por lo que son candidatos a ser sistemas críticos. Adicionalmente se traza una recta ISO – indisponibilidad de manera de identificar los sistemas que generan una disponibilidad mayor a la planteada.

8. Planteamiento estratégico

Antes de abordar el planteamiento estratégico se comenzará hablando de posicionamiento estratégico utilizando los conceptos expuestos por Porter (Porter, 1996) y Hax (Hax, 2010) en el modelo delta.

Luego, utilizando la metodología de Balanced Scorecard (BSC) o cuadro de mando integral (Kaplan & Norton, The Balanced Scorecard: Translating Strategy to Action, 1996) en conjunto a los mapas estratégicos (Kaplan y Norton, 2001) se podrá conectar la propuesta en base a la visión y misión de la compañía, con acciones, su ejecución y la medición de resultados.

8.1 Eficacia Operacional

El posicionamiento estratégico considera a la eficacia operacional como un fuerte aliado, en conjunto con una diferenciación, ya que por sí misma es difícil que genere ventajas competitivas sustentables en el largo plazo.

Las ventajas competitivas son la base para obtener un desempeño sobre el promedio dentro de una industria. De acuerdo a Porter, la estrategia competitiva toma acciones ofensivas o defensivas, con la finalidad de hacer frente, con éxito, a las fuerzas competitivas y generar un retorno sobre la inversión. Según Michael Porter “la base del desempeño sobre el promedio dentro de una industria es la ventaja competitiva sostenible”.

Hay tres tipos básicos de ventajas competitivas: Liderazgo por costo, por diferenciación y enfoque.

Liderazgo por costo

- Lograr Liderazgo por costo significa que una empresa se establece como el productor de más bajo costo en la industria.
- Si más de una compañía intenta alcanzar liderazgo por costo al mismo tiempo, este es generalmente desastroso por que se genera una guerra de costos.
- Se logra a través de economías a escala.

Diferenciación

- Lograr diferenciación significa que una firma intenta ser única en su industria en algunas dimensiones que son apreciadas extensamente por los compradores.
- Un diferenciador no puede ignorar su posición en costos. En el área de la diferenciación, los costos deben ser menores que la percepción de precio adicional que pagan los compradores por las características diferenciales.
- Las áreas de la diferenciación pueden ser producto, distribución, ventas, comercialización, servicio, imagen, etc.

Enfoque

- Lograr el enfoque significa que una firma fijó ser la mejor en un segmento o grupo de segmentos.
- 2 variantes: enfoque por costos y enfoque por diferenciación.

8.2 Modelo Delta

Arnoldo Hax presenta un modelo más bien centrado en el cliente y no en los competidores, como era el caso de “Michael Porter”, donde explica una pauta para el desarrollo de relaciones con el cliente y de cómo seleccionar el posicionamiento estratégico.

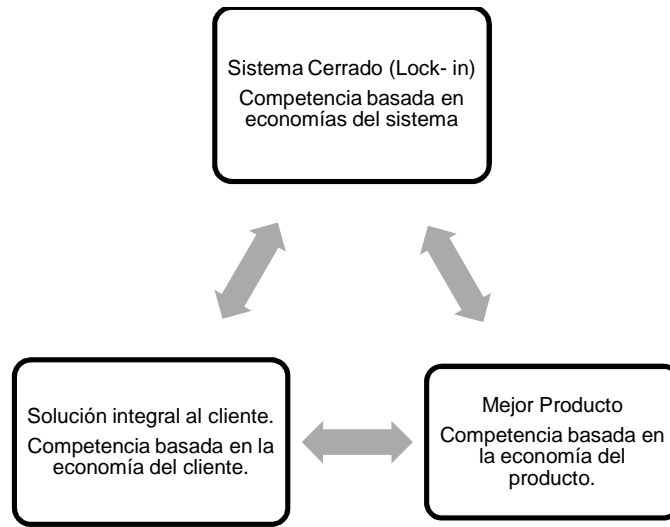


Ilustración 0-10: Estrategias de HAX (HAX, 2010)

En la estrategia de **mejor producto**, los clientes ven a la organización por su superioridad en oferta de precios o por aspectos relacionados con su funcionalidad, marca y apariencia de los productos, que genera una diferenciación con la competencia; con **solución total al cliente**, estos se sienten atraídos por que la organización puede proveerles una reducción en los costos del clientes o un aumento en sus utilidades; con **Lock-in Sistémico**, la organización ha generado un nivel de dominación suficientemente fuerte, por consiguiente, los clientes no tienen otra opción más que quedarse con dicha empresa, (Hax, 2010).

Dada la naturaleza del negocio en estudio, negocio del Cobre, donde el enfoque de la industria en general es la optimización del proceso, maximizar la utilización de la capacidad del activo, incrementar la capacidad disponible, mantener la calidad del producto y la disminución en costos de operación, la estrategia seleccionada desde la

perspectiva de Hax será la de mejor producto con bajos costos e incrementos en beneficios, donde la diferenciación se encuentra centrada en el proceso productivo confiable.

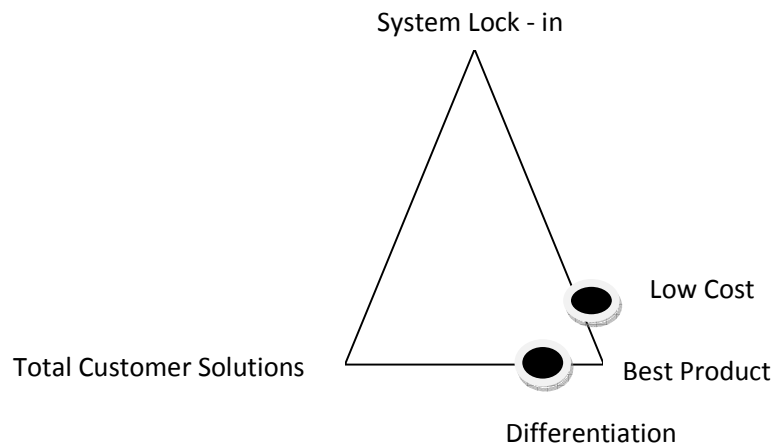


Ilustración 0-11: Estrategia de mejor producto y sus competencias necesarias (Hax, 2010)

8.3 Balanced Scorecard (BSC)

El desarrollo de un BSC ayuda a clarificar y a comunicar la estrategia, además, configura las medidas estratégicas aplicadas a la organización. Entre los elementos que debemos definir en el BSC tenemos:

1. Definir la visión y la misión.
2. Identificar opciones estratégicas.
3. Identificar las perspectivas: financiera, clientes, procesos internos, aprendizaje e innovación.
4. Establecer indicadores.
5. Finalmente, su evaluación y seguimiento constante.

8.3.1 Visión

Seremos la empresa líder de la industria en producción de cobre refinado de alta calidad.

8.3.2 Misión

Desarrollaremos y gestionaremos una cartera diversificada de negocios en el sector de minería y metales, con el solo objetivo de ofrecer a nuestros accionistas rendimientos superiores en la industria.

Podremos conseguirlo, únicamente, gracias a asociaciones auténticas con nuestros empleados, clientes, accionistas, comunidades locales y otros grupos interesados, basadas en la integridad, la cooperación, la transparencia y el aporte mutuo de valor.

8.3.3 Valores y principios

- Actuaremos con honestidad, seriedad, respeto, confianza, Ingenio, coraje y pasión.
- Trabajaremos de forma ética, responsable, transparente y colaboradora.

8.3.4 Objetivos estratégicos transversales a la industria minera.

- Ambiente de trabajo saludable y libre de lesiones.
- Reconocido liderazgo en la protección del medio ambiente.
- Prestigio en términos de responsabilidad social.

- Desarrollo de todo el potencial de los empleados.
- Maximización de la capacidad de los activos físicos.
- Competitividad en costos a través de los ciclos.
- Creación de valor a través del crecimiento dinámico y la mejora continua.
- Eficaz implementación de los principales sistemas y estrategias comunes.

8.4 Mapa Estratégico de alineamiento.

En apoyo al planteamiento estratégico se definen metas transversales para toda la industria minera, que impulsan la materialización de los objetivos estratégicos. Desde la perspectiva del proyecto, el mapa estratégico es modelado considerando a las unidades funcionales de Mantenimiento y de operaciones.

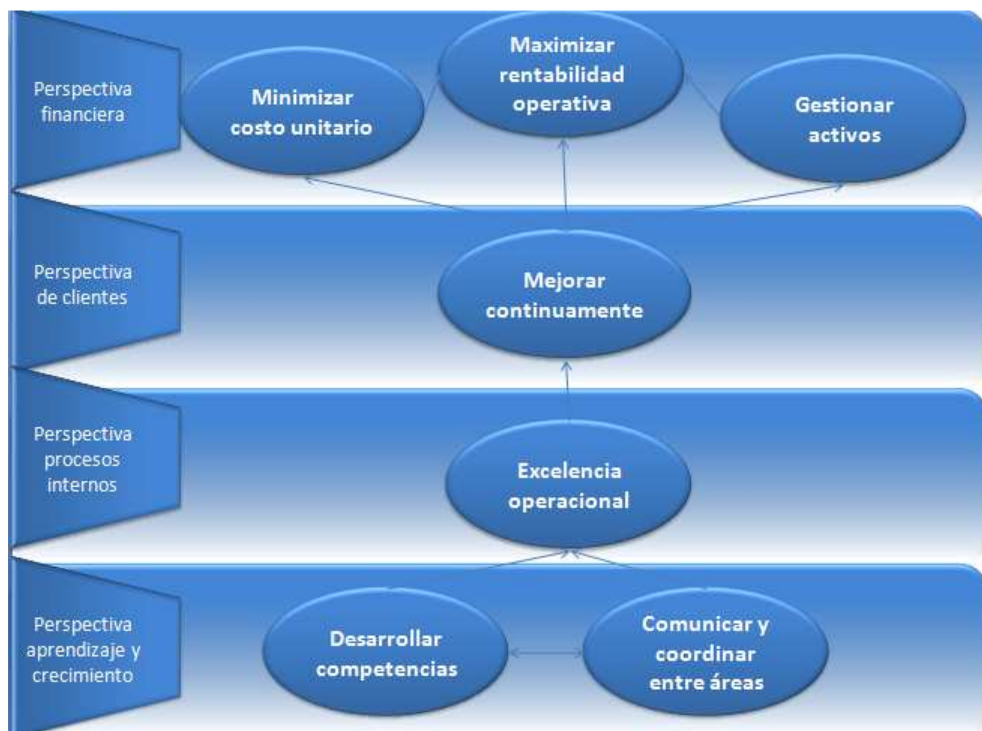


Ilustración 0-12: mapa estratégico, operaciones e ingeniería de mantenimiento

El mapa estratégico entrega una pauta para formalizar los resultados esperados con criterios de decisión coherentes y alineados a la estrategia.

La configuración de cada objetivo se compone de lo siguiente:

- Objetivo, deja explícita la función que se desea maximizar o minimizar.
- Indicador clave de desempeño, desde ahora KPI, define la medición para el logro de los objetivos.
- Meta, deja explícitas las restricciones para el logro de los objetivos.
- Responsables, asigna roles que serán líderes de cada uno de los procesos asociados a los objetivos.
- Iniciativas, permite difundir en forma de planes, estrategias y tácticas el logro de los objetivos planteados.

De esta manera tenemos la siguiente aproximación:

8.4.1 Desde la perspectiva financiera

Objetivo	KPI	Meta	Responsables	Iniciativas
Incrementar el Margen	Rentabilidad Operativa (EBITDA)	Incrementar en un X%	VPO, Gerencias.	Mejora Continua
Disminuir el costo unitario	Costo unitario	Reducción de un x% del costo actual	Gerencia operaciones / Mantenimiento / Finanzas	Mejora Continua
Gestionar activos	Minimizar el costo de ciclo de vida	Depende del activo.	Gerencia operaciones / Mantenimiento / Finanzas	Mejoramiento en proyectos de inversión

Tabla 4: Perspectiva financiera.

8.4.2 Desde la perspectiva de los clientes

Objetivo	KPI	Meta	Responsables	Iniciativas
Mejora Continua	Procesos Medidos, Salud, seguridad, comunidad y medio ambiente.	4 Procesos de mejora anuales por unidad productiva	Gerencias	Excelencia Operacional
Entrega cátodos de calidad y de forma eficiente.	Informar a cliente del estado de despacho, medir calidad producto.	Cátodos On 95%.	Gerencia Operaciones / Mantenimiento /Finanzas /TI	Mejora Continua,

Tabla 5; Perspectiva del cliente

8.4.3 Desde la perspectiva de los procesos internos

Maximizar Excelencia Operacional	OEE %	86%	Gerencia operaciones / Mantenimiento	Confiabilidad operacional
Incrementar Confiabilidad	Tiempo medio entre fallas	Depende del sistema en estudio	Gerencia Mantenimiento	Confiabilidad Operacional
Disminuir Mantenibilidad	Tiempo medio entre reparaciones	Depende de la complejidad.	Gerencia Mantenimiento	Confiabilidad Operacional
Maximizar Utilización	% Uso de Equipos	95%	Gerencia Procesos y Mina.	Confiabilidad operacional
Incrementar calidad	Rendimiento, % Utilización de capacidad del activo, % Calidad de Cátodos, Disponibilidad.	X Ton /Año de CU fino.	Gerencia operaciones	Confiabilidad operacional

Tabla 6: Perspectiva de los procesos internos.

8.4.4 Desde la perspectiva de aprendizaje y crecimiento

Coordinación entre áreas, clientes y proveedores.	Número de Procesos Automatizados.	2 procesos por año fiscal	Gerencia procesos, Gerencia Mantenimiento, Gerencia TI	Mejora continua – Sistemas de información de coordinación con proveedores, clientes y procesos internos
Desarrollo Competencias	Desarrollo, Publicación y difusión de Informes KPI.	4 Informes mensuales	RRHH	Mejora Continua

Tabla 7: Perspectiva de aprendizaje y crecimiento.

El mapa estratégico nos entrega una guía para enfocar los esfuerzos en objetivos cuantificables y alineados a la estrategia corporativa.

9. Modelo de negocios

La organización de los recursos para crear valor a los accionistas, para entregar valor a clientes y para captar valor de la industria, se configuran considerando los objetivos planteados en nuestro mapa estratégico, enfocado en la visión, misión, valores e imperativos estratégicos.

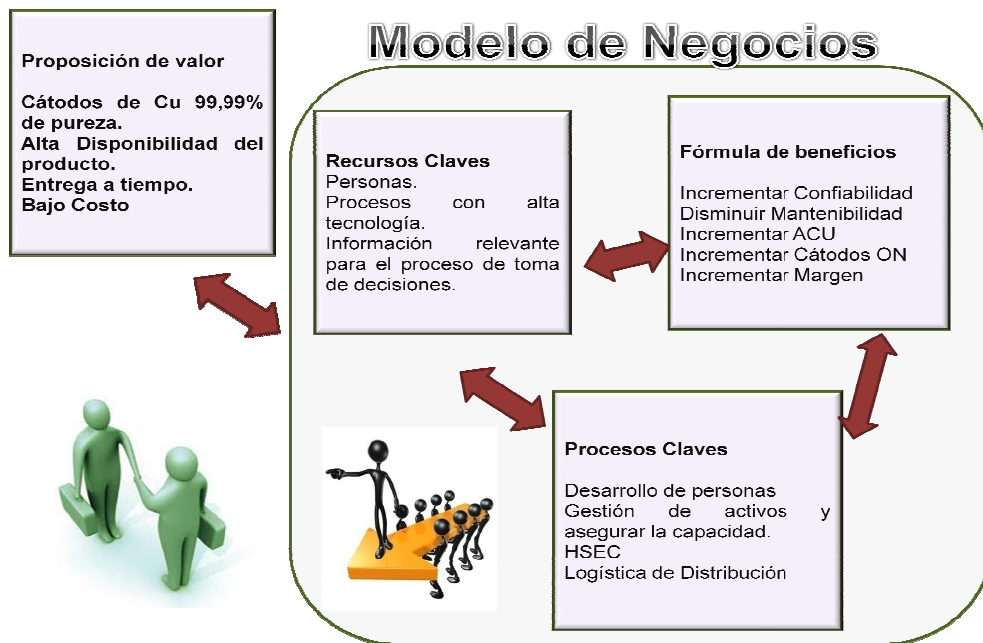


Ilustración 0-13 Reinventing your Business Model by Mark W. Johnson, Clayton M.

Christensen, and Henning Kagermann. Harvard Business Review, December 2008.

De esta manera, el modelo de negocios se construye en base a cuatro bloques: el primero, la proposición de valor que está orientada al cliente; el segundo, los procesos claves; el tercero, los recursos claves; el cuarto, fórmula de beneficios, estos tres últimos orientados a la organización.

A continuación describiremos a cada uno de ellos, para comprender el impacto que tiene su estructura en la materialización del posicionamiento estratégico.

9.1 Proposición de valor

Cátodos de alta pureza

Las compañías mineras que fabrican cobre, se caracterizan por mantener un proceso para elaboración de cátodos de alta pureza, 99,99%.

Asegurar la Capacidad

El proceso para la elaboración de cátodos de cobre se encuentra definido por la cadena de valor, que se compone de seis etapas: exploración, extracción, chancado, lixiviación, extracción por solventes y electro obtención. En conjunto configuran un proceso que tiene como objetivo maximizar la utilización de la capacidad, para esto, es necesario conseguir una alta confiabilidad en el diseño y en el tiempo, lo que se considera como una característica diferenciadora y cotizada por los clientes de la industria, ya que asegura la disponibilidad del producto.

Entrega a Tiempo

Un proceso confiable para la producción de cátodos de cobre, que permita a empresas de transporte satisfacer las necesidades del cliente final, por la entrega de cátodos de alta pureza en los tiempos planificados.

Bajo costo

La elaboración de cátodos de cobre a un bajo costo colabora con la maximización del margen operativo, como valor creado para los accionistas y como instrumento de maniobra para concretar negociaciones con clientes a precios convenientes.

9.2 Procesos Claves

Desarrollo de las personas

La elaboración de planes de capacitación para la difusión de conocimiento asociado a la confiabilidad, estrategia, modelo de negocio, cadena de valor y procesos

de negocio, con el objeto de captar oportunidades de mejora y fortalecer el capital humano.

Gestión de activos

Tiene relación con los fundamentos técnicos, legales, económicos y medio ambientales, para la adquisición, uso, mantenimiento y cierre de faenas.

HSEC (salud, seguridad, medio ambiente y comunidad)

Conjunto de normas aplicadas al negocio de la minería, que tienen como finalidad promover el análisis de la gestión del riesgo en cada uno de los procesos que componen a la cadena de valor.

Logística de Distribución

Procesos que llevan a cabo la transferencia de materias primas, productos terminados, insumos, repuestos, recursos humanos, equipamiento industrial, etc., para el funcionamiento de cada una de las unidades productivas.

Operación de la cadena de valor

Procesos que materializan la transformación de mineral, en un cátodo de cobre de alta pureza, 99,99%.

9.3 Recursos Claves

Personas

Alineadas a la visión, misión, imperativos estratégicos corporativos, y capacitadas en el proceso y la gestión de riesgos.

Procesos con alta tecnología

Tecnologías que soportan el funcionamiento de cada una de las unidades de negocio y que son estratégicas, ya que facilitan la eficiencia en el proceso productivo.

Equipamiento

Una línea de producción con una operación confiable es la apuesta de todas las compañías mineras. Los equipos industriales que componen esta línea de producción requieren tecnología adicional para evaluar su comportamiento periódicamente, en apoyo a las estrategias y tácticas que tienen como objetivo principal eliminar la incertidumbre.

Los cambios en la capacidad, dados por un incremento en la demanda requieren un aseguramiento de la confiabilidad del sistema, que involucra inversiones en el corto y largo plazo (CAPEX sostenible), con el objeto de mantener alineado el sistema a las nuevas necesidades de producción.

Información relevante para el proceso de toma de decisiones

La implementación de sistemas de información en tiempo real y distribuido, representan una fuente para la producción de información y conocimiento, necesarios para el descubrimiento de fallos y la mitigación del riesgo operacional.

9.4 Formulas Beneficios

Disponibilidad

Una planificación adecuada del mantenimiento de equipos industriales incrementa la confiabilidad y disminuye la mantenibilidad, ambas describen un

incremento en la disponibilidad de la planta para su uso efectivo por parte de operaciones.

Utilización de la capacidad el activo

Constituye un parámetro que mide el desempeño operativo del activo en referencia a la capacidad indicada en la placa de datos técnicos de dicho activo. La medición permite identificar las mayores pérdidas, según la diferencia registrada entre la producción real y teórica.

Incrementar la Calidad

Obtener mayor rendimiento de cátodos de alta pureza en el proceso, “cátodos On”.

Costos de operación

La expansión de la producción y el crecimiento de la mina a cielo abierto, consideran una reestructuración en los presupuestos y en la planificación de operaciones y mantenimiento, considerando la mitigación del riesgo en todo ámbito, que impacta directamente en el comportamiento de los costos.

Rentabilidad operativa

El incremento del margen como rentabilidad financiera se determina principalmente por los ingresos por venta y por la reducción continua en los costos de operaciones y mantenimiento.

10. Arquitectura de Procesos

La arquitectura se basa en los Macroprocesos propuestos por el Doctor Oscar Barros, (Barros, Ingeniería de Negocios, 2009). Dichos Macroprocesos obedecen a patrones observados en una muestra significativa de empresas que poseen las mejores prácticas del mercado, estos Macroprocesos han demostrado ser extensibles a otras empresas u organizaciones.

El uso adecuado de estos patrones de procesos de negocio ha permitido generar una base para el diseño de negocios eficientes desde la perspectiva estratégica, táctica y operativa.

Para la adopción de una arquitectura basada en patrones de procesos de negocios, es necesario definir los Macroprocesos para una compañía minera y sus relaciones con el clúster, proveedores, clientes, entidades reguladoras, etc.

A continuación exploraremos nuestro diseño de Macroprocesos para describir la ontología de una compañía minera con varias faenas.

10.1 Macro procesos Relevantes

1. Planificación estratégica.
2. Nuevas inversiones y procesos.
3. Extracción de mineral, producción de cátodos y mantenimiento.
4. Recursos Habilitadores.

Es preciso explicitar “extracción de mineral, producción de cátodos” y “mantenimiento” de cada una de las faenas que configuran el clúster, el motivo, es necesario considerar el sistema global para identificar posibles mejoras.

La factorización del clúster minero forma parte de la arquitectura empresarial en estudio.

El Macroproceso **Planificación estratégica** determina el comportamiento de todos los macro procesos, aquí se definen la misión, la visión, imperativos estratégicos, el Balanced Scorecard, el STRATEX, etc.; el Macroproceso **Nuevas inversiones y procesos** es determinante para la gestión de las nuevas capacidades o innovaciones aplicadas a la planta en estudio, el objetivo es asegurar la capacidad requerida y disponible; el macro proceso **Extracción de mineral y producción de cátodos** corresponde a la cadena de valor de la compañía minera, donde se identifican los procesos mina, planta área seca y planta área húmeda que, en conjunto hacen posible la producción de cátodos de cobre de alta pureza; el macro proceso **recursos habilitadores** genera las estrategias y las tácticas de mantenimiento, recursos humanos, finanzas, abastecimiento, información y conocimiento etc., que entregan herramientas y recursos a todos los Macroprocesos.

Por otro lado, se ha instanciado el área de **Mantenimiento** desde recursos habilitadores, para explicitar su relación con la cadena de valor en la arquitectura empresarial.

Para mejorar la capacidad disponible es necesario implementar tecnología adicional para facilitar el análisis de información en tiempo real y distribuido, como apoyo a la gestión de los equipos industriales que conforman la línea de producción.

La disponibilidad de recursos para el proceso productivo como el agua, ácido sulfúrico, explosivos, horas hombre, etc., es importante para la elaboración de un plan de producción que cubre los requerimientos que provienen desde marketing y ventas.

El proceso de **Transporte externo** de cátodos de cobre en stock, permite hacer efectivo el cumplimiento de los tiempos requeridos por parte de los clientes, la entrega planificada de concentrado y la recepción de ácido sulfúrico desde y hacia otras compañías proveedoras. También, se muestran las principales relaciones entre los

macro procesos, donde desde extracción y producción de cobre se generan las necesidades de insumos, activos y servicios.

En este proyecto, desde producción y mantenimiento se generan los requerimientos para la innovación, con la adquisición de nuevos activos, tecnologías y desarrollo de nuevos procesos que mejoren la confiabilidad del sistema. Además, cuenta con estrategias y tácticas que fundamentan los procesos existentes y que coordinan las actividades que comprometen la eficacia del proceso productivo.

La solicitud de recursos desde producción y mantenimiento serán procesadas en **Recursos Habilitadores**, donde es posible encontrar recursos humanos, abastecimiento de repuestos e insumos, recursos financieros, de tecnologías de Información, HSEC, etc., que en conjunto entregan un marco de trabajo integral para la coordinación de cada una de las actividades que conforman el proceso productivo.

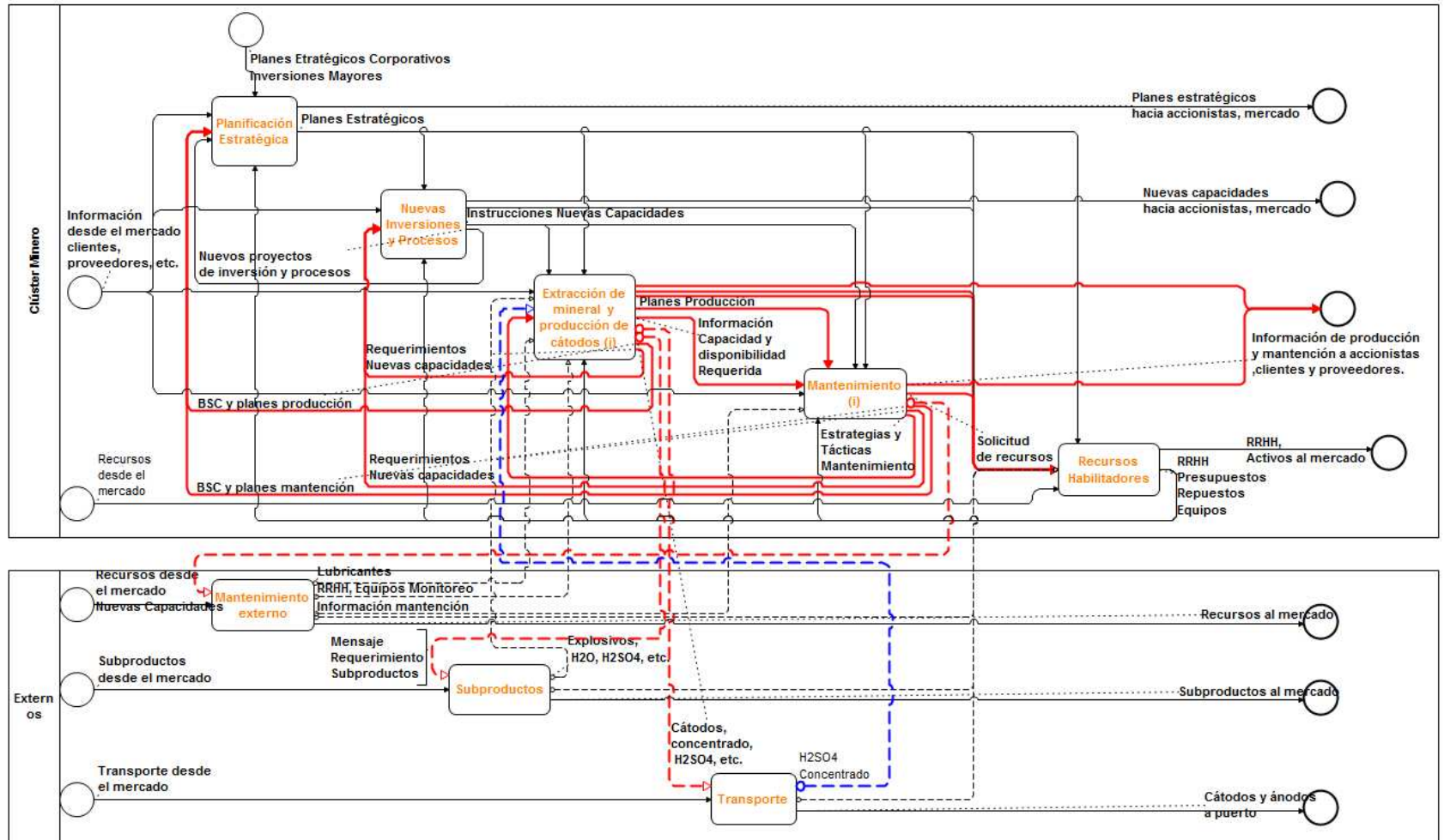


Ilustración 0-14: Arquitectura empresarial, clúster minero.

10.2 Factorización de la cadena de valor en tres grandes casos de estudio

“La cadena de valor factorizada en tres grandes casos de estudio, tres faenas mineras, tiene como objetivo principal la obtención de un modelo operacional de excelencia con una alta coordinación, estandarización e integración de procesos.”

Los clientes de cada faena son comunes, por otro lado, los proveedores de insumos, repuestos, activos fijos y de servicios tienen un nivel de especialización que puede ser compartido y apoyado con la creación de alianzas estratégicas de largo aliento.

Los costos de transacción tienden a disminuir, dado que un alto apoyo TI favorece la gestión con clientes y proveedores, incluyendo a clientes internos. Los costos de coordinación disminuyen debido a que cada faena y proceso informa los resultados obtenidos a cada unidad de negocio involucrada.

Los procesos productivos son integrados con sistemas corporativos transaccionales. Las unidades de negocio que conforman el Clúster Minero presentan características similares, aún con procesos que presentan una función de estructura diferente.

Las bases de datos que describen la operación son controladas por cada una de las faenas, y periódicamente son consolidadas para efectos de controlar los resultados obtenidos.

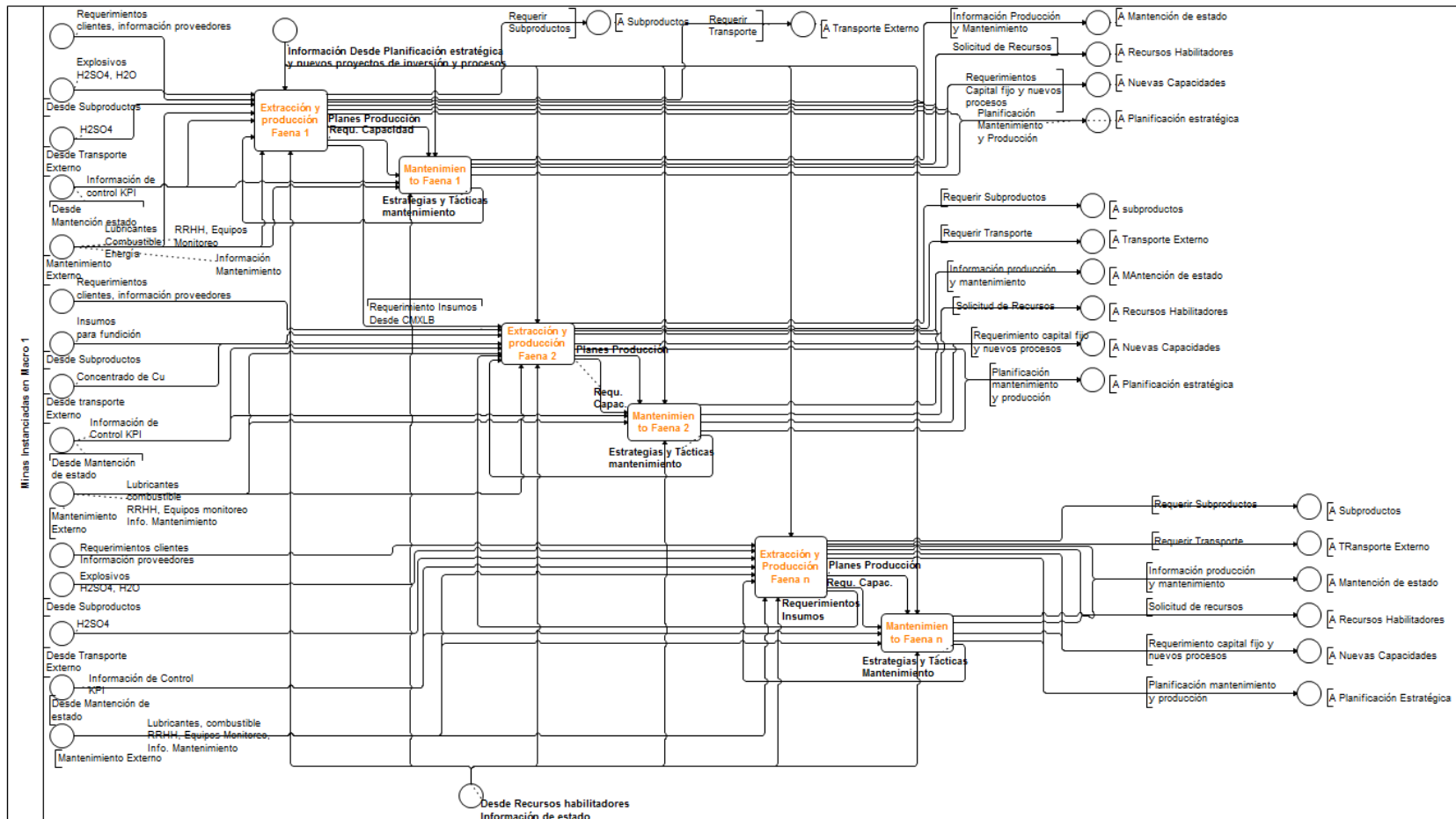


Ilustración 0-15: cadena de valor factorizada en tres grandes casos de estudio.

11. Objetivos del proyecto para el rediseño de procesos

11.1 Objetivo Principal

Una gerencia de Mantenimiento genérica tiene como objetivo principal asegurar la capacidad disponible. Considerando esta premisa, el proyecto se enfoca en el diseño de un proceso de mantenimiento confiable, que genera información de apoyo al proceso de toma de decisiones, usando lógica de negocios trivial, compleja y un alto apoyo TI, con el fin de llevar a cabo la gestión eficiente de activos, exceptuando la gestión de inventarios. La solución considera el análisis de la planta área seca, para una compañía minera a cielo abierto, durante el período que comprende el año 2010 y el primer trimestre del año 2011.

11.2 Objetivos específicos

- a. Diseñar un proceso integral de mantenimiento para la gestión de activos.
- b. Elaborar un perfil de catálogo que describe de forma lógica la ubicación física de activos, basado en el diseño de la función de estructura.
- c. Generar una aplicación web para la gestión de detenciones y perfil de catálogo.
- d. Generar información de los resultados obtenidos en la aplicación de tácticas, con la utilización de analítica e indicadores claves de desempeño definidos en el BSC, para ser considerados como información de entrada en el proceso de mejora continua durante el año 2010.
- e. Determinar la probabilidad de supervivencia de activos, como información de entrada a la planificación de tácticas asociadas a mantenimiento

predictivo y como información de entrada para decidir la transferencia de recursos, (Segundo trimestre, 2011)

f. Determinar un modelo para elaborar políticas de reemplazo y de mantenimiento de activos, (Tercer trimestre, 2011).

Cada uno de los objetivos mencionados son determinantes para la elaboración de un framework semiflexible de apoyo a la toma de decisiones, para la gerencia de mantenimiento.



Ilustración 0-16: Descripción objetivos del proyecto

11.3 Descripción

El diseño original del sistema considera una capacidad nominal, determinada por las especificaciones técnicas del fabricante, compuesta principalmente por una flota de equipos móviles y fijos, trabajando en condiciones ideales. Esta configuración inicial determina la función estructura del sistema y su confiabilidad basada en el diseño.

Por otro lado y considerando la capacidad nominal del sistema, es necesaria una planificación para la extracción y procesamiento de minerales, que configuran una capacidad requerida para cumplir con la demanda planificada por marketing y ventas.

Bajo este marco, “capacidad requerida”, la operación de la planta trae como consecuencia un impacto en la confiabilidad del sistema basada en el tiempo, con lo que se obtiene una capacidad real. Para mantener bajo control esta variable, se configura la gerencia de mantenimiento, que desarrolla estrategias y tácticas, cruciales para la gestión de activos.

Los resultados obtenidos a nivel de mantenimiento y operaciones son determinantes para la evaluación de la función de estructura y su mejora continua, considerando los objetivos estratégicos corporativos.

12. Rediseño de Procesos.

12.1 Macro 1, Cadena de Valor.

Identificamos cuatro grandes procesos que gestionan la capacidad requerida: relación clientes directos, capaz de determinar los aspectos básicos para su administración; relación con proveedores, que representa una parte importante de las entradas, salidas y procesamiento de recursos; planificación de la producción, que determina la capacidad requerida; extracción y procesamiento de minerales, que describe el proceso para la producción de cátodos de cobre de alta pureza.

A continuación describiremos en mayor detalle a cada uno de los procesos mencionados.

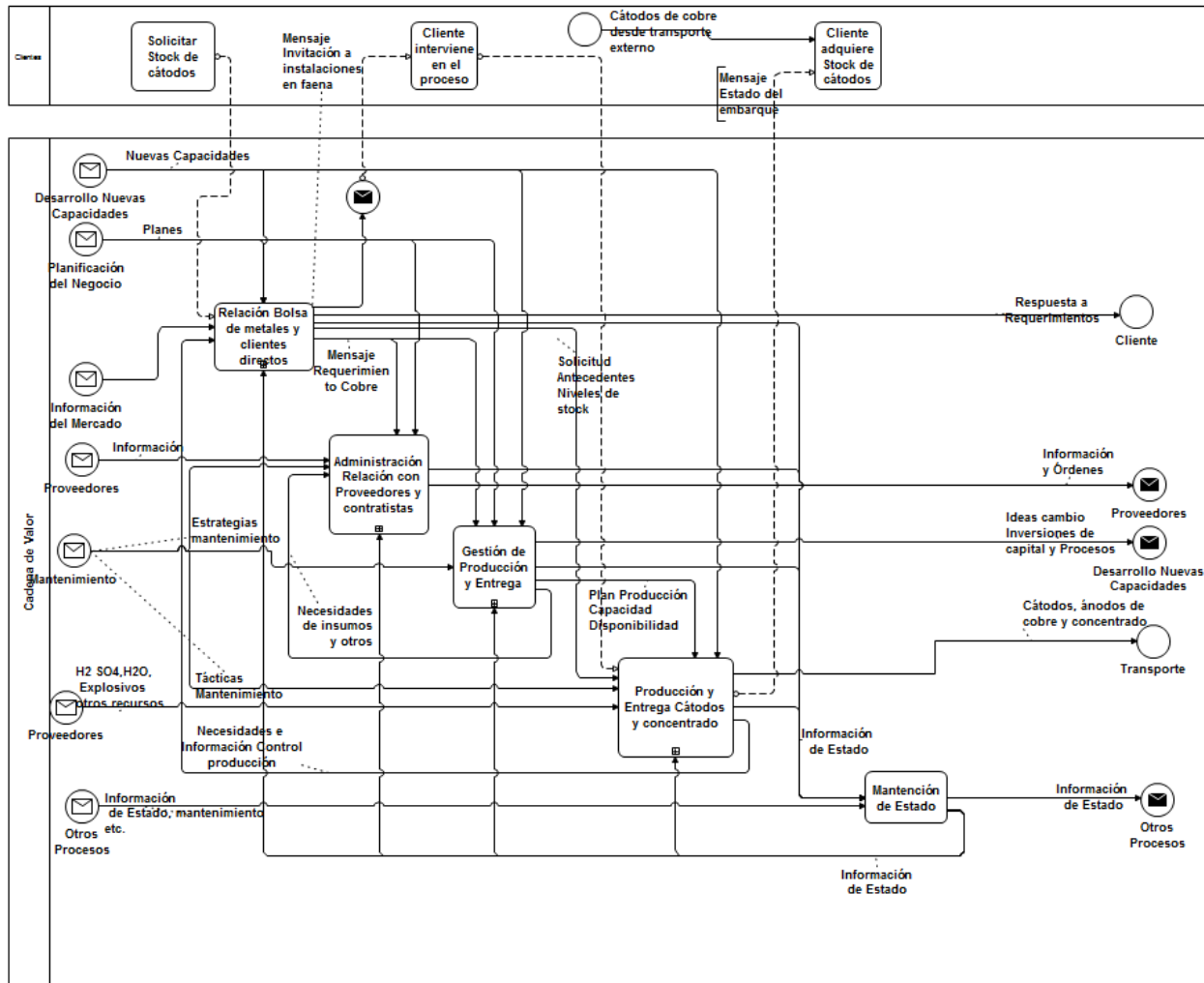


Ilustración 0-17: cadena de valor

12.1.1 Relación con clientes directos.

Comprende las actividades de atención a los requerimientos del cliente, quedando delimitado por la capacidad de la planta. El proceso, generalmente, comienza en la bolsa de metales de Londres, donde se efectúa la subasta de una parte de la producción al precio de mercado spot. Marketing y ventas, en perfecta coordinación con la gerencia de operaciones, establecen un marco de negociación que describe una ronda de visitas a faena por parte de los clientes, donde el objetivo es verificar las instalaciones y comprobar la real capacidad de producción. Una vez terminada esta ronda de visitas, se da comienzo a la producción, que tiene como objetivo el cumplimiento de las responsabilidades adquiridas, para satisfacer las necesidades del cliente en términos de tiempo y calidad del producto.

12.1.2 Administración relación con proveedores.

Identificar proveedores, preparar bases técnicas y administrativas de apoyo al proceso de licitación, revisar propuestas para la clasificación del servicio o producto ofrecido, monitorear los trabajos de acuerdo a los objetivos de producción y HSEC, gestionar pagos y evaluar la continuidad del contrato. Todas las actividades anteriores son catalizadoras para la creación de relaciones de largo aliento con el mercado proveedor.

La solución que se plantea, para una gerencia de mantenimiento, es capaz de entregar información que puede ser contrastada con los resultados obtenidos por contratistas que ejecutan actividades en faena. Así, se puede cuantificar el aporte en pérdidas de producción.

12.1.3 Gestión producción y entrega

Determina la capacidad requerida para el cumplimiento de los compromisos adquiridos con clientes. Para culminar esta labor de forma satisfactoria, el área de operaciones debe considerar la capacidad disponible, la ley de cobre, los costos de extracción, costos de procesamiento y otras variables relevantes, para la creación de un modelo que maximice los ingresos a costos competitivos en el mercado.

12.1.4 Producción y entrega de cátodos

Para un análisis efectivo de la producción y entrega de cátodos de cobre, necesariamente, se debe llevar a cabo una segmentación lógica de la planta física en casos de estudio, inicialmente, como centros de responsabilidad (Mina, planta área seca, planta área húmeda, etc.).

La segmentación debe llegar a nivel de equipos industriales, donde se ejecutan las acciones de operación y mantenimiento.

Esta labor facilita el levantamiento del sistema de información, ya que el perfil de catálogo describe la posición lógica de un activo, como información de entrada para el posterior análisis de confiabilidad.

Por otro lado, los activos presentan tecnologías de información que describen su comportamiento, aportando datos útiles para el análisis del ciclo de vida. Es por esta razón que, este proceso debe quedar explícito para el posterior análisis de macro 4 y para la recopilación de los datos que definen la capacidad requerida.

12.1.5 Mantenimiento de estado

Este proceso almacena todos los datos generados por cada uno de los eventos que ocurren en faena.

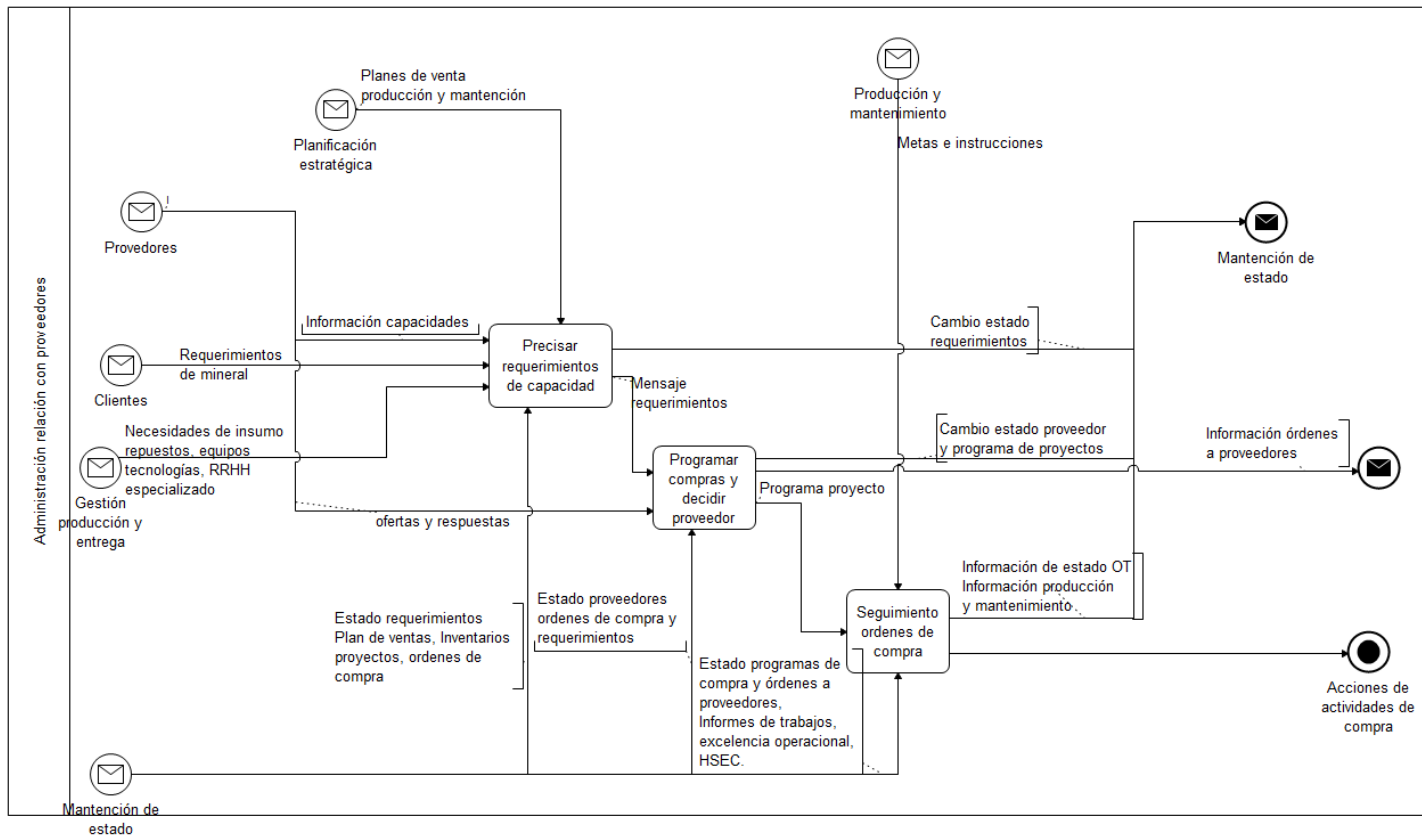


Ilustración 0-18: administración relación con proveedores

12.1.6 Administración Relación con proveedores

Es un proceso que tiene como objetivo administrar los contratos en operaciones y mantenimiento.

El proceso, administración relación con proveedores, identifica tres subprocesos que permiten gestionar y ejecutar tareas en las dependencias de una mina a cielo abierto:

1. Precisar requerimientos de capacidad, tiene relación con la demanda de mineral para un período específico, ya que operaciones y mantenimiento establecen un marco de trabajo en base al rendimiento, utilización y disponibilidad necesaria para que el sistema funcione. De esta manera, se planifican insumos, personal, herramientas y repuestos necesarios para cubrir esa capacidad requerida.
2. Una vez que se ha identificado el insumo, equipo y recurso humano necesario para cubrir la capacidad requerida, se programan o planifican las compras, se elaboran las bases técnicas y administrativas para efectuar el proceso de licitación. En consecuencia, los proveedores que postulan son seleccionados, generando una orden de compra que da inicio a los trabajos en faena.
3. Terminadas las labores en faena, los proveedores se someten a un proceso de medición de resultados, para verificar que los trabajos realizados cumplen con los estándares y con los objetivos corporativos de disponibilidad, utilización, calidad, etc.

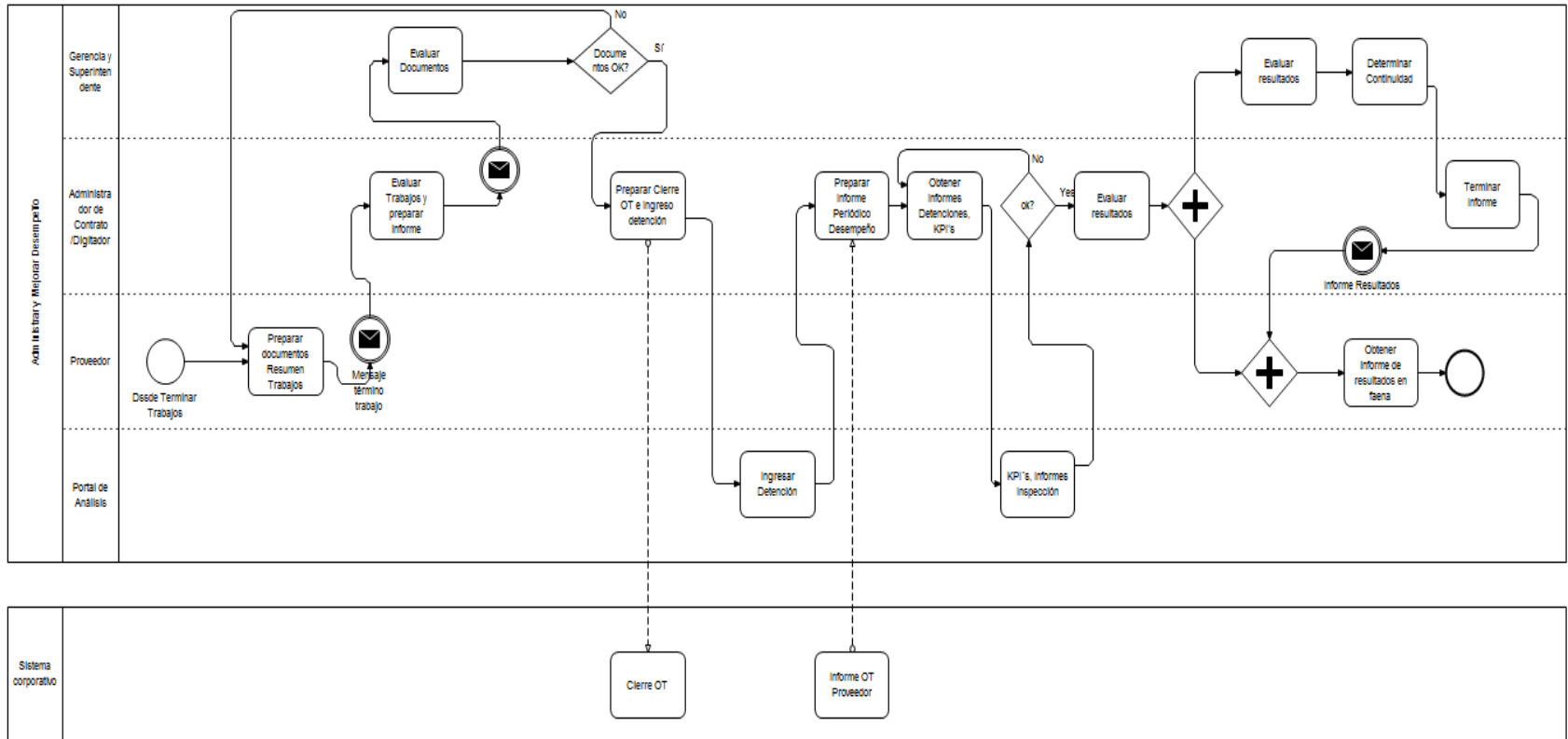


Ilustración 0-19: Administrar y mejorar desempeño.

El proceso para el seguimiento de órdenes de trabajo tiene como objetivo principal administrar y mejorar el desempeño de las empresas contratistas que prestan servicios a la operación y mantenimiento de una mina a cielo abierto.

El proveedor determina los tiempos, personal, costos, repuestos, modos de fallos resueltos, etc., el administrador de contrato verifica que la oferta se encuentre dentro de los márgenes permitidos, sumado a esto, aprueba y evalúa los resultados.

Si la documentación es apropiada y coherente desde todo punto de vista: técnico, económico, HSEC, etc., el administrador de contrato prepara el cierre de la orden de trabajo y los datos para ingresar la detención. Paso siguiente, el administrador de contrato comienza el preparativo de informes para evaluar la evolución en costos del activo e indicadores asociados a la mantenibilidad, confiabilidad, disponibilidad y utilización de la planta, para verificar el impacto que ha provocado la detención en los objetivos de producción y mantenimiento. De esta manera, es factible generar contratos por objetivos, con un control continuo de la capacidad disponible.

El administrador de contrato evalúa los resultados obtenidos, envía el informe a líder del proceso, quien decide la continuidad del proveedor. Esta decisión es informada al administrador de contrato, quien entrega los resultados a la empresa contratista, responsable de resolver el problema.

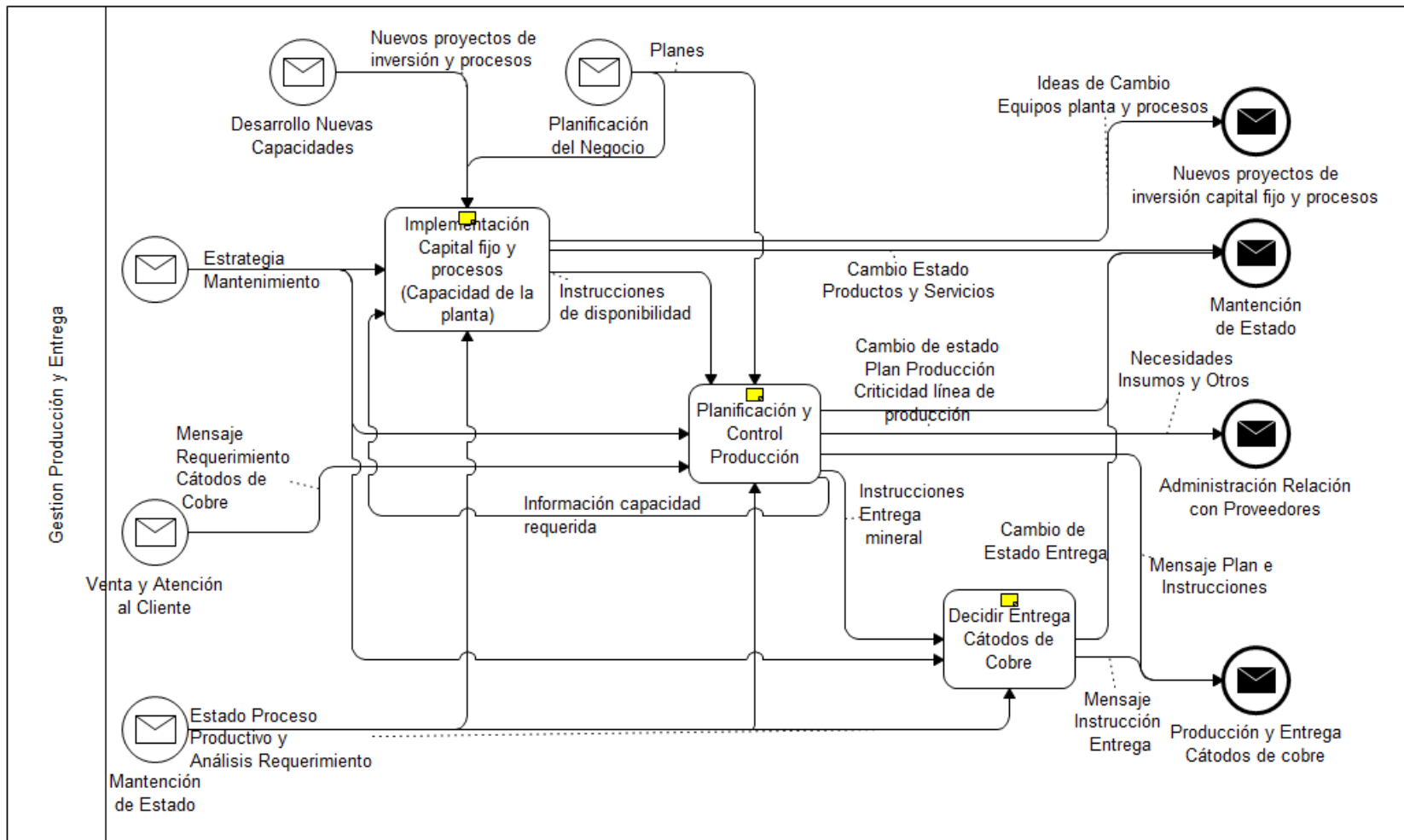


Ilustración 0-20: gestión de producción y entrega

12.1.7 Gestión de Producción y Entrega

En términos de gestión de operación, una compañía que posee una mina a cielo abierto tiene una compleja tarea. Particularmente, la fase de pre-factibilidad y factibilidad de este tipo de proyectos mineros involucra determinar el valor de la mina en el corto, mediano y largo plazo, para lo cual se debe realizar, entre otras cosas, una proyección de cómo se explotará el yacimiento minero.

12.1.7.1 Implementación de capital fijo y procesos (determinar la capacidad nominal y real de la planta).

Una vez que se ha determinado el plan de producción, es necesario elaborar el diseño de la función de estructura del sistema, que determina la capacidad disponible para la extracción y procesamiento.

En el proceso “Implementación de capital fijo y procesos” tenemos un problema de diseño, el cual consiste en estructurar el sistema, planta, de tal manera que el mismo tenga ciertas características de deterioro y falla, dadas por objetivos de diseño. Por ejemplo, que el sistema tenga una muy baja probabilidad de falla dado que esta implica consecuencias catastróficas, como sería el caso de falla de un motor de avión. En otros casos, las características de falla son más bien una consecuencia de restricciones de costo, en cuyo caso nos interesa tener las mejores propiedades a un costo dado. Las variables que uno puede manipular para obtener ciertas características de falla o de no falla, vale decir, de confiabilidad, son en general tecnológicas y estructurales.

Otros problemas asociados a la gestión de activos se relaciona con el reemplazo y mantenimiento, pero estos puntos serán tratados en más detalle en el Macroproceso de mantenimiento.

12.1.7.2 Planificación y control de producción

El modelo más usual del que se sirven las planificaciones de producción en minería a cielo abierto es el **modelo en bloques**, que consiste en discretizar el yacimiento minero en paralelepípedos, o bloques, del mismo tamaño. A cada bloque se le asignan varios valores representando las propiedades del macizo rocoso que contiene, por ejemplo ubicación geográfica, estimaciones de la cantidad de mineral que contiene, o ley de cobre, densidad del contenido, etc. El modelo de bloques considera además que debe haber un secuenciamiento para la extracción de los bloques. Que establece que un bloque ubicado a cierta profundidad puede ser extraído, solamente después de haber extraído los bloques ubicados sobre él, las paredes de la mina deben respetar una máxima pendiente para evitar derrumbes. Estas restricciones sobre el secuenciamiento de extracción se incorporan al modelo de bloques mediante las restricciones de precedencia para los bloques. En el contexto de proyección de la operación minera, dos problemas que generalmente hacen uso del modelo en bloques son el **últimate pit problem**, cuya traducción literal es “problema del foso final”, y el **production scheduling problem**, o “problema de secuenciamiento de producción”. El primer problema se realiza para valorizar una mina, determinando que sectores del yacimiento pueden llegar a ser explotados durante el ciclo de vida de la mina. El segundo problema busca, dado un número preestablecido de períodos de tiempo, determinar qué sectores serán explotados durante qué período de tiempo. Estos dos problemas se desarrollan teniendo como objetivo maximizar el valor total de la operación minera. Y naturalmente, existen en la literatura y en la práctica una gran cantidad de variaciones, simplificaciones y complejizaciones de dichos modelos. Una característica de estos problemas es que los yacimientos mineros generalmente son de gran tamaño, por ejemplo una mina grande posee entre 3 y 10 millones de bloques. También, para que la explotación de esta sea rentable se debe considerar un ciclo de vida largo, usualmente más de 20 años.

La falta de confiabilidad de los parámetros con que se hacen las proyecciones de producción, también representan complicaciones. Una fuente de incertidumbre es la duración de la explotación, que por su gran extensión hace difícil pronosticar confiablemente parámetros altamente relevantes como capacidad futura de procesamiento en planta, costos de operación y precios de minerales. Otro parámetro que padece de imprecisión es la cantidad de mineral, ley de cobre, que cada bloque posee. Esto es fruto de que la exploración de yacimiento, que determina en particular la cantidad de mineral en él, se realiza usando sondajes, con los que determina las propiedades de algunos sectores de la mina, y para los sectores inexplorados sus propiedades se estiman con técnicas geo-estadísticas basadas en sondajes.

En resumen, los altos costos involucrados en la operación minera, los errores asociados a las mediciones y estimaciones, y el hecho de que la extracción del yacimiento se efectúa una sola vez, hacen que finalmente la planificación de la producción posea un riesgo asociado.

Es por esta razón que cobra importancia esta variable para este trabajo, Lagos, G. (2011), ya que la planificación de la capacidad disponible depende directamente de la planificación de la producción como variable de entrada.

12.1.7.3 Decidir entrega de Cobre

La decisión de entrega de cátodos de cobre se encuentra determinada por la correcta explotación de la mina a cielo abierto, la capacidad de la planta en funcionamiento, y la calidad del proceso con niveles de pérdida controlados.

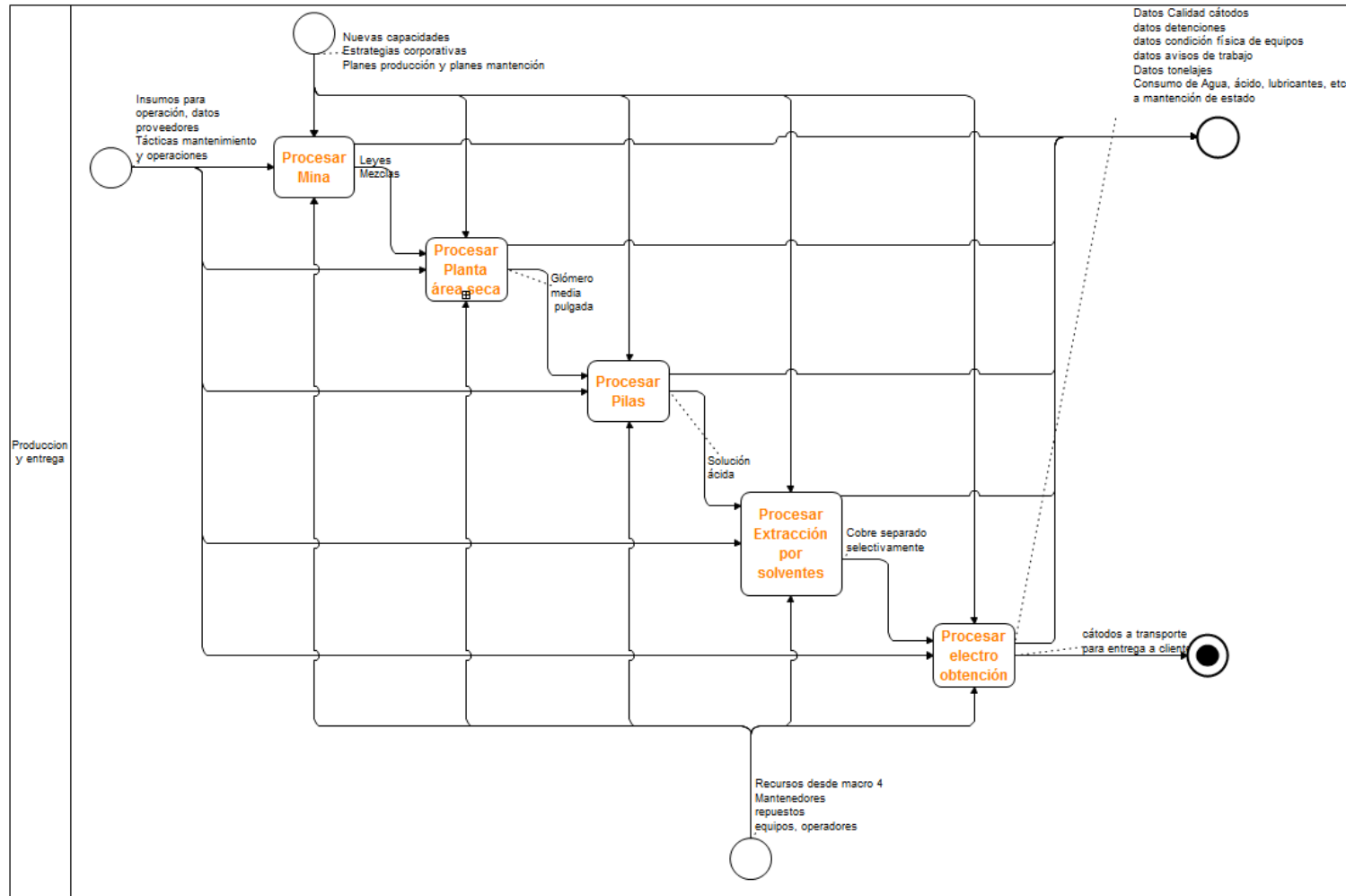


Ilustración 0-21: producción y entrega

12.1.8 Producción y Entrega

Para el estudio de la planta se han identificado las unidades productivas de Mina, planta área seca, pilas, extracción por solventes y electro obtención. Cada unidad productiva tiene asignada una función específica, y tienen como objetivo conjunto la producción de cátodos de cobre de alta pureza.

Para comenzar, se han identificado unidades productivas críticas (enfoque de este estudio), que en base a un criterio experto prioriza su análisis de confiabilidad, ya que una falla tiene un alto impacto en el negocio, en el medio ambiente y en la salud de las personas. Las unidades productivas son: área seca, que contiene a chancado primario, chancado secundario, chancado terciario y apilamiento, generalmente, estas se encuentran dispuestas en serie, con una capacidad de almacenamiento intermedia que varía de acuerdo a la planta en estudio, lo cual, implica que al momento de ocurrir una falla se genera un efecto multiplicador, que disminuye la capacidad disponible del sistema; en segundo lugar, procesar electro obtención, se encuentra limitado por la función crítica de puentes grúa, arañas porta cátodos y máquina despegadora de cátodos, activos que materializan el proceso de cosecha, para la obtención de un cátodo con un 99,99% de pureza.

Planta área seca y electro obtención, registran eventos que se clasifican como detenciones, avisos de trabajos asociados a códigos de falla, tonelaje procesado, información de sintomático, etc., además, en estas unidades productivas identificamos equipamiento industrial de control, que permite automatizar el proceso para el registro de tales eventos, exceptuando los avisos de trabajos asociados a códigos de falla.

La información recopilada en estas unidades productivas es muy importante, ya que nos permite identificar el perfil de catálogos y construir el árbol de mantenimiento. Además, es posible efectuar simulaciones para el descubrimiento de mejoras a nivel de función de estructura.

El modelo de procesos para estas unidades productivas ha sido censurado en este documento, ya que representa información clasificada y estratégica, para la compañía donde se ha elaborado el estudio.

12.2 Macro 4, recursos habilitadores (Gerencia de Mantenimiento).

Necesitamos recordar que la planificación de la producción, la decisión de entrega y la producción de cátodos de cobre, se configuran como información de entrada para este macro proceso, como capacidad requerida. Por otro lado, el área de mantenimiento debe ser capaz de asegurar la capacidad disponible para dar respuesta a esa demanda.

Para asegurar la capacidad disponible, el problema que enfrenta el área de mantenimiento se compone de dos partes: la primera, asociada a la decisión de reemplazo de un sistema por otro que cumpla la misma función. Este puede ser un sistema equivalente, pero nuevo, o uno tecnológicamente mejorado; la segunda, radica en un problema de mantenimiento asociado a la operación de la planta, ya que los equipos industriales se deterioran y, eventualmente, fallan. Con esto, es necesario establecer acciones correctivas y preventivas que permitan modificar su estado de deterioro o falla y en algunos casos, evitar que fallen.

Para esto, el área de mantenimiento configura estrategias y tácticas, ambas permiten asignar a cada estado de deterioro de la planta, una acción de mantención que tiene como objetivo minimizar los costos asociados. **(Oscar Barros, modelos de confiabilidad, reemplazo y mantención)**

Para dar respuesta a estrategias y tácticas asociadas a la gestión de activos, es necesario contar con personal altamente calificado, alineado a los

imperativos estratégicos, con una cultura de trabajo que tiende a la excelencia operacional.

A continuación, el esfuerzo se enfoca en descubrir los procesos para un mantenimiento efectivo de activos físicos, y en la creación de sistemas de cómputo capaces de entregar información para la gestión de la planta área seca y electro obtención.

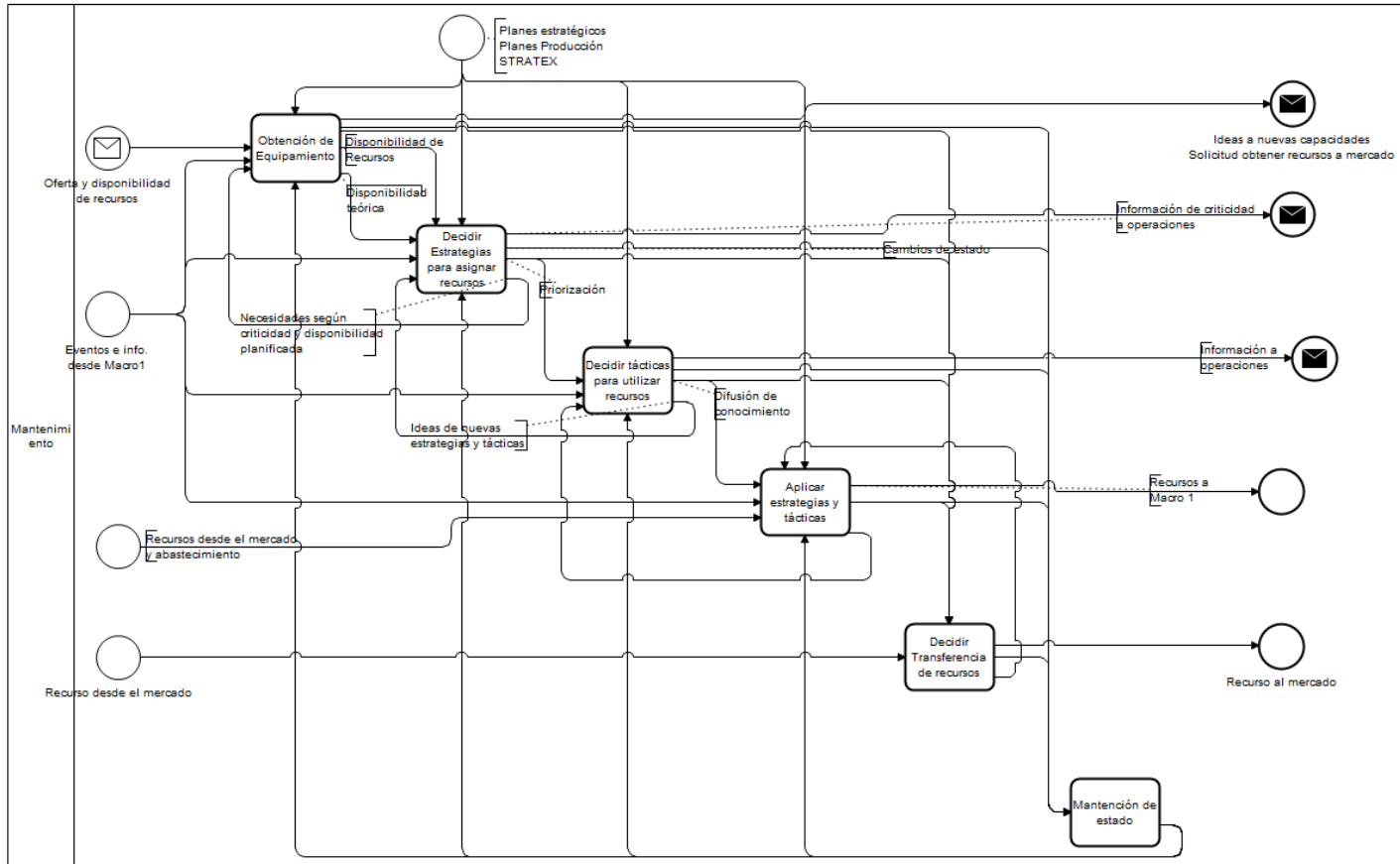


Ilustración 0-22: primer nivel mantenimiento

12.2.1 Mantenimiento

12.2.1.1 Obtención de Equipamiento

Proceso donde se determina el equipamiento industrial, repuestos, personal calificado, recursos financieros, insumos para mantenimiento, etc., necesarios para la continuidad de la operación del sistema, en condiciones óptimas.

Como información de entrada para este proceso es necesario contar con la planificación de producción, que especifica la capacidad requerida. Además, con el diseño de la planta, que conduce a obtener una confiabilidad de base para la planificación futura de la capacidad disponible.

Para la planificación de la compra de repuestos, personal calificado y servicios asociados, mantenimiento debe contar un perfil de catálogos actualizado, plan de mantenimiento programado, árbol de mantenimiento e información de stock de repuestos disponibles, que describen a cada uno de los componentes del sistema y su tecnología, de esta manera, el proceso de compras asegura la capacidad de base, minimizando errores.

12.2.1.2 Decidir Estrategias para asignar recursos

Este proceso se enfoca en asignar los recursos disponibles a requerimientos provenientes de otros Macroprocesos, tales como la transferencia de nuevos contratados a diferentes unidades de negocio, computadores a empleados que los requieran, presupuestos a unidades de negocio. También incluye la decisión de acciones sobre aquellos recursos que mejoren sus capacidades tales como capacitación de empleados, mantenimiento de equipos, inversión de dineros, etc.

Considerando esta definición, la naturaleza del proyecto y el enfoque orientado al mantenimiento de equipos, las estrategias consideran lo siguiente:

1. Definición de un perfil de catálogo y análisis de criticidad.
2. Análisis de pérdidas basado en los resultados obtenidos en las tácticas de mantenimiento.
3. Analizar desempeño productivo, considerando los resultados obtenidos durante el ciclo de vida del activo.
4. Análisis de causa raíz que permite segmentar y clasificar fallos, priorizar planes de mantenimiento basado en criterio experto, dado un problema que, posiblemente, provoca la salida o cierre del sistema.

12.2.1.3 Decidir tácticas Para utilizar los recursos

Proceso que aplica tácticas para el tratamiento de detenciones reactivas, predictivas y planificadas, con el fin de generar una mejora en los resultados del proceso y mantener el valor de los activos, con el objeto de impedir su transferencia por desgaste.

12.2.1.4 Aplicar estrategias, tácticas y transferencias de recursos

Elabora un diseño para la ejecución de tácticas de mantenimiento en perfecta coordinación con las estrategias, en este proceso se lleva a cabo la manipulación de personal, equipos, repuestos, capacitación, etc., considerando las mejores prácticas del mercado, minimizando el riesgo de accidentes y daño medio ambiental.

12.2.1.5 Decidir transferencia de recursos

Proceso que determina el estado de un activo y planifica su transferencia por fallo, desgaste o por tecnología obsoleta.

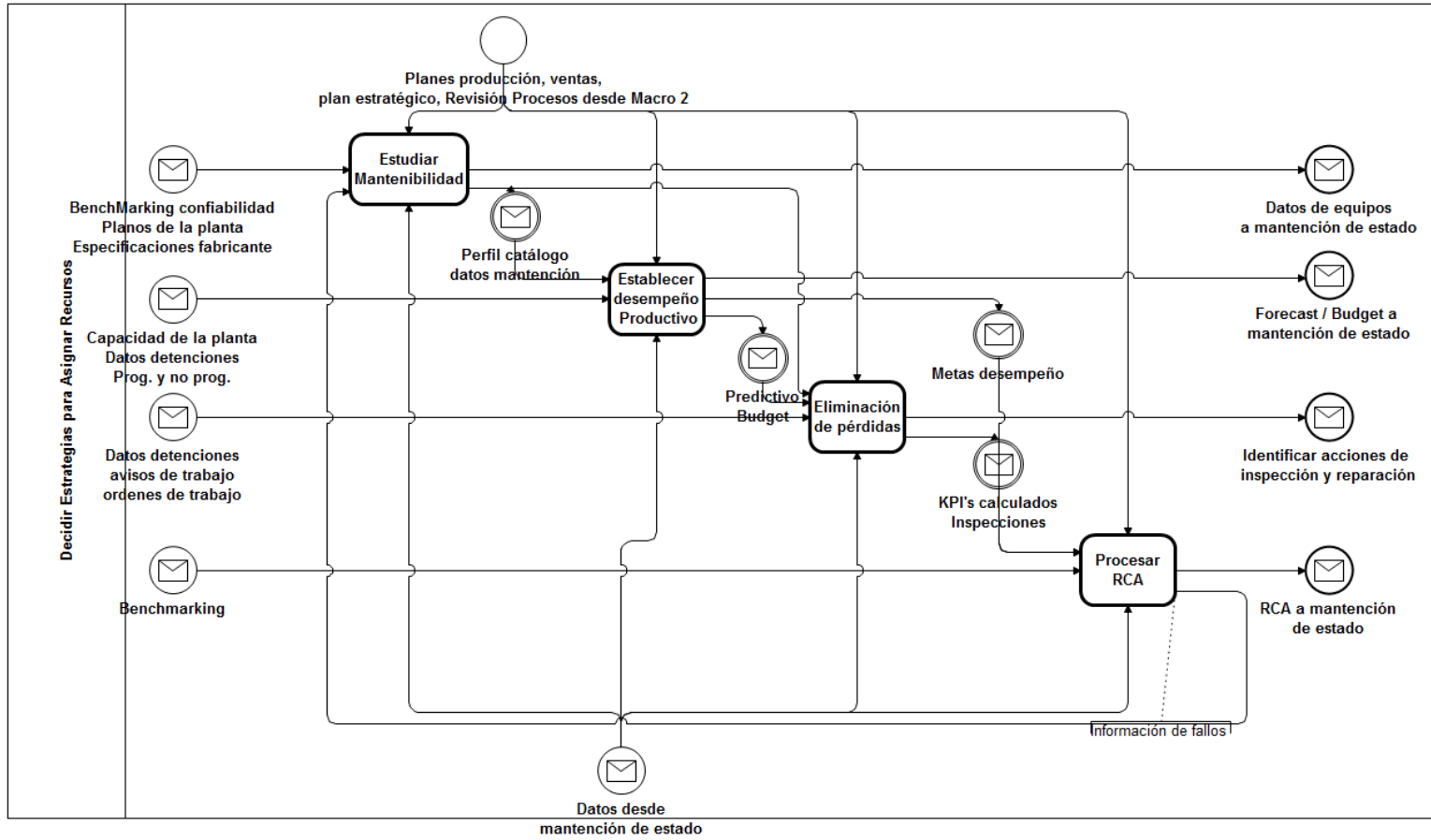


Ilustración 0-23: Decidir estrategias para asignar recursos.

12.2.2 Decidir estrategias para asignar recursos

12.2.2.1 Estudiar Mantenibilidad

Tiene una importancia significativa para la ejecución de este proyecto, dado que es la fuente de información para el registro periódico de detenciones.

El proceso requiere abordar cuatro aspectos:

1. Definir plantas, unidades productivas, equipos Industriales y componentes.
2. Asignar criticidad para equipamiento industrial, tomando en consideración la función de estructura del sistema.
3. Identificar modos de fallo que provocan detenciones y que registran pérdidas en todo sentido.
4. Construcción de un árbol de mantención asignado a cada modo de falla registrado para equipos industriales.

Cabe destacar que la criticidad de equipos está implícita en el proceso que se define a continuación, ilustración “estudiar mantenibilidad”, aunque previo a su definición existe un análisis que la determina, ver análisis de criticidad en lógica de negocios. Esto es importante, ya que para determinar los modos de fallos de cada uno de los equipos considerados críticos se requiere un gran esfuerzo, personas especialistas y tiempo, recursos escasos que pueden ser asignados a otras actividades que aportan mayor valor al negocio.

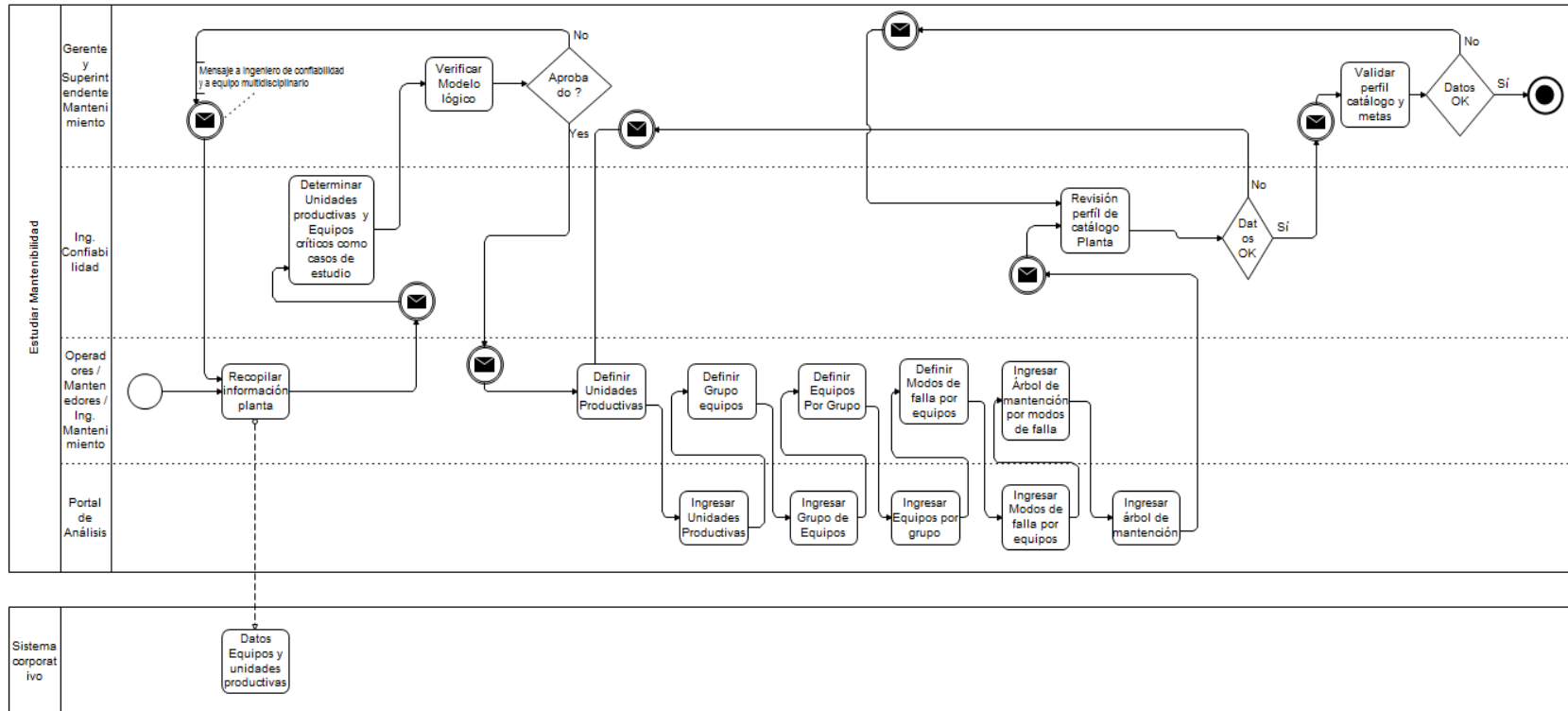


Ilustración 0-24: Estudiar Mantenibilidad, diagrama de pistas.

El análisis de Mantenibilidad de equipos existe para asegurar que todas aquellas actividades destinadas a preservar la función del equipo o proceso dentro de la planta sean sostenibles, realizables y seguras desde todo punto de vista.

El proceso comienza con el análisis de sistemas industriales instalados en faena. Las características, generalmente, provienen de especificaciones que entregan empresas proveedoras, y se deben registrar en una base de datos, usando un sistema transaccional.

Esta información es entregada al Ingeniero de confiabilidad, que en conjunto con un equipo multidisciplinario de Ingeniería de mantenimiento y de operaciones planta, elaboran un modelo lógico de la planta para el posterior análisis de confiabilidad del sistema.

El objetivo es describir la línea crítica de producción y generar unidades productivas como casos de estudio para el análisis de confiabilidad. El proceso debe ser aprobado por las gerencias y Superintendencias involucradas; mantenedores y operadores son instruidos por el ingeniero de confiabilidad para ingresar los datos que corresponden a las unidades productivas, equipos, grupos de equipos, modos de falla y árbol de fallo asociado a un grupo de equipos, datos que son almacenados en un nuevo sistema de información, construido durante el estudio.

Una vez que se ha descrito de forma lógica la posición que ocupa cada uno de los equipos industriales que conforman el sistema en estudio, el área de mantenimiento debe dar respuesta a cada uno de los modos de fallo descubiertos, aquí nacen los árboles de mantenimiento que entregan una lógica de acciones que dan solución a un fallo.

12.2.2.2 Establecer Desempeño productivo y decidir mejora

Este Proceso busca identificar valores cuantificables capaces de indicar el desempeño de procesos y equipos en su conjunto, con el fin de orientarlos hacia un valor meta para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

Dichos valores cuantificables son indicadores de resultados, capaces de definir el comportamiento esperado de una línea de proceso o de un grupo de equipos o una planta.

Esta información se puede proveer utilizando métodos de regresión, aplicadas a un histórico de detenciones, para un período de tiempo seleccionado de forma arbitraria.

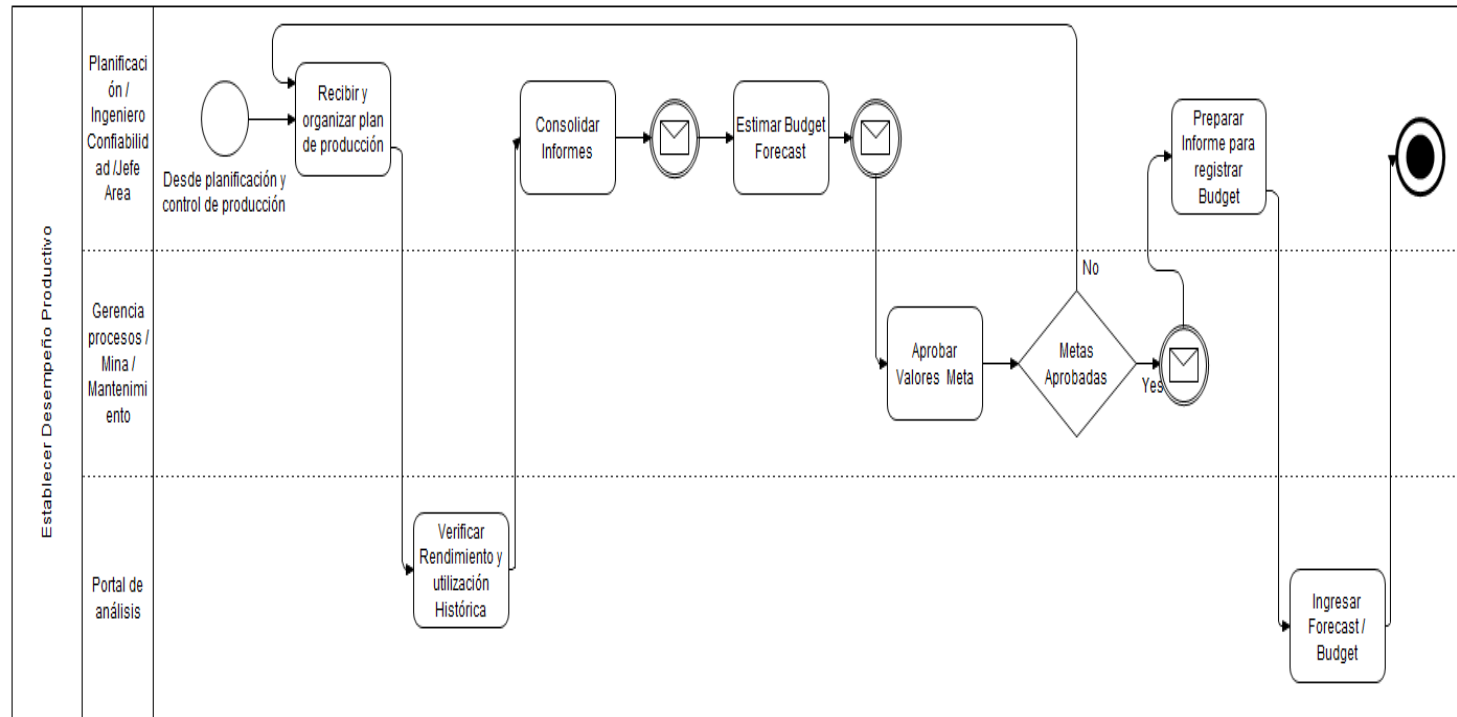


Ilustración 0-25: Establecer desempeño productivo, diagrama de pistas.

12.2.2.3 Eliminación de pérdidas

Este proceso analiza y determina la mejor manera de abordar aquellas fallas que pasarán a ser casos de estudio, el objetivo que persigue este proceso es eliminar la ocurrencia de fallos, no su conocimiento, dado que la cultura de operaciones y mantenimiento se construye en base a esta información.

En esta etapa, para realizar el análisis de fallas es necesario contar con una mayor cantidad de información de entrada:

- Parámetros operacionales.
- Detección física de problemas.
- Problemas de producción y mantenimiento de equipos.
- Tendencias de parámetros en procesos de planta.
- Oportunidades detectadas en la revisión de estrategias, etc.

Para materializar esto, se necesitan herramientas que describen el ciclo de vida del sistema, de esta manera, el proceso de análisis y priorización de oportunidades se simplifican, dado que tenemos una estimación del comportamiento futuro.

El diagrama que a continuación detallamos describe las pérdidas más comunes en procesos mineros que deberían ser detectadas, medidas, analizadas y controladas, una vez ocurridas, estableciendo un proceso de priorización de oportunidades que permita mitigar el riesgo operacional.

Pérdida	Definición	Unidades	Ejemplo
Pérdida por Shutdown	Tiempo perdido cuando la producción se detiene por Shutdown de mantenimiento planificado o por servicio periódico	Días	Trabajo de shutdown, servicio periódico, inspecciones, trabajos de reparación general, etc.
Pérdida por ajuste de producción	Tiempo perdido cuando los cambios en la oferta y demanda requieren ajustes en los planes de producción.	Días	Shutdown de ajuste-producción, shutdown de reducción de inventario.
Pérdida por falla de equipo	Tiempo perdido cuando el equipo pierde repentinamente su función especificada: por ej.: falla no planificada	Horas	Bombas con fallas, motores quemados, rodamientos dañados, ejes rotos, etc.
Pérdidas por fallas del proceso	Debido a factores externos, como cambios en las propiedades químicas o físicas de los materiales que están siendo procesados, errores de operación, materias primas defectuosas, etc.	Horas	Derramamientos, bloqueos, desparros de polvo, mala operación.
Pérdida normal de producción	Pérdidas de volumen y tiempo en puesta en marcha de la planta, shutdown o cambios de circuitos.	Dism. Volumen, Horas	Reducción en el volumen de producción durante el período de calentamiento después de la puesta en marcha, período de enfriamiento antes del shutdown y cambios en el producto.
Pérdida anormal de producción	Pérdidas de volumen que ocurren cuando la planta rinde menos por malfuncionamiento y anomalías	Dism. Volumen	Operaciones de baja carga, operación de baja velocidad, y operación a menor volumen de producción standard.
Pérdida por defecto de calidad	Pérdidas debido a la producción de productos rechazados, pérdida física de productos rechazados, pérdida financiera debido a producción de inferior calidad.	Horas, toneladas, dólares.	Pérdidas físicas y de tiempo debido a la fabricación de productos que no cumplen los standards de calidad.
Pérdida por reproceso	Pérdida por reciclaje debido a la re-incorporación de materiales al proceso	Horas toneladas	Reciclaje de los productos no- aceptables desde el proceso final hasta el proceso inicial.

Tabla 8: Las ocho pérdidas principales (definida por JIMP - Instituto de Mantenimiento de Planta del Japón).

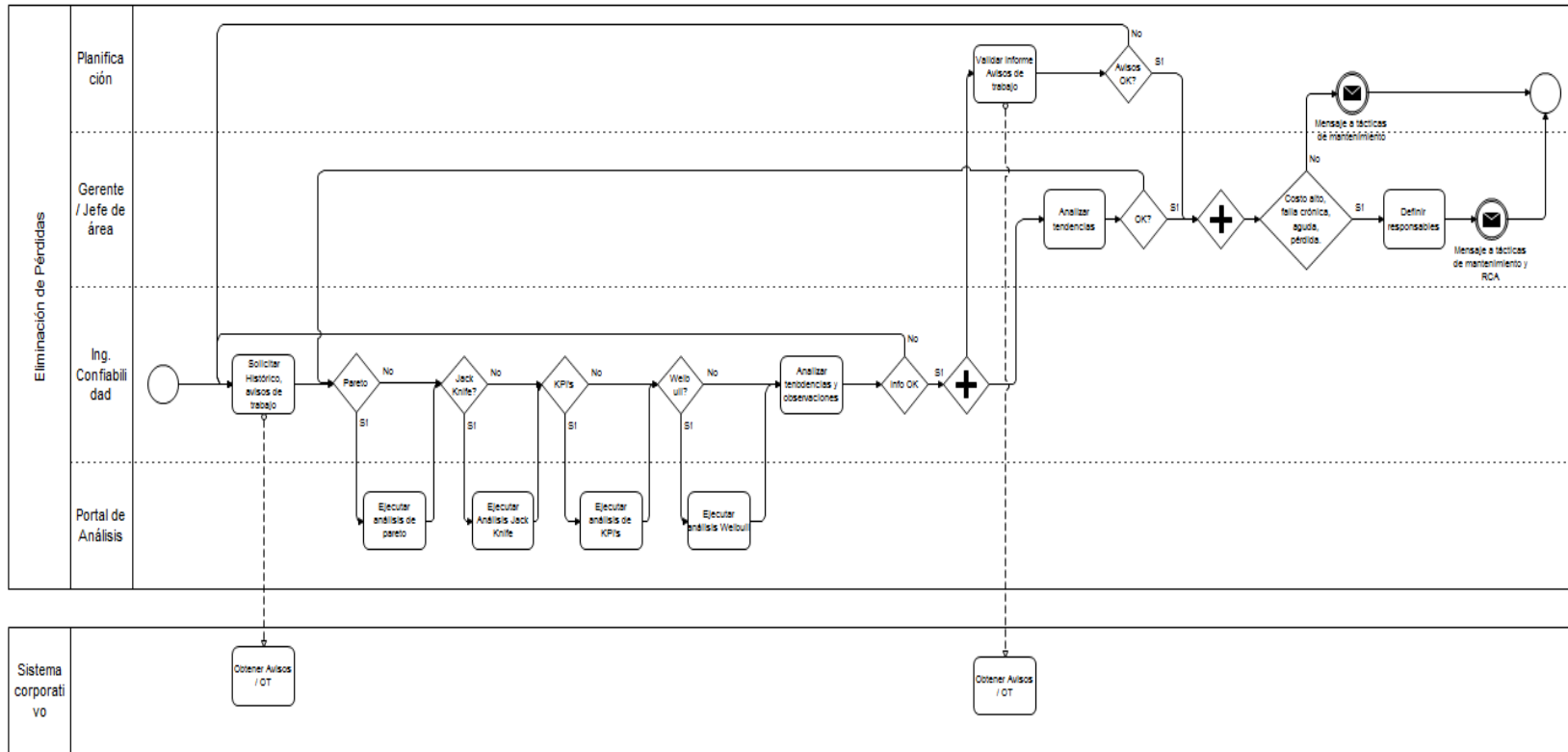


Ilustración 0-26: Eliminación de pérdidas, diagrama de pistas.

12.2.2.4 RCA (Análisis de causa raíz).

Lo más relevante de este proceso, RCA, es determinar y garantizar la realización de mejoras con un alto compromiso por parte de los empleados.

El proceso consta básicamente de la definición del problema, "Charter", en el cual, se definen los objetivos, hitos, líderes, dueños del proceso y los miembros que participan en el análisis. Luego, se elabora el diseño del diagrama de árbol causal para canalizar esfuerzos, después, se desarrolla el proceso de evaluación de alternativas, donde se lleva a cabo una priorización de oportunidades, considerando el impacto en el negocio y el esfuerzo asociado a la implementación. Para terminar, se elabora el proceso de creación de planes que define responsables, actividades y fechas para materializar el plan, de esta manera, se da respuesta al problema que causa las pérdidas.

Cada uno de estos procesos requiere de una serie de entregables que respaldan el estudio de fallos: fotografías, planos, resultados obtenidos en el período, etc., que son la fuente de pérdidas reales y potenciales.

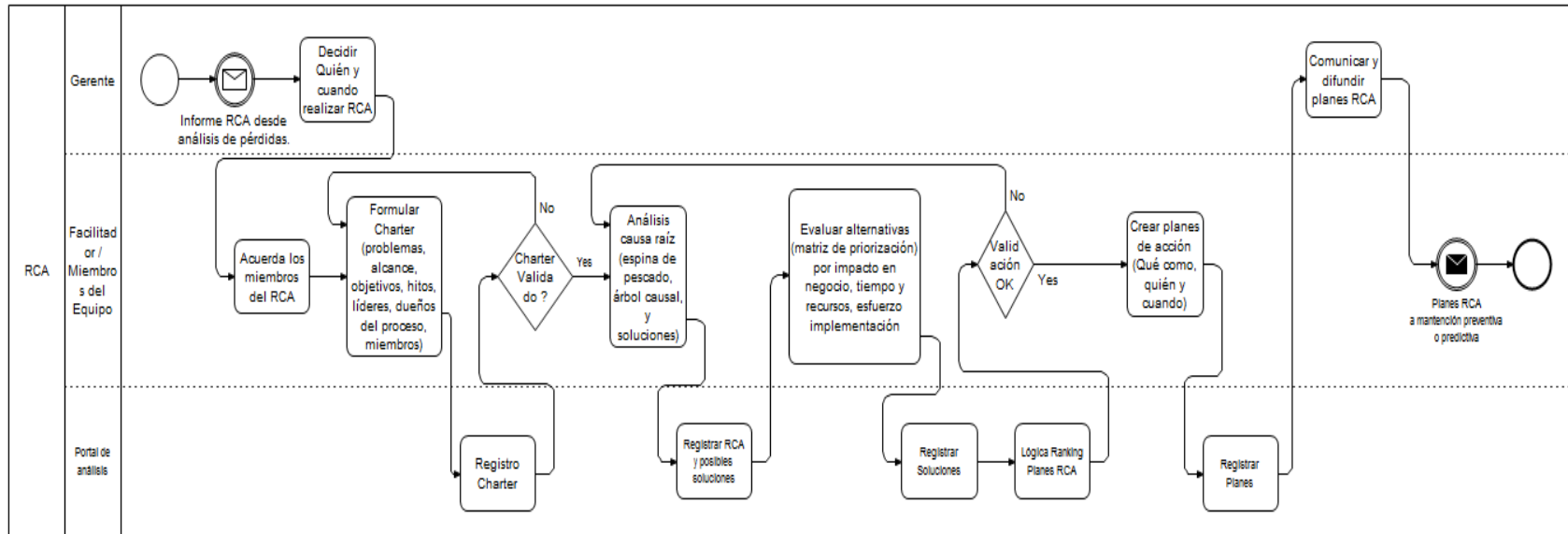


Ilustración 0-27: RCA, diagrama de pistas.

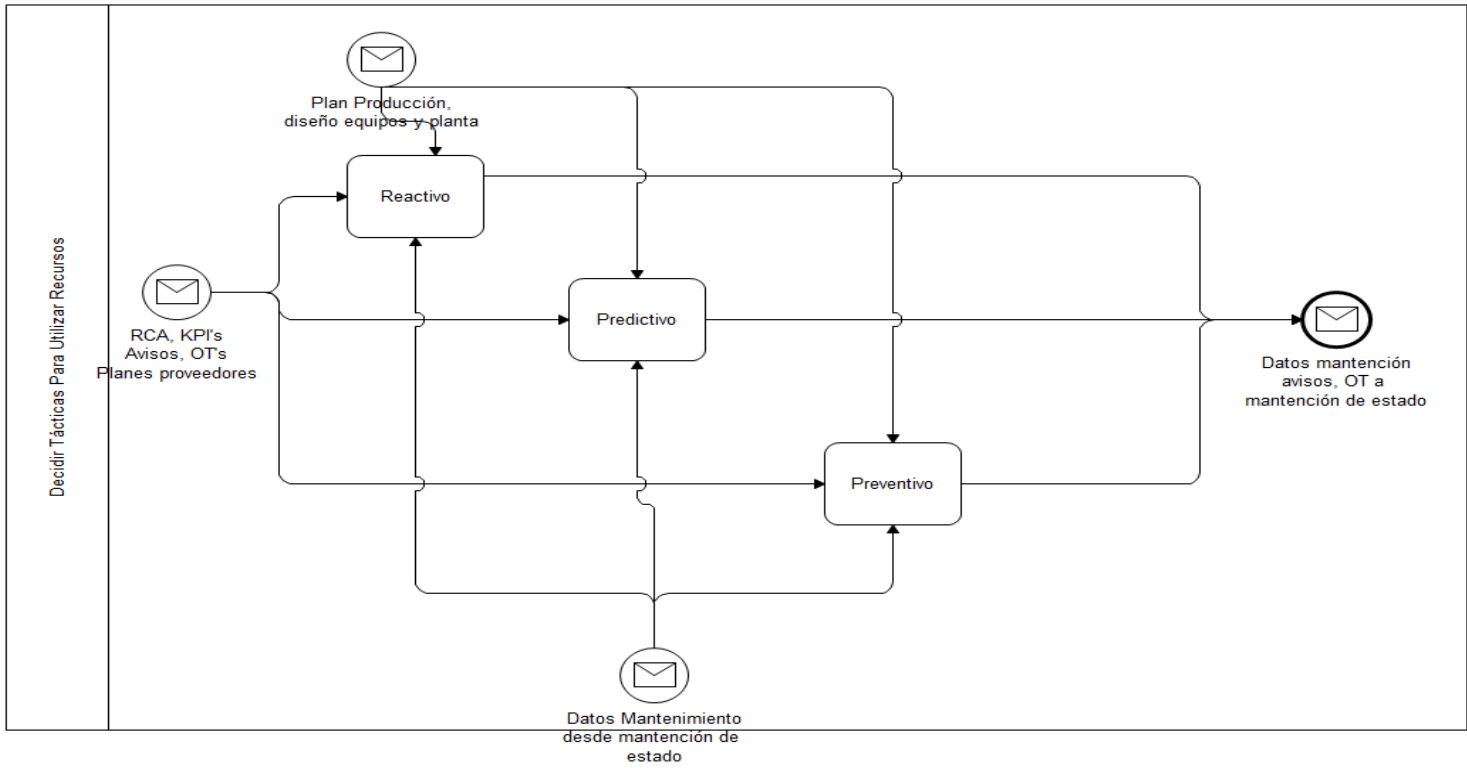


Ilustración 0-28: decidir tácticas para utilizar recursos

12.2.3 Decidir Tácticas Para Utilizar Recursos

Una vez ocurrido un evento en planta, comienza un nuevo proceso para identificar las posibles acciones de inspección y reparación.

Desde la perspectiva de mantenimiento, los fallos ocurridos en planta tienen un tratamiento diferente, debido a la especialización de equipos, recursos humanos y tecnologías de apoyo.

La idea central de las tácticas es llegar a ser totalmente predictiva, con una mínima o nula intervención humana en el proceso de inspección. De esta manera, la gerencia mantiene la capacidad disponible y planifica de mejor forma la detención, los repuestos, mano de obra y los servicios asociados.

En el proceso que involucra tácticas predictivas, las tecnologías de información juegan un rol fundamental, ya que determinan el período donde el activo reparable comienza a perder su confiabilidad.

A continuación describiremos las tres tácticas genéricas que han sido definidas para responder a la demanda de mantenimiento.

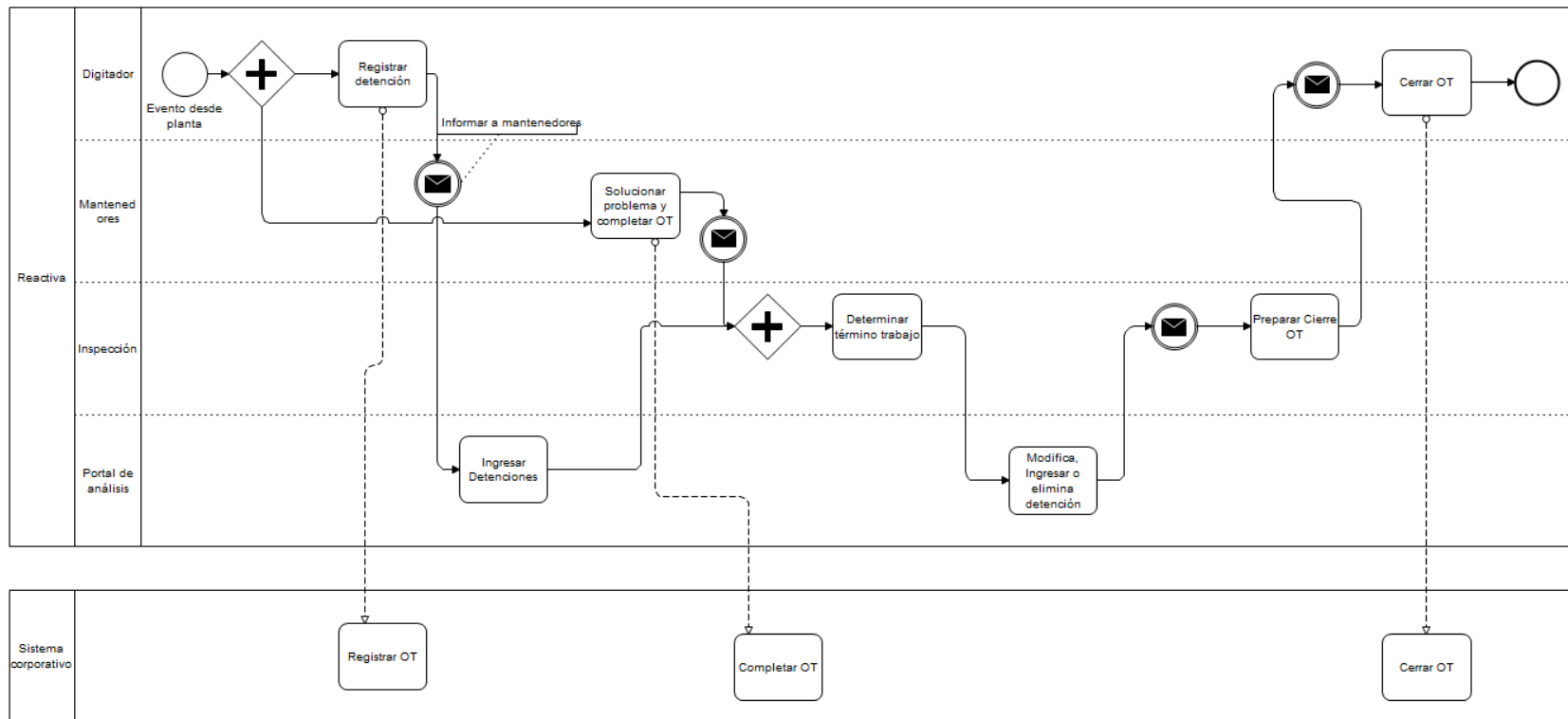
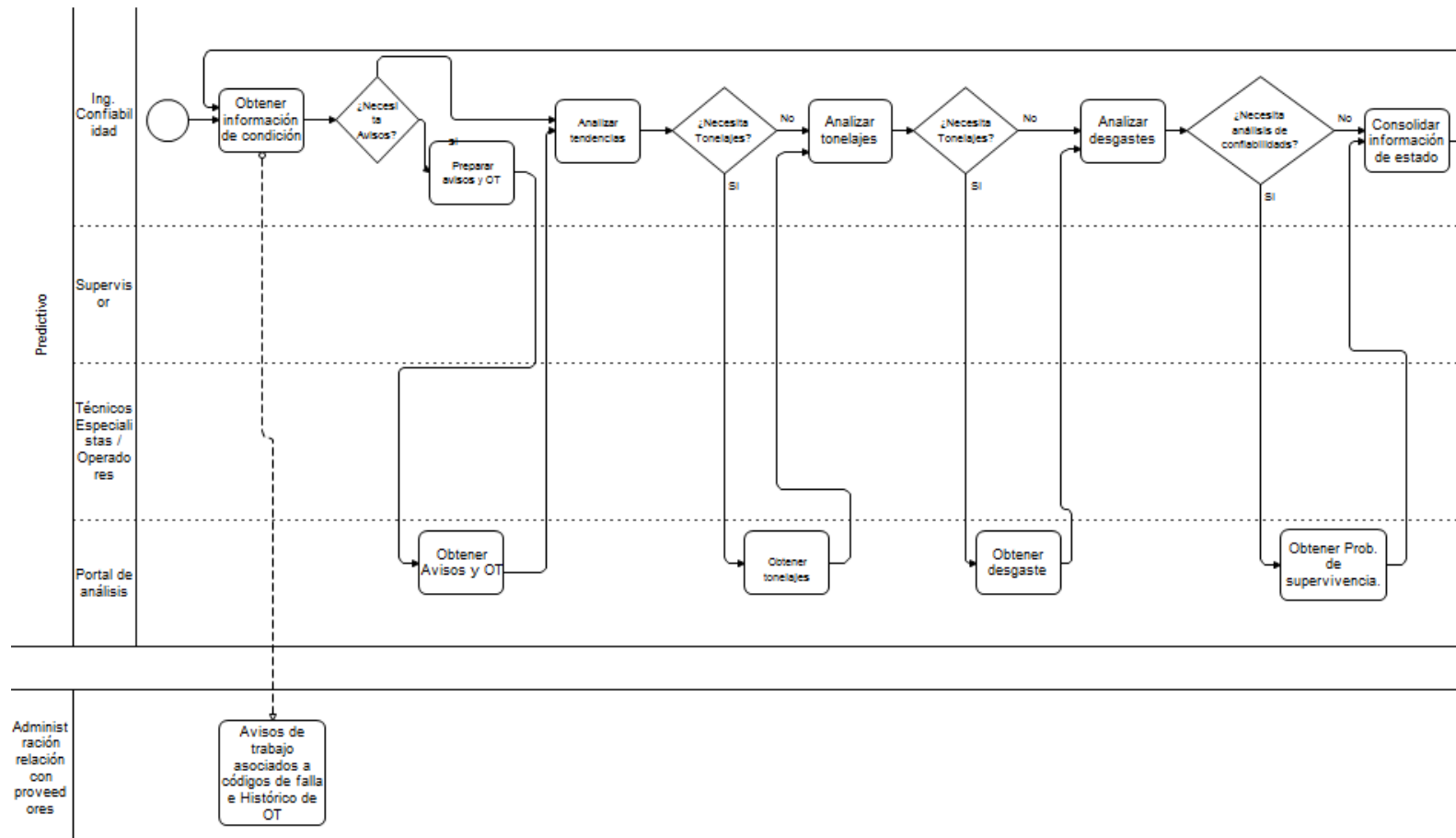


Ilustración 0-29: Táctica reactiva, diagrama de pistas.

El proceso, táctica reactiva, es originada cuando ocurre un evento aleatorio en planta. El operador, es el encargado de registrar en su bitácora la fecha y hora de inicio y término de la detención, además, es el encargado de dar aviso por radio a supervisor o jefe de turno, digitador, mecánicos, eléctricos o instrumentistas, para que se haga efectivo el mantenimiento del activo, dependiendo de la especialidad de la falla.



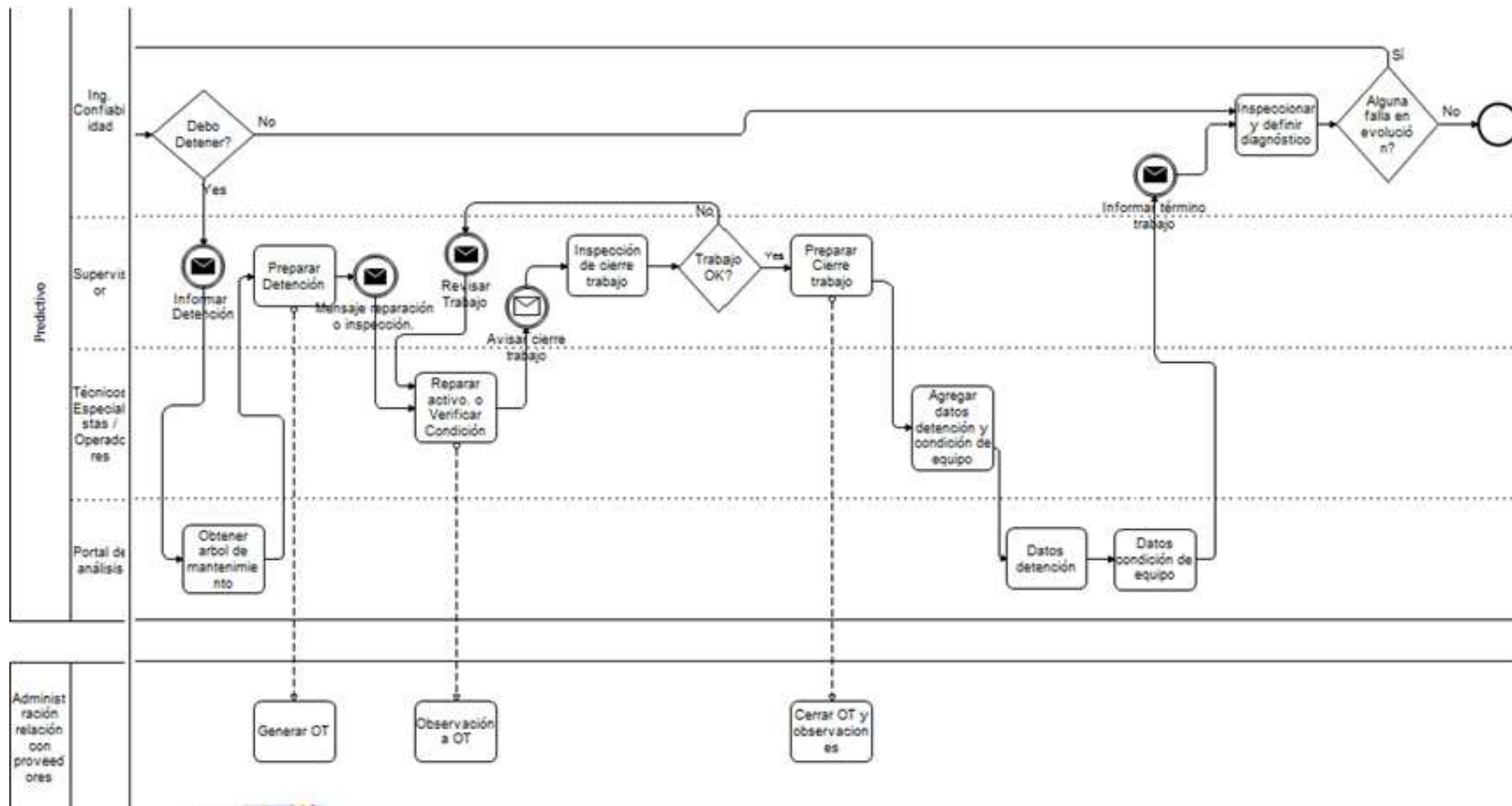


Ilustración 0-30: Táctica predictiva, diagrama de pistas.

La táctica de mantenimiento predictiva es la más importante de todas y se ha llegado a convertir en la táctica objetivo de la industria.

Para generar información que permita descubrir indicios de posibles fallos en evolución, es necesario contar con tecnologías de información y personal altamente capacitado y comprometido.

Las opiniones de varios profesionales con una amplia experiencia en mantenimiento, convergen en el tonelaje acumulado como variable de decisión para la inspección (invasiva / no invasiva) del equipamiento industrial. Además, inspecciones visuales y el histórico de detenciones, que permite determinar la confiabilidad del activo o probabilidad de supervivencia en un período de tiempo.

En este caso, el proceso ha sido diseñado para el estudio de dos activos críticos que pertenecen a planta área seca: Chancadora, “mantos y cóncavos” y correas transportadoras, “cintas”. Cabe destacar que es posible generalizar, construyendo la historia de otros activos que componen la línea crítica de producción.

Con la información generada en este proceso, es posible generar una estimación por parte del analista, que determina la inspección visual o la detención del activo, siendo esta última, menos económica que la primera.

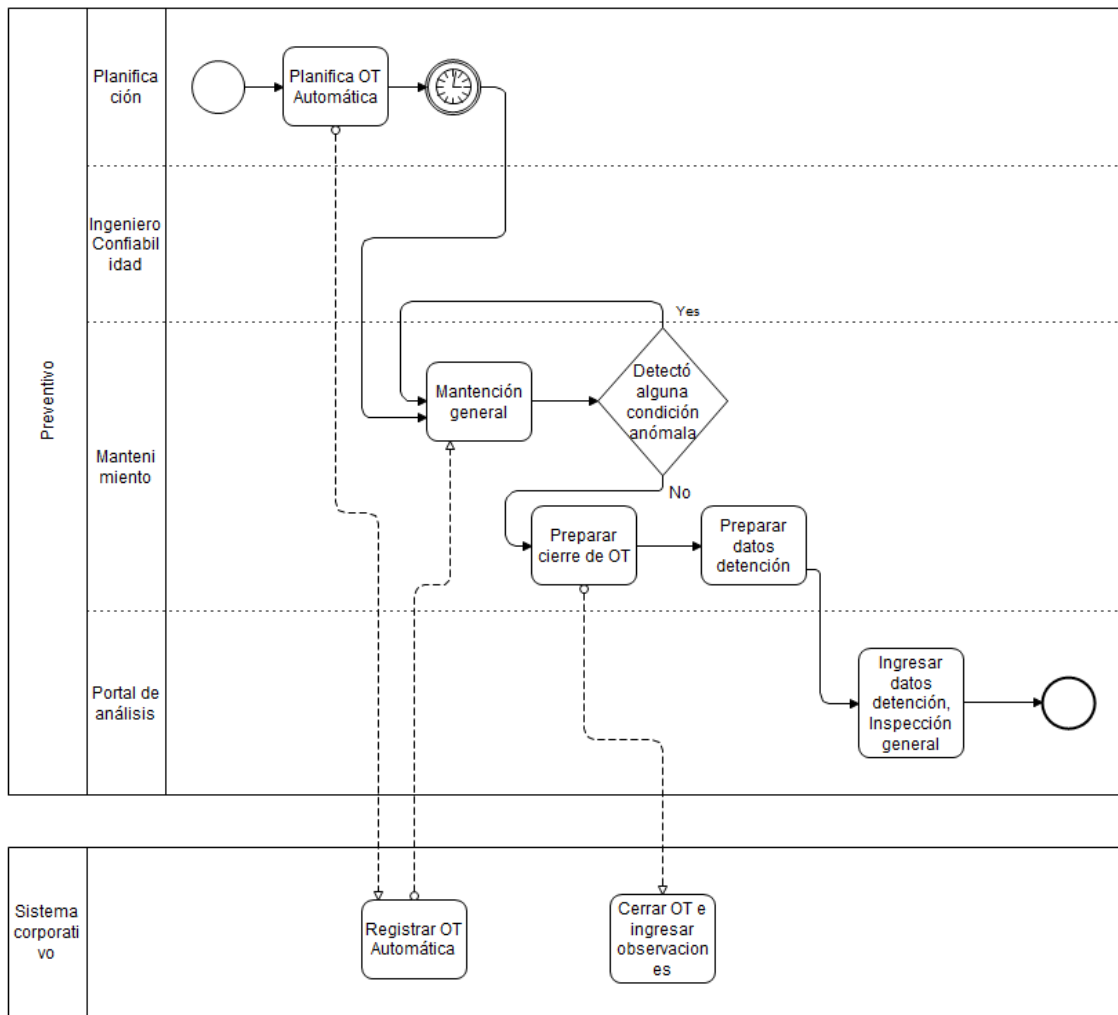


Ilustración 0-31: táctica preventiva, diagrama de pistas.

El proceso de mantenimiento preventivo comienza con la planificación y la programación de detenciones, el evento programado es una detención que activa la actividad de mantención general de forma automática, con el objeto de hacer efectivo el cambio de repuestos en faena.

Cuando se analiza la OT automática en mantenimiento, se ejecuta el trabajo y verifica si existe alguna situación anómala. Si no es así, el trabajo se cierra, cierra la OT e ingresa la detención en el portal de análisis.

Si existe alguna condición anómala anexa a la detención programada, que no permita iniciar los servicios, es deber de los operadores, mantenedores, jefes de turnos, etc., revisar el trabajo respectivo, agregar las observaciones que describen la problemática identificada como una potencial falla en la planta, se cierra la OT y se registra la detención en el portal de análisis.

Dado que el mantenimiento planificado no contiene una lógica compleja para el análisis de confiabilidad, no será relevante su estudio, pero si debemos dejar explícita su existencia.

12.2.4 Decidir transferencia de recursos

Existen dos vías para determinar la transferencia de recursos: la primera por simulación de escenarios, considerando información financiera del sistema en estudio, con esto, es posible detectar el instante en el cual el activo se vuelve económicamente inviable, que sugiere su remplazo o mejora tecnológica; la segunda, con datos que provienen de una plataforma tecnológica que registra detenciones, portal de análisis, usando analítica (Weibull de tres parámetros), para determinar si la evolución en costos sugiere la transferencia de recursos, actualización tecnológica o mejora del proceso.

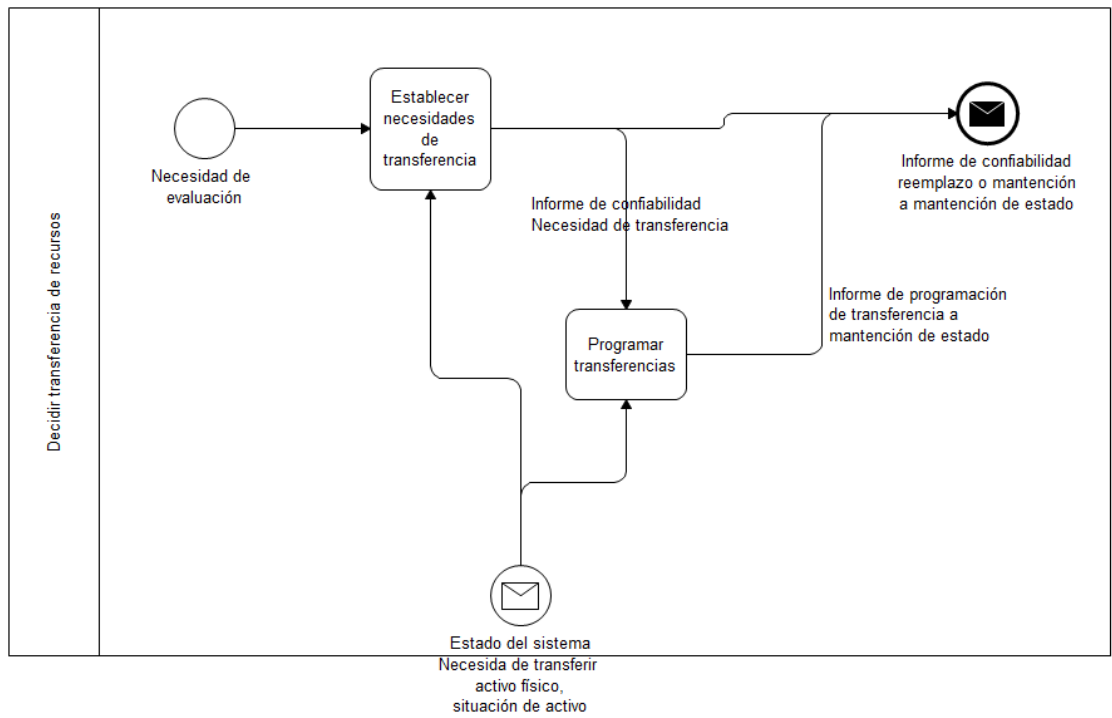


Ilustración 0-32: Decidir Transferencia de recursos.

12.2.4.1 Programar Transferencias

El reemplazo de equipos proviene de su deterioro durante el transcurso del tiempo, ya que su mantenimiento se hace más caro, los repuestos son escasos, la tecnología es obsoleta, y la operación se hace cada vez más ineficiente. Sobre este escenario, el analista determina que es el momento de invertir para reemplazar el sistema.

Un sistema puede tener asociado dos tipos de flujos: el primero, que proviene de beneficios generados durante el proceso productivo; el segundo, de gastos que son originados por el mantenimiento y operación del mismo. Por supuesto, detrás de los costos de mantenimiento están las características de falla del equipo, que provienen de su confiabilidad y de las tácticas y estrategias aplicadas durante su ciclo de vida. La diferencia entre los flujos se denomina "EBITDA" (Beneficios antes de intereses, impuestos, depreciaciones y amortizaciones), además, se debe agregar el costo de adquirir el equipo.

El problema de reemplazo consiste en determinar cuándo se debe reemplazar un equipo de modo de actuar oportunamente, considerando la perspectiva económica, maximizando la rentabilidad.

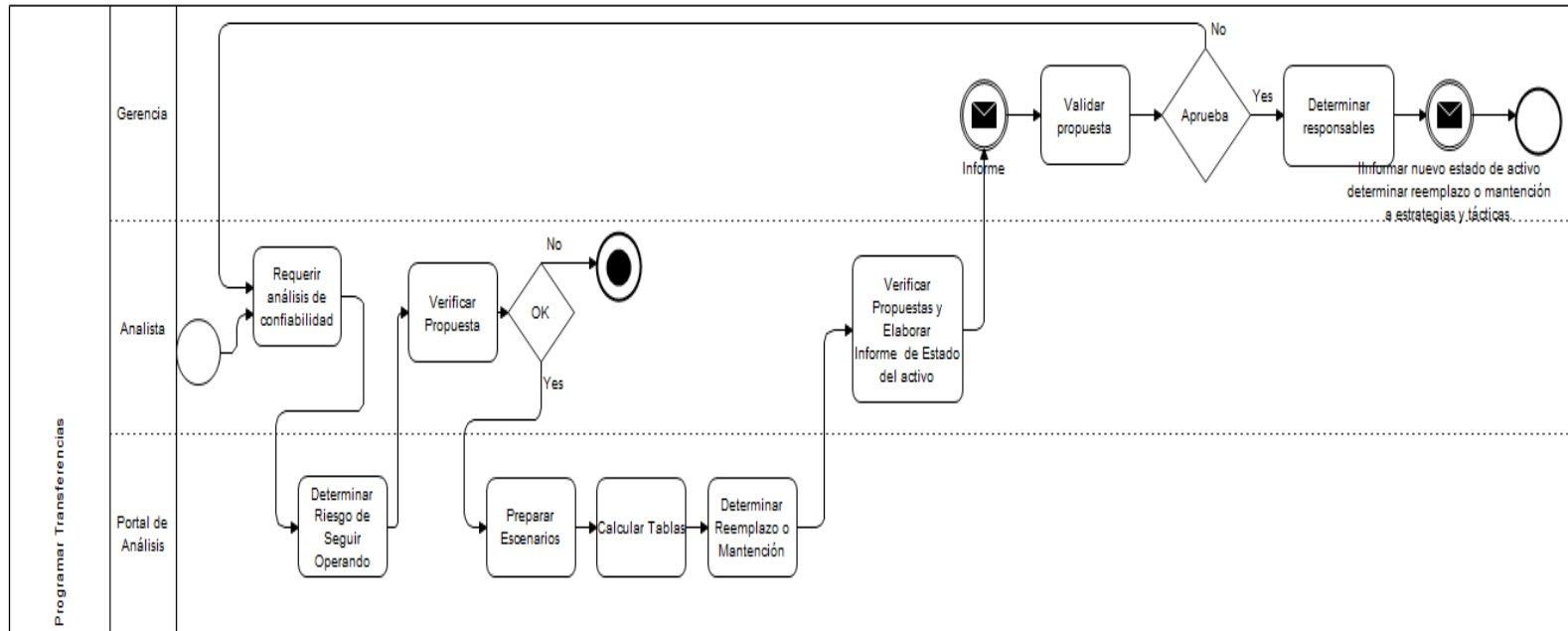


Ilustración 0-33: Programar transferencia de recursos.

El proceso para programar transferencias comienza con la solicitud de un análisis de confiabilidad, simulado o real, la elección de uno u otro depende de la existencia de un histórico de detenciones. El conocimiento de esta variable, la confiabilidad, determina su comportamiento en costos y fallos, como información de entrada para la elaboración de escenarios que facilitan la planificación para el reemplazo de equipos.

El resultado es considerado por mantenimiento como factor de decisión futura, apoyado por estrategias y tácticas de mantenimiento, ya que se asume un comportamiento conocido que solo depende de la aleatoriedad.

12.2.5 Aplicar estrategias y tácticas

Es interesante considerar la ejecución de cada una de las estrategias y tácticas mencionadas anteriormente, para esto se ha elaborado un diseño probado en compañías de clase mundial. Es preciso mencionar que los procesos que se detallarán a continuación presentan una interacción parcial con tecnologías de información, pero su estudio es importante, ya que permite eliminar el riesgo operacional.

A continuación determinamos los procesos vitales para la ejecución de un trabajo en planta, “Estos procesos son transversales a la arquitectura”.

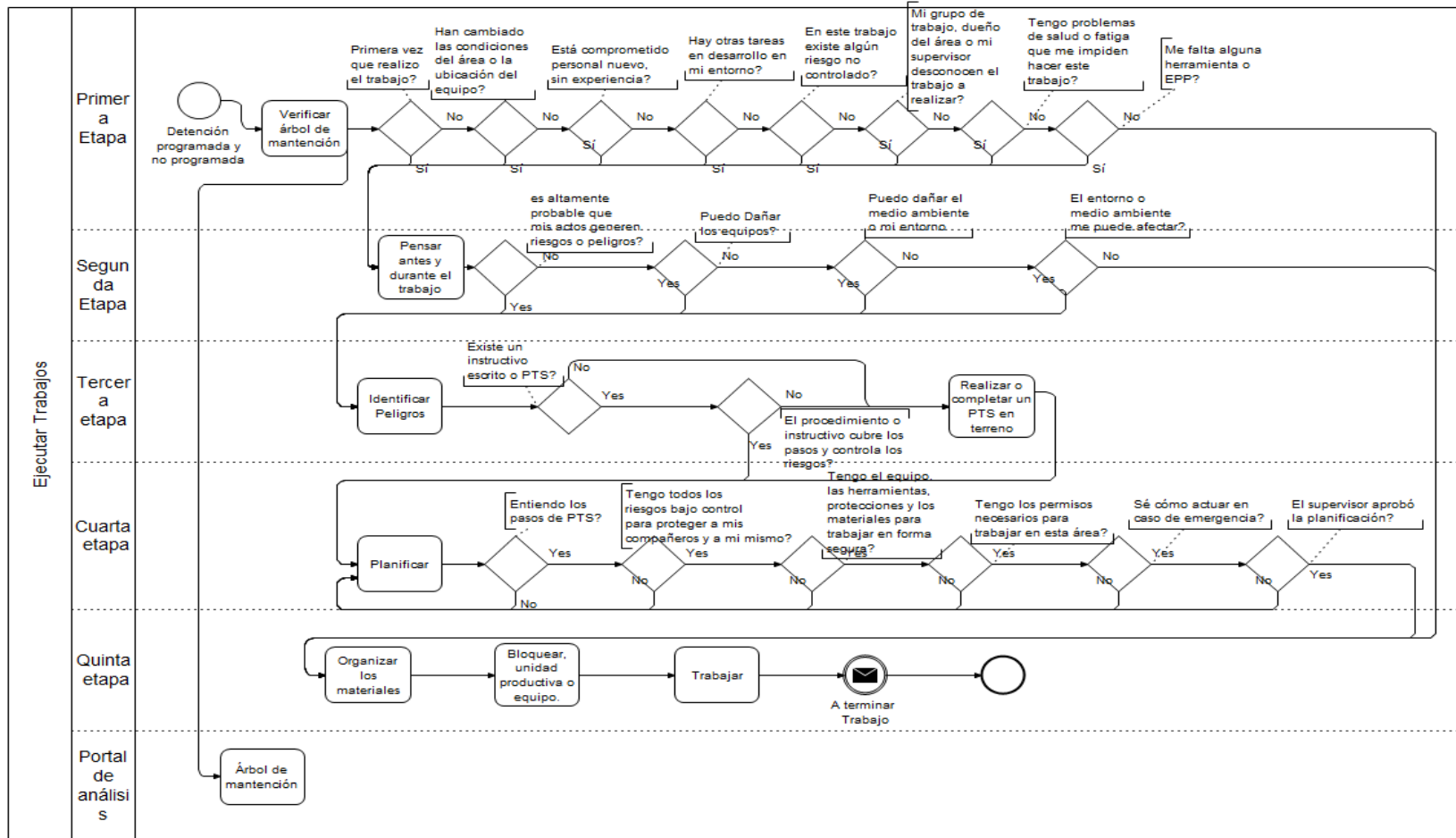


Ilustración 0-34: Ejecutar trabajos, diagrama de pistas.

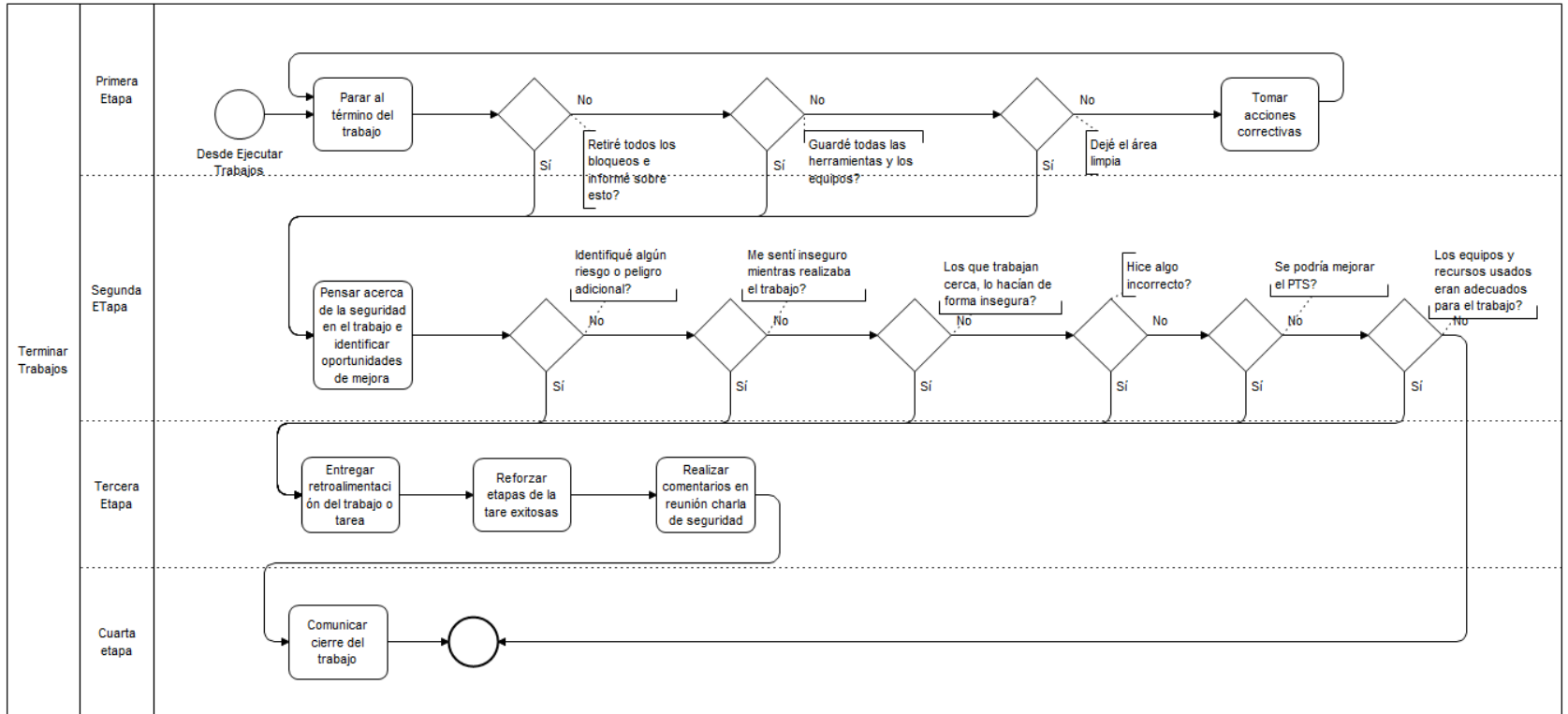


Ilustración 0-35: Cerrar trabajos, diagrama de pistas.

13. Lógica de Negocios

13.1 Planificación de producción

Para el estudio de la planificación de la producción de una mina a cielo abierto, se asume un modelo determinístico básico y sin incertidumbre, ver punto 12.1.7.2, sobre el cual se estima la capacidad requerida, como insumo para definir la planificación de la capacidad disponible. Esta planificación, de la capacidad requerida, se realizará sobre un único período de tiempo, por ejemplo un año. Cabe destacar que este modelo simplificado es suficiente para ser aplicado a minas a cielo abierto reales.

También asumimos que la planificación considera explotar un solo mineral, y que existe una elección de proceso, donde todo bloque extraído puede ser o no procesado, esta decisión es tomada considerando un criterio experto.

Consideremos un yacimiento para minería a cielo abierto, del cual tenemos un modelo en bloques.

Denotamos por \mathbf{B} el conjunto de bloques de la mina y $P \subset B \times B$ al conjunto de restricciones de precedencia, esto es, $(a, b) \in P$ si para extraer el bloque a , antes debe extraerse el bloque b .

Cada bloque $b \in B$ y tiene:

1. Costo de extracción $v_b^e > 0$ unidades monetarias (UM).
2. Costo de procesamiento $v_b^p > 0$ unidades monetarias (UM).
3. Ley de mineral, que asumiremos conocida ρ_b unidades de mineral.
4. Un beneficio $\omega_b \geq 0$ unidades monetarias (UM) por unidad de mineral.

Por ejemplo, si un bloque \mathbf{b} es extraído y procesado se percibe una ganancia económica de:

$$-v_b^e + (\omega_b \rho_b - v_b^p) UM$$

Y si un bloque es extraído solamente, entonces se percibe una ganancia de $-v_b^e$.

Cabe destacar que todos los planes de explotación deben cumplir las restricciones de precedencia de extracción establecidos por el conjunto de precedencia $P \subset B \times B$, también, un bloque solo puede ser procesado si antes es extraído, y además, debe respetar las capacidades disponibles de la planta.

De esta manera, cada bloque b consume $C_b^e > 0$ unidades de producción (UP) para ser extraído y existe un total de $C^e > 0$ (UP) disponibles para la extracción; análogamente, cada bloque b consume $C_b^p > 0$ (UP) para su procesamiento, del cual existe un total de $C^p > 0$ UP disponibles para el procesamiento de mineral.

Naturalmente, asumimos que la capacidad de mina y planta es limitada, esto es,

$$\sum_{b \in B} C_b^e > C^e \quad y \quad \sum_{b \in B} C_b^p > C^p$$

La variable de decisión del problema son las que denotan si un bloque es extraído o no, y si es procesado o no.

Para cada bloque $b \in B$ la decisión de su extracción está dada por.

$$X_b^e = \begin{cases} 1 & \text{si el bloque } b \text{ es extraído} \\ 0 & \text{si el bloque } b \text{ no es extraído} \end{cases}$$

Y la decisión de procesamiento por

$$X_b^p = \begin{cases} 1 & \text{si el bloque } b \text{ es procesado} \\ 0 & \text{si el bloque } b \text{ no es procesado} \end{cases}$$

Con esto, el costo asociado a la explotación del bloque b es de

$$-v_b^e X_b^e + (\omega_b \rho_b - v_b^p) X_b^p \text{ UM}$$

Así, el problema de planificación minera básico, con elección de proceso y único período es:

$$\text{máx} \sum_{b \in B} [-v_b^e X_b^e + (\omega_b \rho_b - v_b^p) X_b^p]$$

$$\text{s. a } X_a^e \leq X_b^e \quad \forall (a, b) \in P$$

$$X_a^p \leq X_b^e \quad \forall b \in B$$

$$\sum_{b \in B} C_b^e X_b^e \leq C^e$$

$$\sum_{b \in B} C_b^p X_b^p \leq C^p$$

$$X_b^e, X_b^p \in \{0,1\} \quad \forall b \in B$$

$$\rho \in \mathbb{R}_+^B$$

Podemos alivianar la notación utilizando una notación matricial y definiremos el conjunto de planes factibles como

$$\left\{ (X^e, X^p) \in \{0,1\}^B : \begin{array}{l} X_a^e \leq X_b^e \quad \forall (a, b) \in P \\ X^p \leq X^e \\ (C^e)^t X^e \leq C^e \\ (C^p)^t X^p \leq C^p \end{array} \right\}$$

Donde,

$$X^e := (X_b^e) \quad b \in B$$

$$X^p := (X_b^p) \quad b \in B$$

$$C^e := (C_b^e) \quad b \in B$$

$$C^p := (C_b^p) \quad b \in B$$

Adicionalmente se definió el vector de leyes conjuntas

$$\rho := (\rho_b) \quad b \in B$$

Los vectores de costos

$$v^e := (v_b^e) \quad b \in B$$

$$v^p := (v_b^p) \quad b \in B$$

Y la matriz de beneficios de procesamiento

$$W^p \in \mathbb{R}^{B \times B}$$

Tal que

$$W_{a,b}^p = W_b \text{ si } a = b \text{ y } 0 \text{ si no.}$$

De esta manera, la planificación de la producción genera información de entrada para el proceso de mantenimiento, capacidad requerida, en base a esta información se debe mantener bajo control la capacidad disponible para cubrir esa demanda.

13.2 Estudiar mantenibilidad

Para mantener un sistema que asegure el procesamiento de mineral, se debe contar con una función de estructura confiable, a costos competitivos.

El mantenimiento de un sistema con estas características requiere un proceso que documente su estructura, priorice el tratamiento de sus componentes, y defina las actividades necesarias aplicadas para su correcto funcionamiento.

Como primera actividad en el estudio de mantenibilidad, ver punto 12.2.2.1, el analista debe definir un perfil de catálogos que describe de forma lógica la

ubicación técnica de equipos industriales instalados en faena. Este proceso, básicamente, considera un sistema coherente para su estudio.

Luego, tomando como base el perfil de catálogos, el analista define la **criticidad** de los equipos, como fuente de información para la aplicación de estrategias y tácticas de mantenimiento, que tienen como objetivo principal asegurar la capacidad disponible. El proceso para el análisis de criticidad no está incluido en este estudio, pero está implícito en la definición para la elaboración de un perfil de catálogos.

El proceso para definir la criticidad es trivial, su valoración se efectúa considerando tres dimensiones: seguridad, impacto económico al negocio y medio ambiente. Para la totalidad de equipos que conforman el sistema, el analista o grupo de analistas utilizan juicio experto para asignar una ponderación, que define cierto nivel de importancia a cada una de las dimensiones descritas anteriormente.

De esta manera, la clasificación de criticidad, considerando la ponderación “p”, se aplica de la siguiente manera

- Si $p < 6$, el impacto es **Bajo**.
- Si $p < 10$ y $p \geq 6$, el impacto es **Moderado**.
- Si $p < 18$ y $p \geq 10$, el impacto es **Alto**.
- Si $p \geq 18$ el impacto es **Extremo**.

Considerando la tabla anterior, el analista selecciona la mayor de las ponderaciones para otorgar criticidad al equipo.

Por ejemplo, si analizamos un “puente grúa de 30 toneladas”, el impacto en la seguridad es 22, el impacto al negocio es 17 y el impacto al medio ambiente es 2, los resultados indican que la criticidad del equipo es 22, y se clasifica como “**Extremo**”, por lo tanto es crítico.

Esta información descubre una priorización en el estudio de mantenibilidad, y enfoca los esfuerzos en la búsqueda de modos de falla y en la creación de un árbol de mantención para el activo en estudio, actividades que requieren una alta cantidad de recursos humanos, tiempo y costos asociados, variables sujetas a optimización.

Para configurar un perfil de catálogos y árbol de mantención: operadores, mantenedores e ingeniero de mantenimiento, recopilan información de códigos parte objeto de la planta, luego, el ingeniero de confiabilidad, considerando la información de criticidad, configura un modelo lógico que descubre la línea crítica de producción. Esta información se somete a una aprobación por parte de la Superintendencia y la Gerencia respectiva para continuar con el proceso de registro, que consta de cinco actividades básicas: definir unidades productivas, definir grupo de equipos, agrupar equipos, definir modos de falla por equipo e ingresar árbol de mantención por modos de falla.

Todas las actividades descritas en el párrafo anterior son revisadas continuamente por el ingeniero de confiabilidad, de esta manera, el perfil de catálogos se construye continuamente, para un análisis de confiabilidad posterior.

Con esta información, perfil de catálogos y análisis de criticidad, el analista es capaz de registrar los datos en el sistema de información para un posterior análisis de confiabilidad.

13.3 Eliminación de pérdidas

Es el proceso encargado de focalizar los esfuerzos en fallos que provocan pérdidas de producción, tiempo, costos, etc. Para su materialización, es estrictamente necesario contar con una definición del perfil de catálogos, un análisis de criticidad y un sistema de información que permita registrar detenciones. Además, este proceso considera un análisis de corto y largo plazo:

en el primer caso, corto plazo, utiliza analítica para sustentar el mantenimiento y la inspección de activos físicos, considerando su condición y comportamiento; En el segundo caso, largo plazo, utiliza analítica para clasificar el activo, de esta manera es posible configurar una estrategia de mantenimiento basada en la confiabilidad del sistema en el tiempo.

A continuación, se detalla la lógica utilizada para el análisis en un corto plazo. El lector se debe enfocar en el punto 12.2.2.3, donde el ingeniero de confiabilidad **solicita el histórico de avisos de trabajo y órdenes de trabajo**, almacenados en un sistema corporativo externo, con esta información, determina las pérdidas potenciales por equipos que visualmente presentan fallos en evolución.

Cabe destacar que un aviso de trabajo puede ser generado sin la existencia de una orden de trabajo. El aviso, genera la inspección constante de la planta, la orden de trabajo, es la consecuencia a una inspección y determina un problema real que requiere una acción de mantenimiento y recursos para su solución.

Para construir el análisis necesitamos lo siguiente:

$Faa_i, \sum_{i=0}^n Faa_i$, frecuencia absoluta de avisos de trabajos asociados a códigos de fallo, en estado abierto.

$Fac_i, \sum_{i=0}^n Fac_i$, frecuencia absoluta de avisos de trabajos asociados a códigos de fallos, en estado cerrado.

$Fot_i, \sum_{i=0}^n Fot_i$, frecuencia absoluta de órdenes de trabajo cerradas asignadas a un aviso de trabajo.

Por lo tanto:

1. Si $Faa_i = Fac_i = Fot_i$, (“Inspecciones eficaces”)

2. $Faa_i > Fot_i > Fac_i$, (**“Inspecciones no eficaces, existe una mala coordinación entre planificadores, programadores, inspectores, operadores, etc.”**)

3. $Fac_i < Faa_i < Fot_i$ (**“La inspección es programada en su mayor parte”**)

El proceso para el análisis de eliminación de pérdidas es del tipo “Top Down”, en el cual, el analista focaliza los esfuerzos en descubrir la planta con una mayor frecuencia absoluta de avisos de trabajos asociados a códigos de falla en estado abierto y que además, no tienen equivalencia con la frecuencia absoluta de ordenes de trabajo.

Luego, los esfuerzos son destinados a identificar la unidad productiva ubicada en la planta seleccionada, los equipos ubicados en la unidad productiva, hasta llegar a nivel de componentes.

Este primer análisis considera la eficacia de la inspección y es de corto plazo (diario, semanal, quincenal, mensual). Además, por sí solo, es capaz de identificar fallos aleatorios en el proceso.

El proceso prioriza por la existencia de pérdidas de producción, repuestos, horas de trabajo, salud, seguridad, comunidad y medio ambiente. Todas las variables mencionadas anteriormente, se deben considerar al momento de emitir un aviso de trabajo asociado a código de falla.

A continuación el análisis de avisos de trabajo asociado a códigos de fallos.

Avisos de Trabajo Generados - con OT - Cerrados

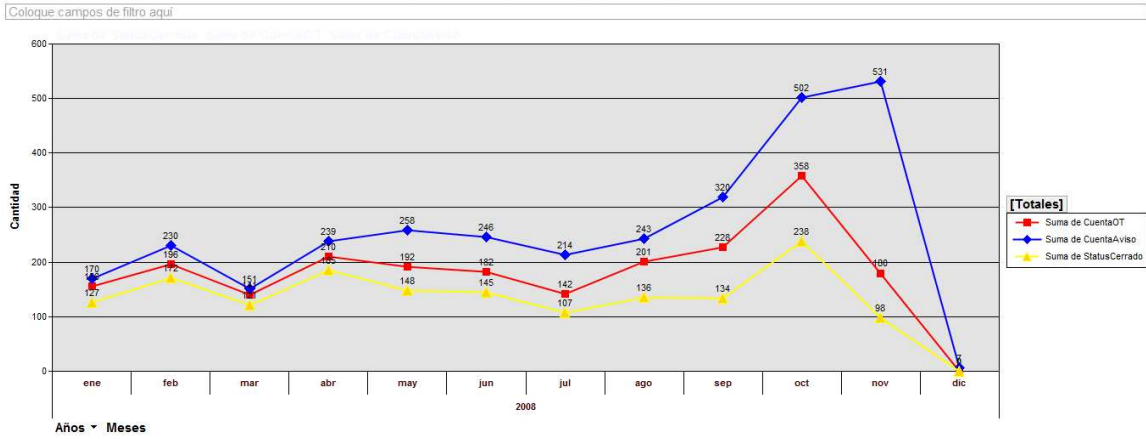


Ilustración 0-36: Análisis de avisos de trabajo y OT.

Planta 1 vs Planta 2

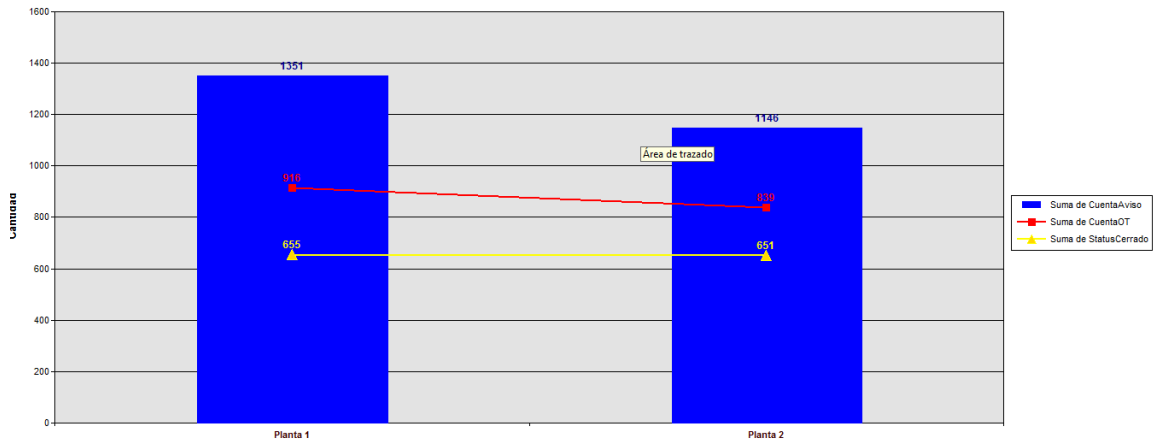


Ilustración 0-37: Información mensual para "n" plantas.

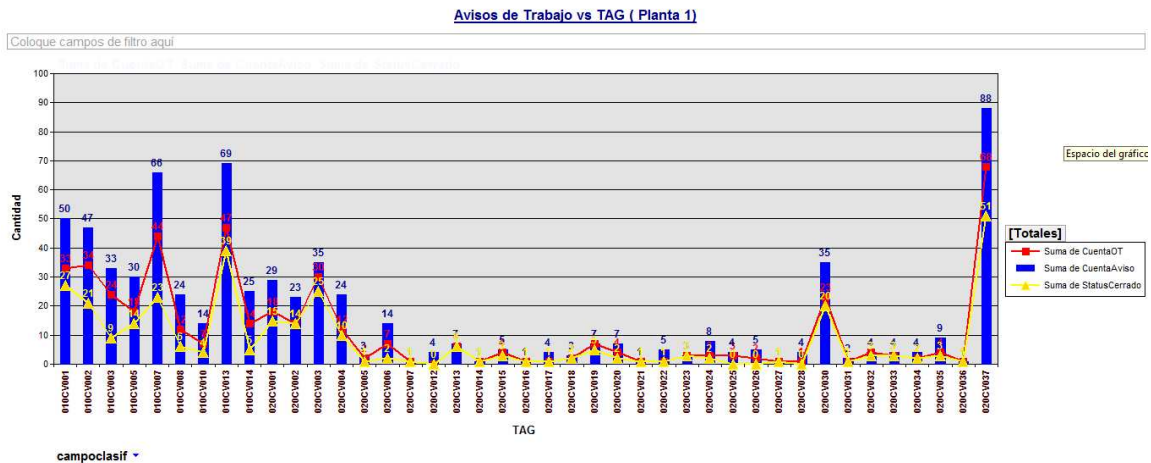


Ilustración 0-38: Información mensual por grupo de equipos.

Existe información adicional para el análisis de pérdidas y tiene relación con el histórico de detenciones, capaz de describir la capacidad disponible, el impacto en los objetivos estratégicos y la confiabilidad del sistema.

El **principio de Pareto** que describe las detenciones, es muy utilizado en confiabilidad y producción, ya que entrega información que descubre al responsable de la mayor cantidad de fallos en el sistema, de esta manera, los esfuerzos se enfocan en los equipos que generan pérdida desde esta perspectiva.

Para elaborar el diagrama de Pareto diseñamos una matriz de la siguiente manera:

1. Calcular la frecuencia absoluta de detenciones, Fad_i .
2. Ordenar de mayor a menor la Fad_i .
3. Calcular la frecuencia relativa de detenciones:

$$Frd_i = \frac{Fad_i}{N} \text{ , donde } N = \sum_{i=1}^n Fad_i$$

4. Calcular la frecuencia relativa acumulada de detenciones, $Frad_i$.

$$Frad_i = \sum_{i=1}^n Frd_i$$

5. Calcular el total de horas de detención acumulada, Thd_i , a partir de los sistemas seleccionados para el análisis. Este dato agrega valor al Pareto, debido a que se explicita una nueva dimensión, el tiempo.
6. Calcular el total del costo acumulado, Tca_i , a partir de los sistemas seleccionados para el análisis, además, la orden de trabajo asignada a cada una de las detenciones ocurridas en faena.

Sistema (i)	Fad (i)	Frd (i)	Frad (i)	Thd (i)	Tca (i)
A	20	23,81%	23,81%	25	1.200.000
B	18	21,43%	45,24%	18	780.000
C	16	19,05%	64,29%	12	230.000
D	14	16,67%	80,95%	10	100.000
E	8	9,52%	90,48%	6	80.000
F	7	8,33%	98,81%	4	60.000
G	1	1,19%	100,00%	1	25.000
Total	84	100,00%			

Tabla 9: Elaboración de diagrama de Pareto.

En resumen, el análisis de Pareto proporciona un sustento para la priorización de oportunidades de mantenimiento por causa de pérdidas reales.

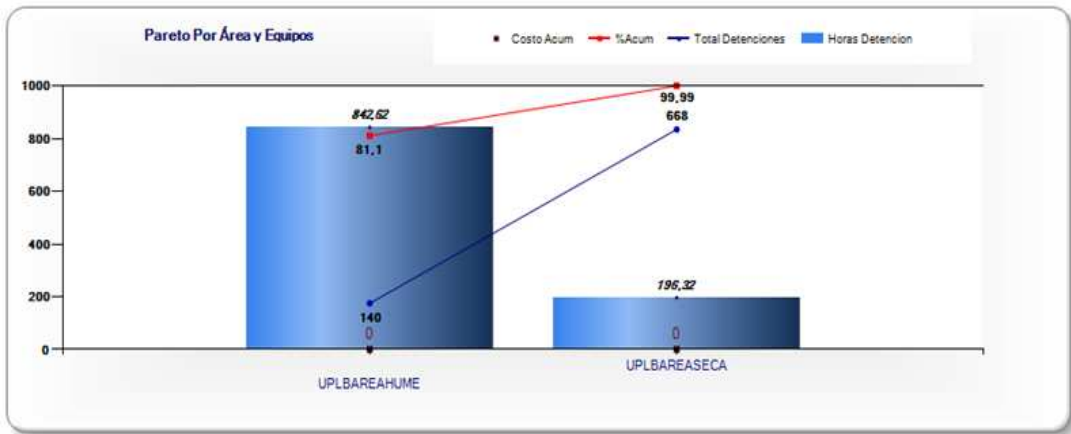


Ilustración 0-39: Pareto por unidades productivas.

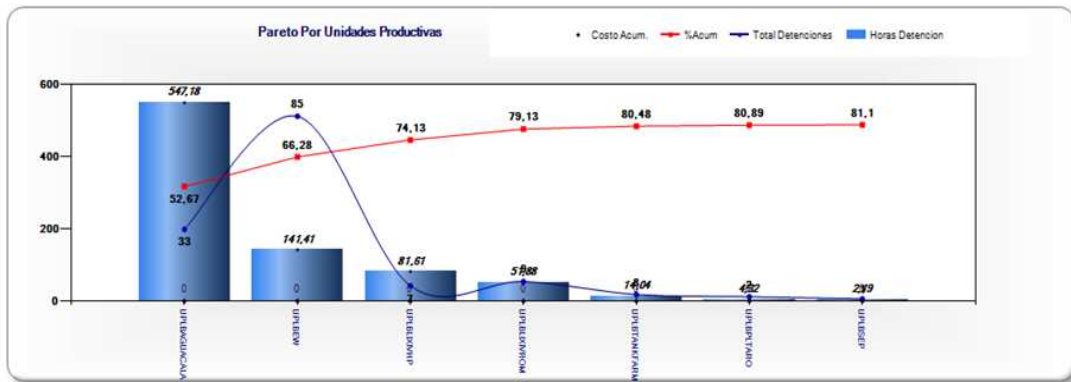


Ilustración 0-40: Pareto por área.

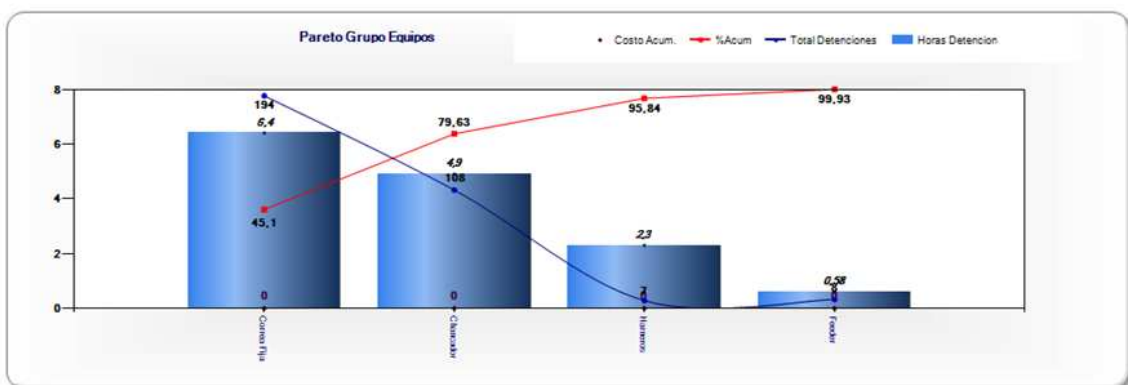


Ilustración 0-41: Pareto por equipos agrupados.

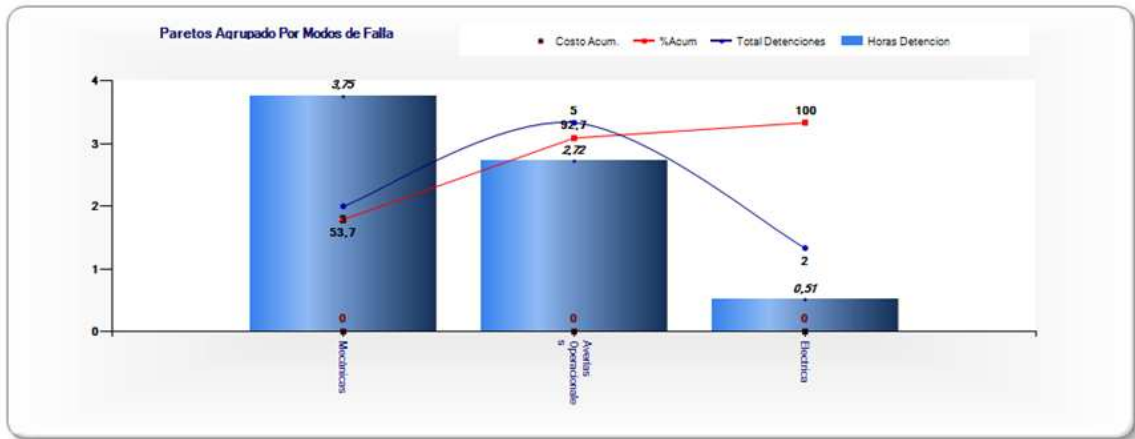


Ilustración 0-42: Pareto agrupado por modos de falla.

Por otro lado, el ingeniero de confiabilidad puede considerar que el análisis de avisos de trabajo y Pareto, no son suficientes para explicar las pérdidas provocadas por detenciones relacionadas a fallos. Además, necesita evaluar si las tácticas aplicadas a cada uno de los activos cumplen con los objetivos. Es por esta razón que invoca una lógica adicional, **análisis Jack Knife**, que considera el tiempo fuera de servicio como variable de decisión, tomando en cuenta el número de fallas imprevistas n_i , asociada a un código de categoría i , y el tiempo medio asociado al diagnóstico y reparación, $MTTR_i$.

De esta manera, obtenemos:

$$TFS_i = n_i \times MTTR_i \quad \mathbf{12.1.1.1}$$

Para suavizar la curva, aplicamos dispersión logarítmica

$$\text{Log}(TFS_i) = \text{Log}(n_i) + \text{Log}(MTTR_i) \quad \mathbf{12.1.1.2}$$

Podemos decir que aquellas fallas con un “MTTR” muy alto son de tipo agudas y las fallas con “n” muy alto serán consideradas crónicas.

$$\text{Donde } MTTR_i = \frac{\text{Tiempo fuera de servicio, por mantenimiento}}{\text{Frecuencia por fallos de mantenimiento}} \quad \mathbf{12.1.1.3}$$

$n_i = \text{número de fallas}$ y $TFS_i = \text{tiempo fuera de servicio}$.

El cuadro de dispersión logarítmica puede ser dividido en cuatro cuadrantes, para lograr esto calculamos:

$$Limite_{MTTR} = \frac{\text{Tiempo total fuera de servicio}}{\text{Número total de fallas}} \quad \mathbf{12.1.1.4}$$

$$Limite_n = \frac{\text{Número total de fallas}}{\text{Número de códigos de falla}} \quad \mathbf{12.1.1.5}$$

Por lo tanto, en el eje de las abscisas encontramos a " n_i "; en el eje de las ordenadas tenemos a " $MTTR_i$ ", y los límites de cada cuadrante por $Limite_{MTTR}$ y $Limite_n$.

El cuadrante superior derecho identifica las fallas que son crónicas y agudas, con una alta frecuencia y un tiempo de mantenimiento que sobrepasa las expectativas de planificación; el cuadrante superior izquierdo identifica a las detenciones que son agudas, con un tiempo de mantenimiento que sobrepasa las expectativas de planificación; el cuadrante inferior derecho identifica las fallas que presentan una alta frecuencia.

Así, esta herramienta, Jack Knife, podría tener dos usos alternativos: el primero, para controlar planes y tácticas de mantenimiento; el segundo, para identificar sistemas que provocan pérdidas.

La aplicación es simple, el analista debe generar dos informes, uno para cada período, estos deben ser consecutivos, luego selecciona un sistema en particular y termina con una comparación de los resultados obtenidos en cada período.

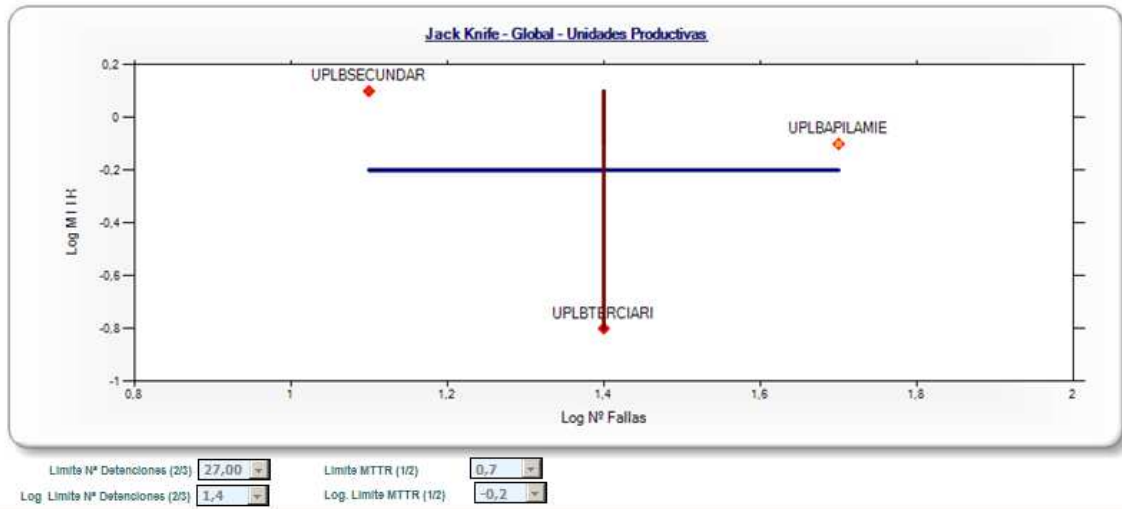


Ilustración 0-43: Jack Knife por unidades productivas.

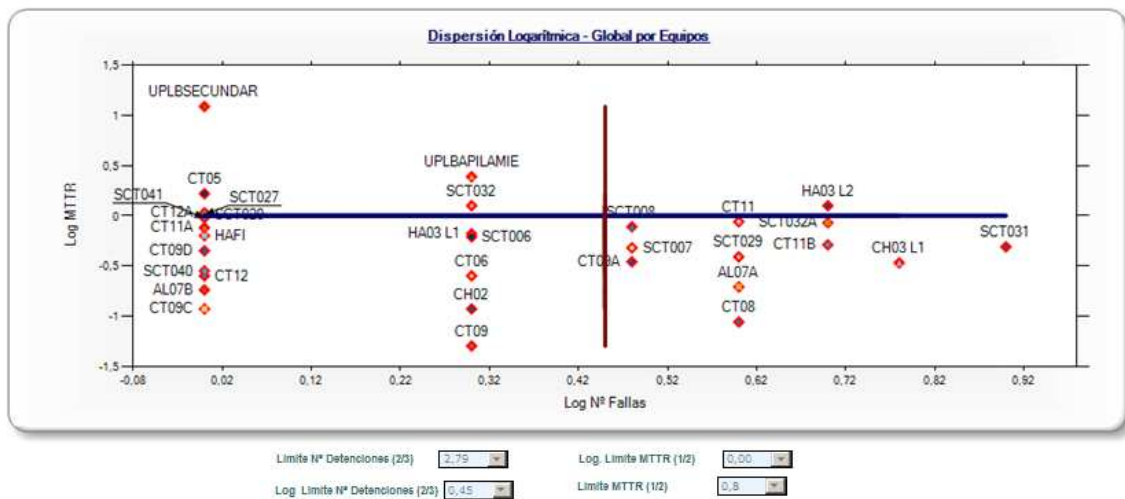


Ilustración 0-44: Jack Knife por equipos agrupados por unidades productivas.

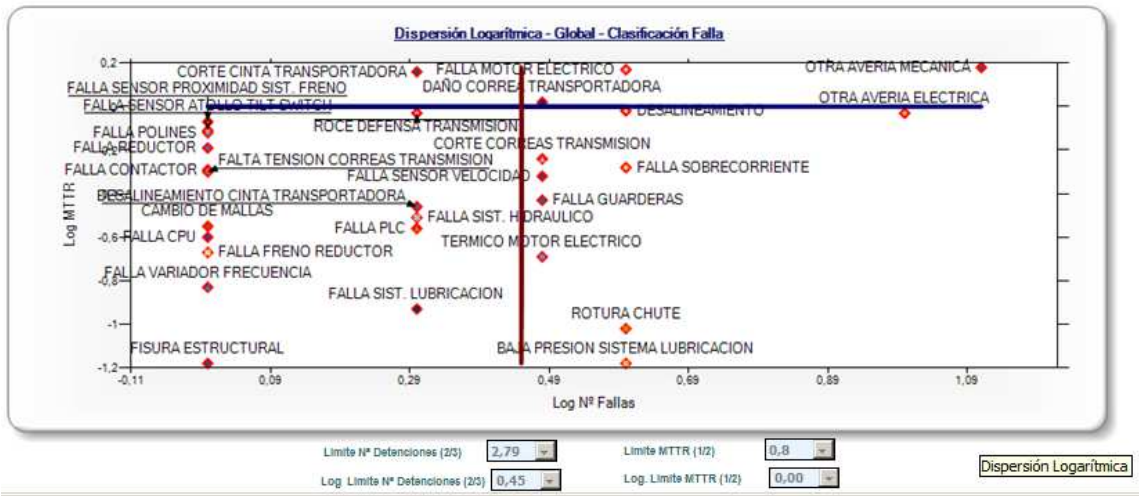


Ilustración 0-45: Jack Knife por clasificación de falla.

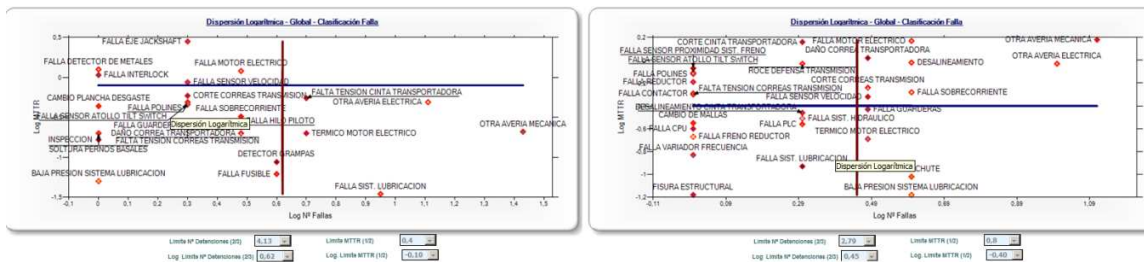


Ilustración 0-46: Jack Knife comparativo (diciembre 2010 y enero 2011)

El proceso anterior identifica posibles casos de estudio generadores de pérdidas. Luego, si el analista estima conveniente, podría contrastar estos resultados con los objetivos corporativos de mantenibilidad, ya que con la actividad “requerir tendencias de KPI’s” es posible identificar desviaciones de forma oportuna y corregirlas.

La definición de indicadores claves de desempeño se hará explícita, pero no su configuración, a petición de la empresa donde se llevó a cabo el estudio.

Tiempo medio entre fallas (MTBF), es un parámetro de la disponibilidad, factor de confiabilidad del sistema en estudio. El resultado esperado es extender su valor y disminuir la tasa de fallas.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo cronológico} - \text{Averías de Mantenimiento}}{\text{Frecuencia por averías de mantenimiento}} \quad 12.1.1.6$$

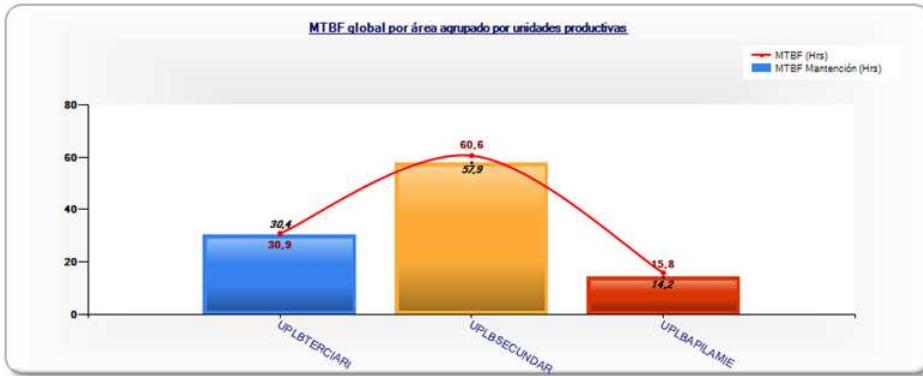


Ilustración 0-47: MTBF y MTBF mantenimiento acumulado por unidades productivas.

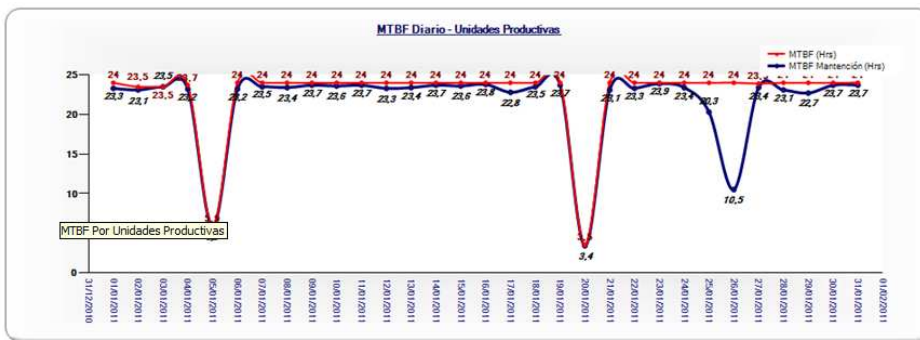


Ilustración 0-48: MTBF y MTBF mantenimiento diario por unidades productivas.

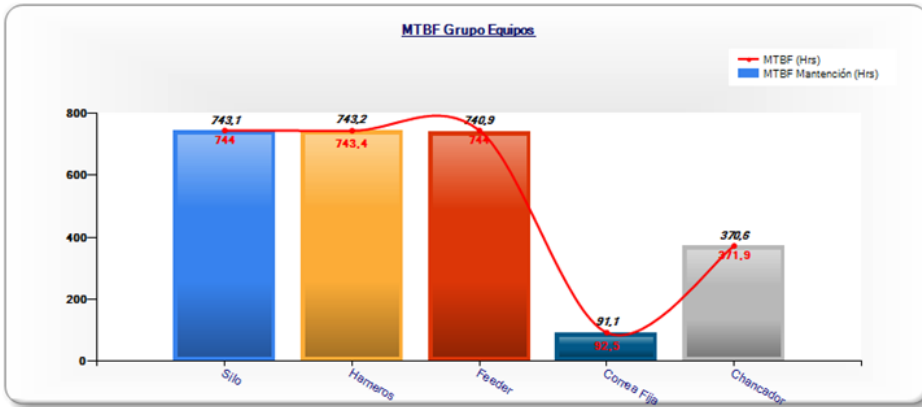


Ilustración 0-49: MTBF y MTBF mantenimiento acumulado agrupado por equipos.

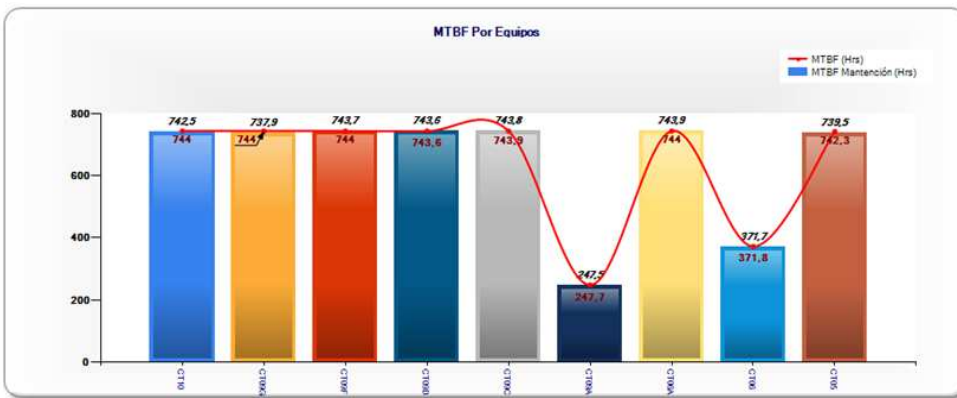


Ilustración 0-50: MTBF y MTBF mantenimiento acumulado por equipos.

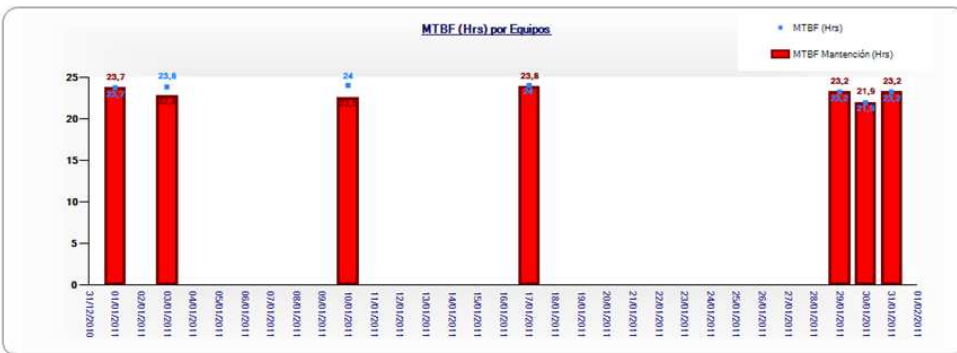


Ilustración 0-51: MTBF y MTBF mantenimiento, diario por equipo.

Tiempo medio entre reparaciones (MTTR) es un parámetro de la disponibilidad, factor de mantenibilidad, relacionado a la fase de diseño de los equipos, calidad de trabajos, etc. El resultado esperado es tender a su disminución, incrementar la disponibilidad y la calidad del proceso.

$$MTTR = \frac{\text{Averías de mantenimiento}}{\text{Frecuencia por averías de mantenimiento}} \quad \mathbf{12.1.1.7}$$

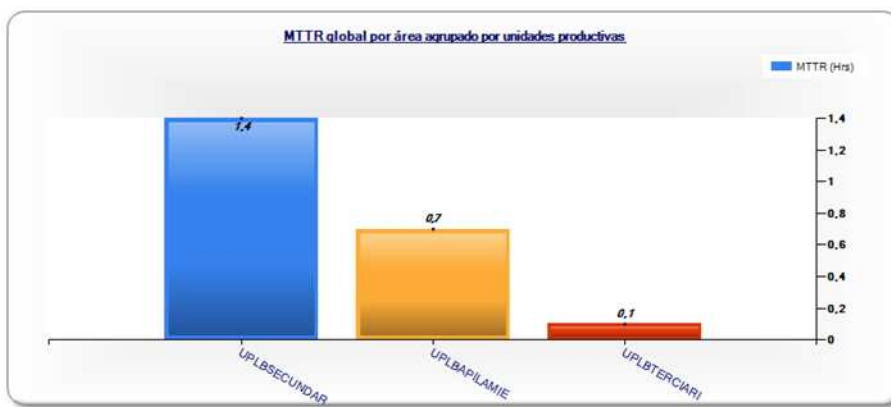


Ilustración 0-52: MTTR acumulado por área.

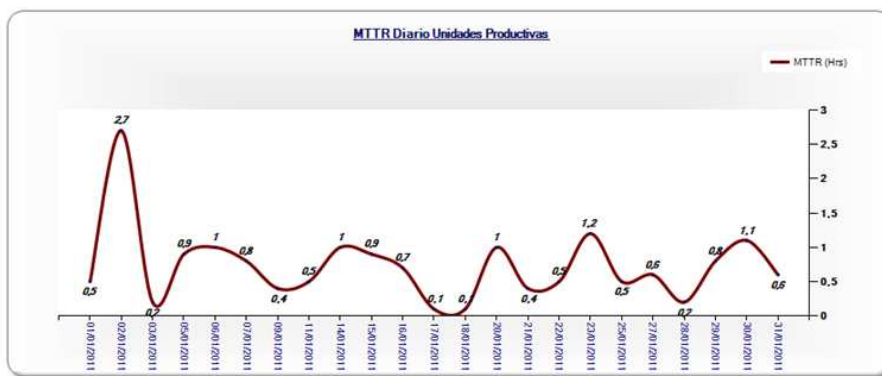


Ilustración 0-53: MTTR diario por unidad productiva de apilamiento.

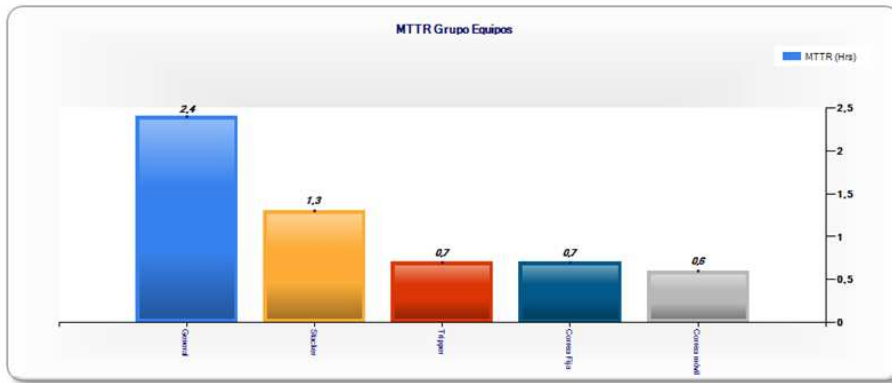


Ilustración 0-54: MTTR acumulado y agrupado por equipos.

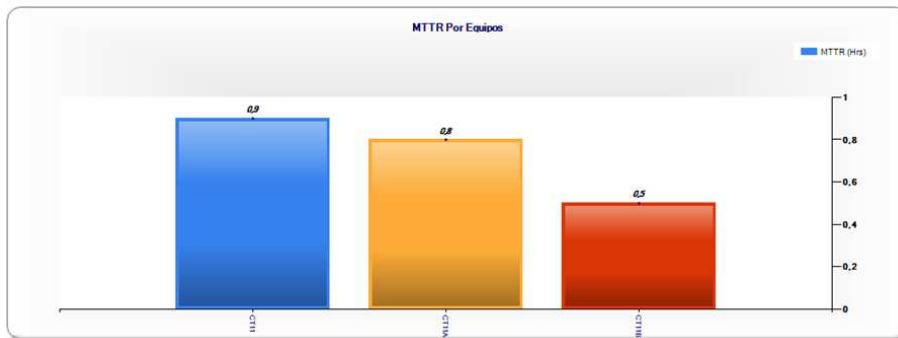


Ilustración 0-55: MTTR acumulado por equipos.

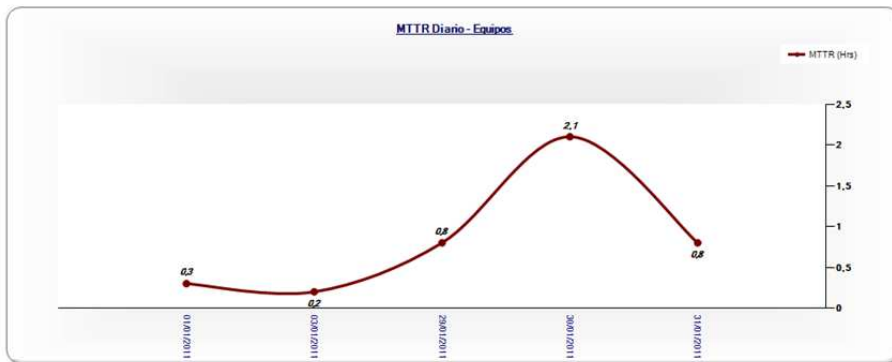


Ilustración 0-56: MTTR diario por equipos.

La **disponibilidad**, es una medida porcentual del tiempo disponible entregado por mantenimiento, para su uso por parte de operaciones. Para el proyecto, han sido consideradas dos tipos de disponibilidades: disponibilidad de

mantenimiento, que solo considera las detenciones planificadas y no planificadas por mantenimiento; disponibilidad física, que considera además, fallos operacionales.

$$Disp. Mant. = \frac{Tiempo\ cronológico - (Pérdida\ planificada + Averías\ de\ mantenimiento)}{Tiempo\ cronológico} \quad 12.1.1.8$$

$$Disp. Física = \frac{Tiempo\ cronológico - Tiempo\ Improductivo}{Tiempo\ cronológico} \quad 12.1.1.9$$

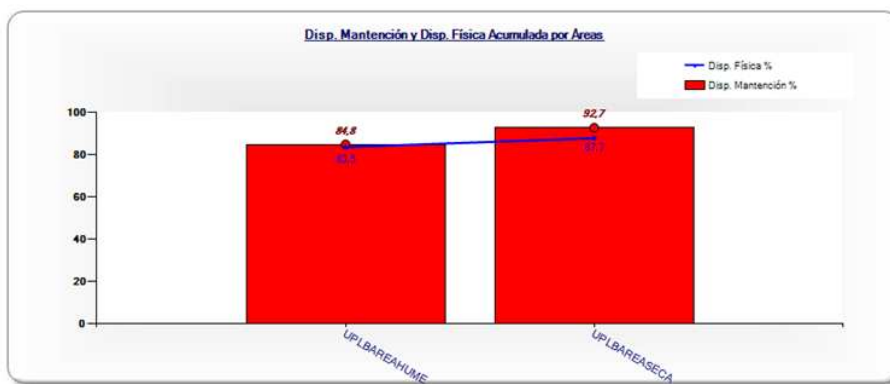


Ilustración 0-57: disponibilidad de mantenimiento y física acumulada por área

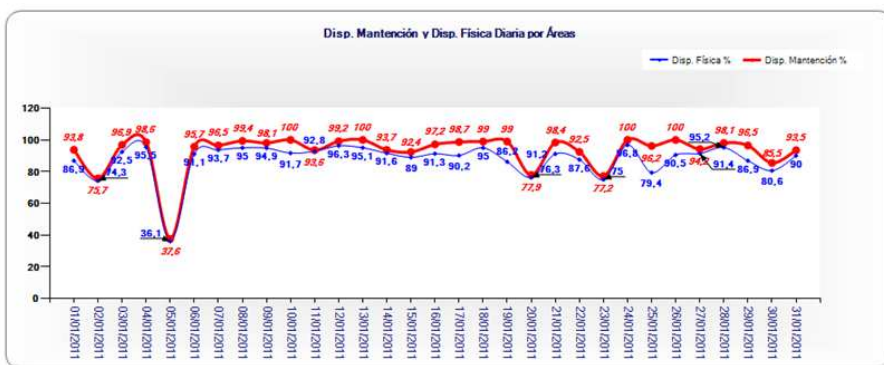


Ilustración 0-58: Disponibilidad de mantenimiento y física, diaria por área.

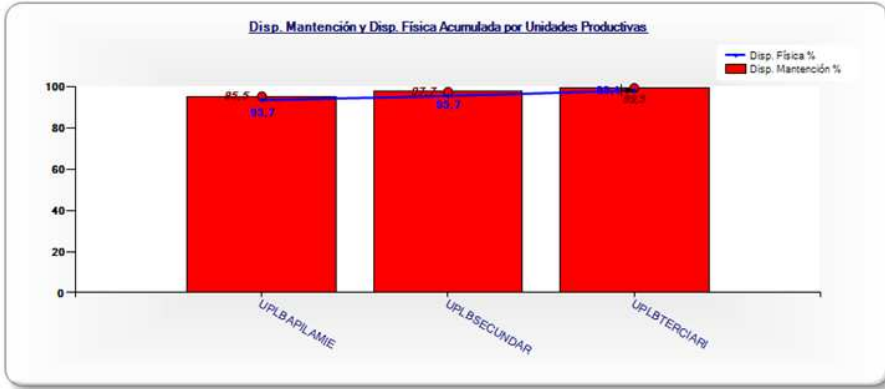


Ilustración 0-59: Disponibilidad de mantenimiento y física acumulada por unidad productiva.

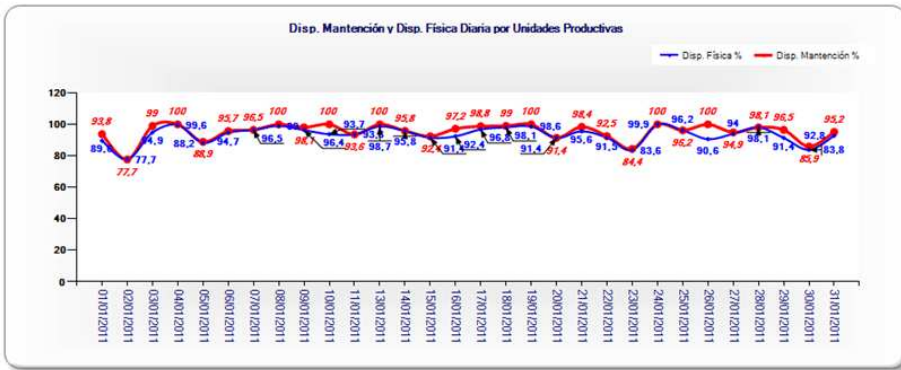


Ilustración 0-60: Disponibilidad de mantenimiento y física, diaria por unidades productivas.

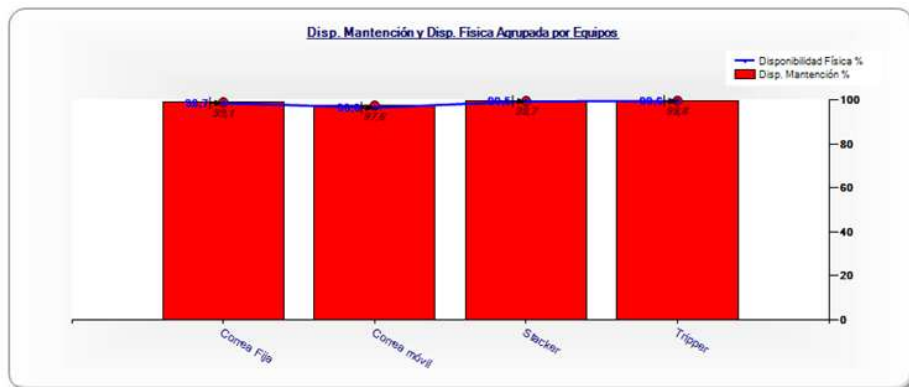


Ilustración 0-61: Disponibilidad de mantenimiento y física acumulada por equipos.

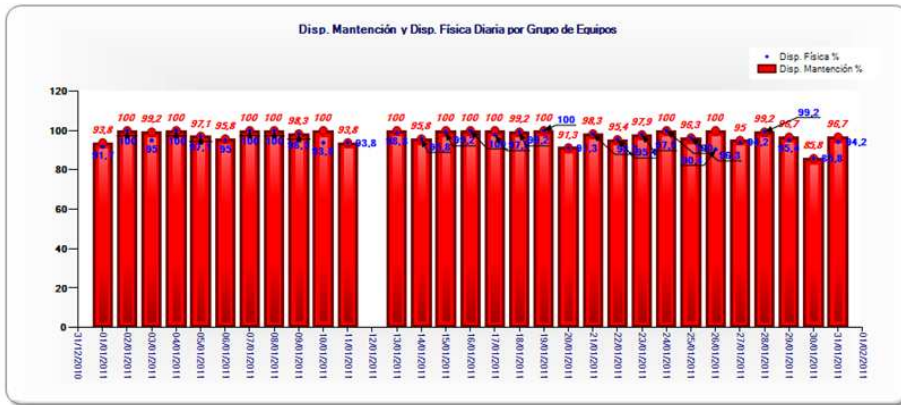


Ilustración 0-62: Disponibilidad de mantenimiento y física diaria, agrupada por equipos.

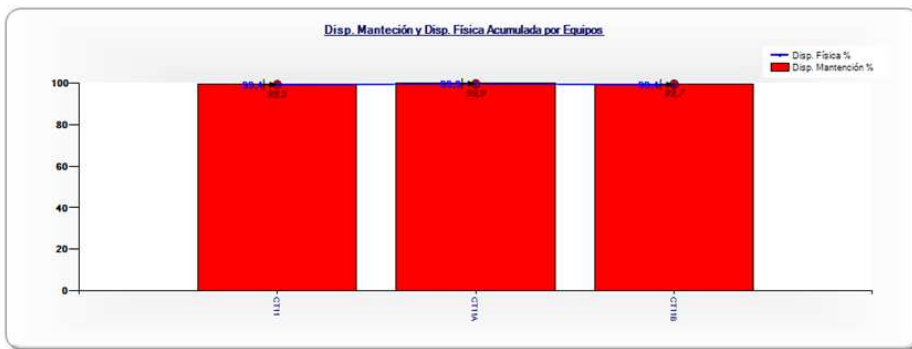


Ilustración 0-63: Disponibilidad de mantenimiento y física acumulada por equipos.

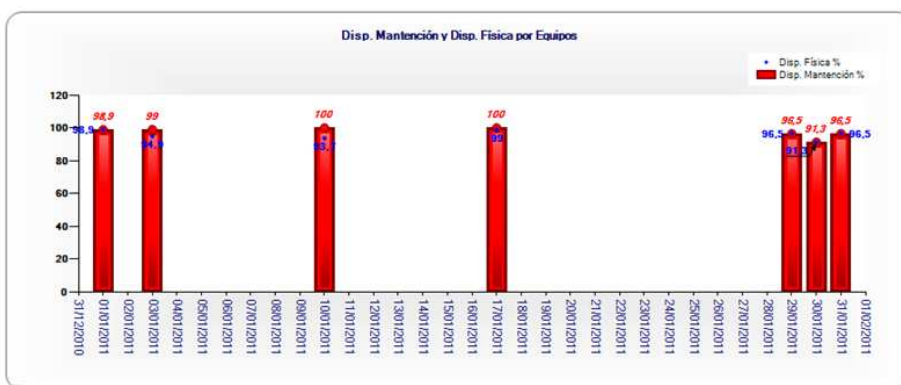


Ilustración 0-64: Disponibilidad de mantenimiento y física diaria por equipos.

Uso, es una medida porcentual del tiempo disponible que el equipo fué utilizado.

$$Uso = \frac{\text{Tiempo Cronológico} - (\text{tiempo improductivo} + \text{tiempo espera operacional} + \text{actividad operacional})}{\text{Tiempo Cronológico} - (\text{pérdida planificada} + \text{averías de mantenimiento})} \quad 12.1.1.10$$

Utilización, es una medida porcentual del tiempo calendario que el equipo fué utilizado.

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Tiempo Cronológico} - (\text{tiempo improductivo} + \text{tiempo espera operacional} + \text{actividad operacional})}{\text{Tiempo Cronológico}} \quad 12.1.1.11$$

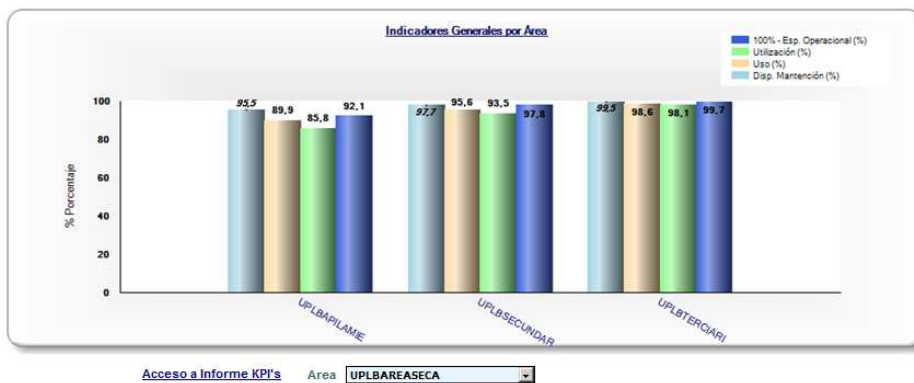


Ilustración 0-65: Disponibilidad de mantención, espera operacional, utilización y uso, acumulado por área.

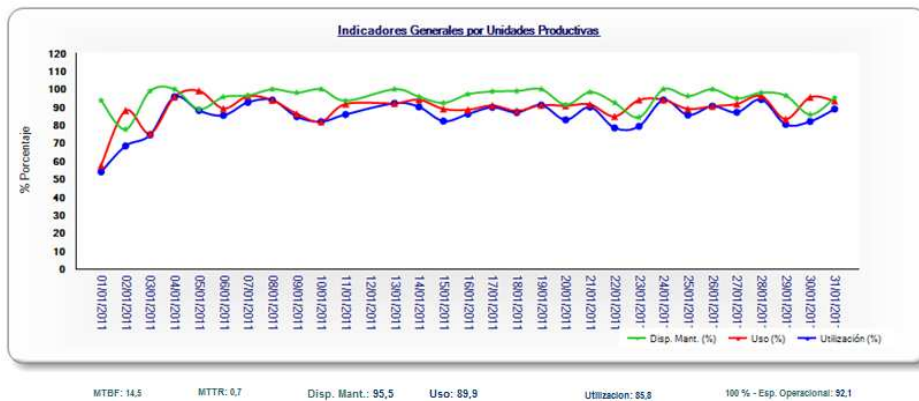


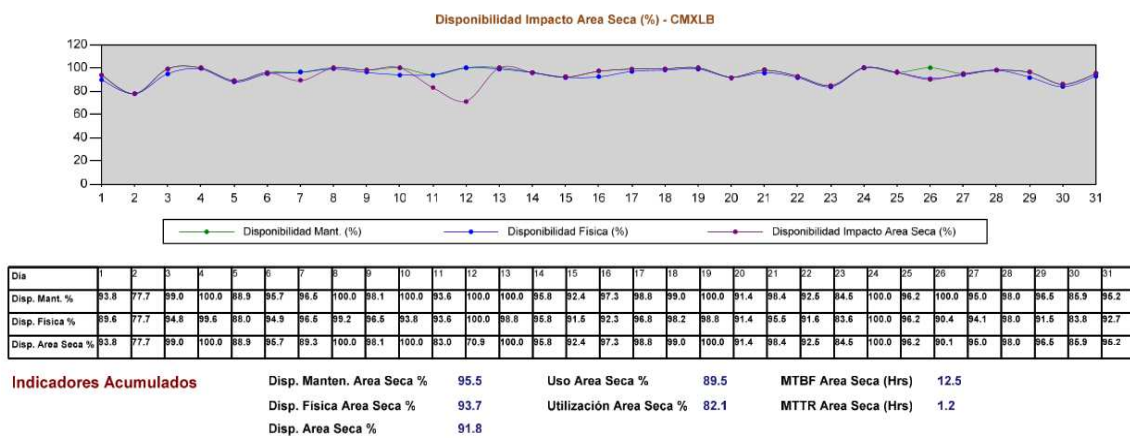
Ilustración 0-66: Disponibilidad de mantención, espera operacional, utilización y uso, diario por unidad productiva.

Por otro lado, ha sido diseñado un nuevo indicador denominado “Disponibilidad impacto aguas arriba área seca”, que tiene como objetivo principal

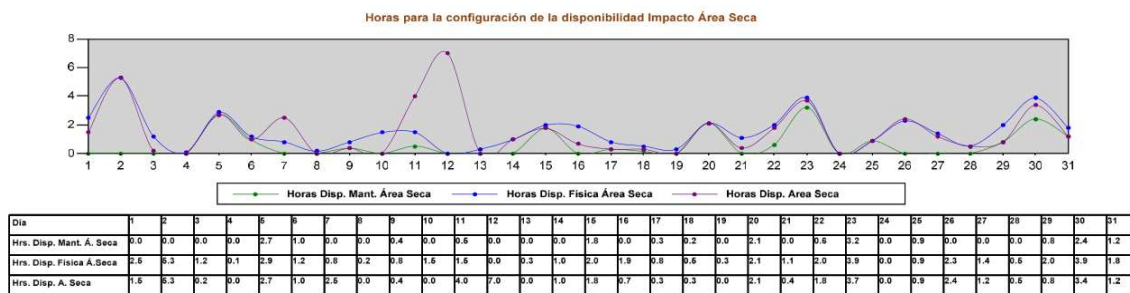
recopilar información que describe las detenciones de mantenimiento que provocan un efecto multiplicador. La medición de este indicador es en la unidad productiva de apilamiento. Para su cálculo, son consideradas las detenciones que provocan una espera prolongada del proceso y afectan la operación efectiva de unidades productivas (Detenciones aguas arriba).

$$Disp. \text{ \u00c1rea Seca} = \frac{\text{Tiempo cronol\u00f3gico} - (\text{Aver\u00edas de Mantenimiento} + \text{p\u00e9rdida planificada} + \text{Detenciones aguas arriba})}{\text{Tiempo cronol\u00f3gico}}$$

12.1.1.12



Ilustraci\u00f3n 0-67: Disponibilidad \u00c1rea seca y KPI's acumulados.



Ilustraci\u00f3n 0-68: Distribuci\u00f3n de tiempo para la configuraci\u00f3n de la disponibilidad \u00c1rea seca.

Por otro lado, si es necesario, el analista puede ejecutar an\u00e1lisis m\u00e1s compleja, solicitando la actividad **“Ejecutar an\u00e1lisis Weibull”**.

La distribuci\u00f3n Weibull, es una distribuci\u00f3n continua y de tres par\u00e1metros, que simula un amplio rango de distribuciones, principalmente, la normal,

exponencial y Log normal, que posibilitan la representación del ciclo de vida característico para el sistema en estudio, donde podemos obtener tres posibles resultados: el primero, determina que el activo se encuentra en el ciclo de vida infantil, Distribución Log normal, donde la tasa de fallos es alta pero disminuye dependiendo de la eficacia de las tácticas de mantenimiento aplicadas; el segundo, corresponde al ciclo de vida maduro, distribución exponencial, donde la tasa de fallos es baja y las detenciones solo dependen de la aleatoriedad en la ocurrencia de un evento; como etapa final, la distribución normal, que describe sistemas en etapa de envejecimiento, donde incrementa su tasa de fallos y los costos asociados al mantenimiento del sistema en estudio.

Para evaluar la confiabilidad de un sistema con la distribución Weibull es necesario considerar una gran cantidad de información histórica de detenciones por fallos. Esta información histórica, queda determinada por la esperanza de supervivencia. Para sistemas reparables, la esperanza se encuentra caracterizada por el tiempo medio entre fallas, como factor de confiabilidad, donde:

$$E(T) = MTTF = MTBF = \int_0^{\infty} \lambda t \exp(-\lambda t) dt$$

Luego, obtenemos:

$$E(T) = MTTF = MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad \mathbf{12.1.1.13}$$

Por lo tanto, el tiempo medio entre fallas, MTBF, es inversamente proporcional a la tasa de fallas, λ , y ambos, pueden ser utilizados en la función de confiabilidad, para evaluar el riesgo de seguir operando.

La esperanza de supervivencia, MTBF, hasta el momento ha sido considerada como una constante, por el contrario, para el análisis Weibull, es preferible que sea considerada como una variable continua dependiente del tiempo, es decir, MTBF(t).

Función de confiabilidad

$$R(t) = e^{\left[-\left(\frac{t-t_0}{\theta}\right)^\beta\right]} \quad \mathbf{12.1.1.14}$$

Donde:

t_0 , es el parámetro inicial de localización

θ , es el parámetro de escala o vida característica.

β , es el parámetro de forma.

La distribución de Weibull, se representa normalmente por la función de distribución acumulativa de fallos.

$$R(t) = \int_s^\infty f(s)ds = e^{\left[-\left(\frac{t-t_0}{\theta}\right)^\beta\right]}$$

Y

$$R(t) = 1 - F(t)$$

Entonces: $F(t) = 1 - e^{\left[-\left(\frac{t-t_0}{\theta}\right)^\beta\right]}$ **12.1.1.15**, que puede ser interpretada como la probabilidad de falla, y su relación con la función de confiabilidad, R (t), es complementaria.

Función de densidad de probabilidad

Determina la distribución de densidad que se ajusta al proceso, y permite describir su evolución en costos y la disponibilidad.

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t-t_0}{\theta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\theta}\right)^\beta\right], t \geq t_0 \quad \mathbf{12.1.1.16}$$

Por otra parte,

La tasa de fallos para la distribución es:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t-t_0}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad \mathbf{12.1.1.17}$$

Determinación de los parámetros por el método de los mínimos cuadrados

Existen 5 métodos para calcular los parámetros de la distribución de Weibull:

1. Mínimos cuadrados.
2. Gráfico de la función tasa de falla.
3. Máxima similitud.
4. Estimación de momentos.
5. Estimadores lineales.

El método de los mínimos cuadrados es el más utilizado por su simplicidad, permite calcular los parámetros de forma y escala, mediante la transformación doble logarítmica de la función de distribución acumulativa. El cálculo del parámetro de localización es más complejo, empleándose para ello rutinas de programación lineal, utilizando Solver de Excel.

La transformación doble logarítmica permite transformar la función de distribución acumulativa en una ecuación lineal de regresión.

$$\text{Así: } R(t) = e^{\left[-\left(\frac{t-t_0}{\theta}\right)^\beta\right]}$$

De esta manera: $F(t) = 1 - R(t)$,

Entonces

$$e^{\left[-\left(\frac{t-t_0}{\theta}\right)^\beta\right]} = 1 - F(t)$$

$$\Rightarrow \frac{1}{e^{\left[\left(\frac{t-t_0}{\theta}\right)^\beta\right]}} = 1 - F(t)$$

$$\Rightarrow \frac{1}{1 - F(t)} = e^{\left[\left(\frac{t-t_0}{\theta}\right)^\beta\right]}$$

$$\Rightarrow \ln\left(\frac{1}{1 - F(t)}\right) = \ln e^{\left[\left(\frac{t-t_0}{\theta}\right)^\beta\right]}$$

$$\Rightarrow \ln\left(\frac{1}{1 - F(t)}\right) = \left[\left(\frac{t - t_0}{\theta}\right)^\beta\right]$$

$$\Rightarrow \ln\left[\ln\left(\frac{1}{1 - F(t)}\right)\right] = \ln\left[\left(\frac{t - t_0}{\theta}\right)^\beta\right]$$

$\Rightarrow \ln\left[\ln\left(\frac{1}{1 - F(t)}\right)\right] = \beta \ln(t - t_0) - \beta \ln \theta$, que representa la ecuación lineal de la forma $Y = \beta x - b$.

Es una recta de regresión, donde:

$$Y = \ln\left[\ln\left(\frac{1}{1 - F(t)}\right)\right]; X = \ln(t - t_0); b = \beta \ln \theta \quad \mathbf{12.1.1.18}$$

Concluimos que el parámetro de forma, β , es la pendiente de la recta de regresión; el parámetro de escala, θ , está en la función del intercepto, b , de la recta de regresión y del parámetro de escala, por lo tanto:

$$b = -\beta \ln \theta$$

$$\Rightarrow -\frac{b}{\beta} = \ln \theta$$

Por lo tanto, $\theta = e^{-\frac{b}{\beta}} \quad \mathbf{12.1.1.19}$

Además, para poder trazar la recta de regresión, se debe calcular un estimador para la función de distribución acumulativa de fallos, $F(t)$. Aquel, es un estimador no paramétrico basado en el orden de las fallas.

En resumen, el proceso es el siguiente:

1. Listar componente fallado estableciendo un orden por período de acuerdo al número de horas de operación.
2. Determinar la vida útil del activo hasta que se produce el evento, falla.
3. Determinar el número de eventos ocurridos, intervenciones, antes de la falla.
4. Para cada falla, se debe determinar el rango medio J_i .

De esta manera, el rango medio es:

$$J_i = J_{i-1} + \frac{N+1-J_{i-1}}{1+(N+S_i)} \quad \mathbf{12.1.1.20}$$

$$\text{Donde } J_0 = 0$$

S_i , es el número de eventos antes de la falla y N es el total de observaciones.

5. Luego obtenemos el rango de la mediana, a partir de nuestro cálculo anterior, debido a que considera el rango medio del histórico de detenciones.

$$r = \frac{J_i - 0,3}{N + 0,4} \quad \mathbf{12.1.1.21}$$

Donde N es el número de observaciones e i es el número de la observación actual

También podemos utilizar la siguiente expresión para el cálculo de rango de la mediana, ya que es más exacta.

$$W_{\alpha}(X_i) = \frac{\frac{i}{n-i+1}}{F_{1-\alpha, 2(n-i+1), 2i+\frac{i}{n-i+1}}} \quad 12.1.1.22$$

```
Public Function RangoMediana(alfa As Single, n As Long, i As Long) As Double
'*****
'Esta función calcula el rango de mediana en función de la distribución F. *
'*alfa representa el nivel de significancia con el que se calcula la dist. F.*
'*n es el número de puntos de la muestra. *
'*i es el orden de falla. *
'*****
Dim a As Double, f As Double
On Error GoTo ManejarError
a = i / (n - i + 1)
f = Application.WorksheetFunction.FInv(alfa, 2 * (n - i + 1), 2 * i)
RangoMediana = a / (f + a)
Salir:
Exit Function
ManejarError:
Select Case Err.Number
Case 1004
'MsgBox "Los argumentos (n) o (i) no pueden ser cero.", vbCritical + vbOKOnly
Case Else
'MsgBox "Se ha generado el error " & Err.Number & _
' Err.Description , vbCritical + vbOKOnly
End Select
Resume Salir
End Function
```

Ilustración 0-69: representación en Visual Basic, Microsoft Excel.

Con estos datos, rango de la media, rango de la mediana, esperanza de supervivencia, detenciones programadas, no programadas, de mantenimiento y operacionales, estaremos en condiciones de poder obtener la recta de regresión, estimar su pendiente y obtener el intercepto:

Para esto utilizamos el método de los mínimos cuadrados:

$$\beta = \frac{\sum x \sum y - n \sum xy}{(\sum x)^2 - n \sum x^2} = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum (x - \bar{x})^2} \quad 12.1.1.22$$

$$b = \frac{\sum y - \beta \sum x}{n} = \bar{y} - \beta \bar{x} \quad 12.1.1.23$$

Con estos resultados obtenemos nuestro parámetro de escala en función de la recta de regresión:

$$\theta = e^{\frac{b}{\beta}}$$

De esta manera podremos estimar la tasa de falla futura, como información de entrada para el proceso de toma de decisiones asociadas a la transferencia de recursos y para obtener una estimación de las pérdidas futuras.

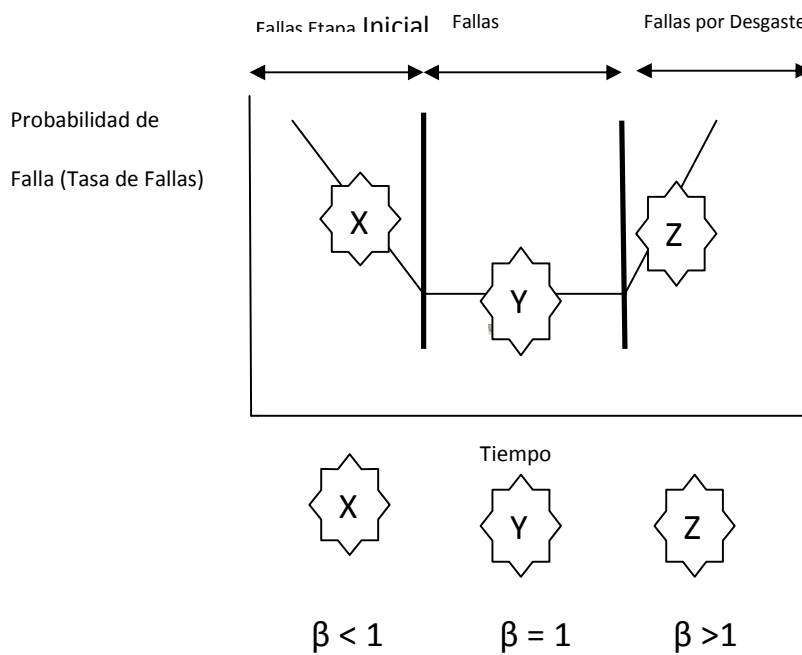


Ilustración 0-70: estimación de fallos futuros.

Luego, para conocer la bondad de la recta de regresión calculada a partir de:

Variable Dependiente: $Y = \ln(\ln(\frac{1}{1-F(t)}))$

Variable Independiente: $X = \ln(t - t_0)$

Utilizamos el coeficiente de correlación lineal, que se define como el cociente entre la covarianza y el producto de la desviación estándar de la variable dependiente y la variable independiente.

$$r = \frac{Cov(x,y)}{\sqrt{\sigma_x^2 \sigma_y^2}} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \quad \mathbf{12.1.1.24}$$

Sus valores están comprendidos entre $-1 \leq r \leq 1$

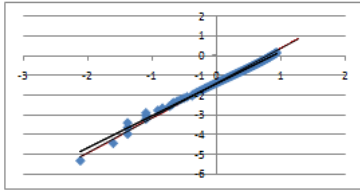
Si, el coeficiente de correlación, r , toma valores cercanos a -1, esto indica que la correlación es fuerte e inversa; valores cercanos a 1, indica que la correlación es fuerte y directa; valores cercanos a 0, indica que la correlación es débil; si los valores son iguales a -1 o a 1, entonces los puntos de la nube están sobre la recta creciente o decreciente.

Además, tenemos el coeficiente de determinación, r^2 , que es el cuadrado del coeficiente de correlación e indica el porcentaje de pares ordenados correlacionados linealmente.

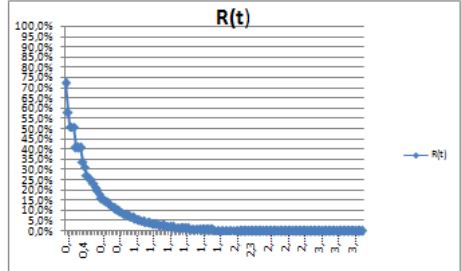
Por otro lado, el parámetro de localización, generalmente, es asumido con un valor igual a cero para el cálculo de la distribución de probabilidades de confiabilidad o de fallos. Esta elección, puede conseguir resultados poco eficientes, esto determina su optimización. Esta tarea, calcular el parámetro de localización, puede ser efectuado por el analista de forma manual o con la ayuda de software.

i	fallos(t)	RM(F(t))	X=(ln(t-e))	Y(ln(ln(1-F(t-e))))	g=mx-b	R(t)	F(t)
1	0,12	0,004889424	-2,120283536	-5,322339978	-5,0960852	72,4%	27,6%
2	0,2	0,011791158	-1,809437912	-4,434480607	-4,1956725	58,3%	41,7%
3	0,25	0,018788784	-1,388294381	-3,96513388	-3,8023459	51,0%	49,0%
4	0,25	0,025798482	-1,388294381	-3,644399555	-3,8023459	51,0%	49,0%
5	0,25	0,032816136	-1,388294381	-3,400198	-3,8023459	51,0%	49,0%
6	0,333	0,039838629	-1,099612789	-3,202711395	-3,2970233	40,7%	59,3%
7	0,333	0,046858694	-1,099612789	-3,036718626	-3,2970233	40,7%	59,3%
8	0,333	0,053881717	-1,099612789	-2,893398032	-3,2970233	40,7%	59,3%
9	0,4	0,060905389	-0,916290732	-2,767178964	-2,9738886	34,0%	66,0%
10	0,43	0,067929453	-0,84397007	-2,654318367	-2,8464117	31,4%	68,6%
11	0,48	0,074953849	-0,733969175	-2,55217979	-2,6525174	27,4%	72,6%
12	0,5	0,081978478	-0,693147181	-2,458836149	-2,580562	26,0%	74,0%
13	0,51	0,08900328	-0,673344553	-2,372836086	-2,5456567	25,3%	74,7%
14	0,54	0,096028222	-0,616189139	-2,293059228	-2,4443057	23,3%	76,7%
15	0,57	0,103053274	-0,562118918	-2,218622603	-2,3496035	21,5%	78,5%
16	0,6	0,110078414	-0,510825824	-2,148817962	-2,2591908	19,8%	80,2%
17	0,63	0,117103827	-0,46203546	-2,083088571	-2,1731902	18,3%	81,7%
18	0,68	0,124128899	-0,385662481	-2,020898374	-2,0385705	16,0%	84,0%
19	0,69	0,131154223	-0,371063681	-1,961909978	-2,0128378	15,6%	84,4%
20	0,713	0,138179589	-0,338273859	-1,905768137	-1,9550404	14,6%	85,4%
21	0,736	0,145204991	-0,30852516	-1,852187443	-1,8990782	13,7%	86,3%
22	0,759	0,152230426	-0,275753502	-1,800922875	-1,8448382	12,9%	87,1%
23	0,782	0,159255887	-0,245900538	-1,751762535	-1,7922175	12,1%	87,9%
24	0,805	0,166281372	-0,216913002	-1,704521911	-1,7411223	11,4%	88,6%
25	0,828	0,173306878	-0,188742125	-1,659039339	-1,6914666	10,7%	89,3%
26	0,851	0,180332403	-0,16134315	-1,615172373	-1,6431714	10,1%	89,9%
27	0,874	0,187357943	-0,134674903	-1,57279484	-1,5961643	9,5%	90,5%
28	0,897	0,194383498	-0,108899417	-1,531794446	-1,5503783	8,9%	91,1%
29	0,92	0,201409008	-0,083381609	-1,49207079	-1,5057516	8,4%	91,6%
30	0,943	0,208434648	-0,058888996	-1,453333762	-1,4622269	7,9%	92,1%
31	0,966	0,215460238	-0,034591445	-1,416102136	-1,4197511	7,4%	92,6%
32	0,989	0,222485838	-0,011080947	-1,379702454	-1,3782748	7,0%	93,0%
33	1,012	0,229511447	0,011928571	-1,344268047	-1,337752	6,5%	93,5%
34	1,035	0,236537083	0,034401427	-1,30973822	-1,29814	6,1%	93,9%
35	1,058	0,243562688	0,058380333	-1,278057547	-1,2593986	5,8%	94,2%
36	1,081	0,250588316	0,077898539	-1,24317527	-1,2214304	5,4%	94,6%
37	1,104	0,257613952	0,098939948	-1,211044781	-1,1843804	5,1%	94,9%
38	1,127	0,264639594	0,119559235	-1,179623174	-1,1480366	4,8%	95,2%
39	1,15	0,27166524	0,139781942	-1,148870852	-1,112425	4,5%	95,5%
40	1,173	0,278690889	0,15958457	-1,118751197	-1,0775187	4,2%	95,8%
41	1,196	0,285716544	0,178962656	-1,089230244	-1,0432922	4,0%	96,0%
42	1,219	0,292742202	0,19803095	-1,060278458	-1,0097167	3,7%	96,3%
43	1,242	0,299767895	0,216722984	-1,031880471	-0,9767688	3,5%	96,5%
44	1,265	0,30679353	0,235072122	-1,0039549	-0,9444254	3,3%	96,7%
45	1,288	0,313819199	0,253090628	-0,976534151	-0,9126649	3,1%	96,9%
46	1,311	0,32084487	0,270790205	-0,949574281	-0,8814665	2,9%	97,1%
47	1,334	0,327870544	0,288181947	-0,923052758	-0,8508108	2,7%	97,3%
48	1,357	0,33489622	0,305278381	-0,896948527	-0,8206791	2,6%	97,4%
49	1,38	0,341921899	0,322083499	-0,8712417	-0,7910538	2,4%	97,6%
50	1,403	0,34894758	0,338812801	-0,845913546	-0,7619183	2,3%	97,7%
51	1,426	0,355973262	0,354873322	-0,820946382	-0,7332565	2,1%	97,9%
52	1,449	0,362998946	0,370873663	-0,796323485	-0,7050533	2,0%	98,0%

Parámetros	
Forma	1,783
Intercepto	-1,359
Escala	2,162
r2	0,981
Localizacion	0,000
r	0,991

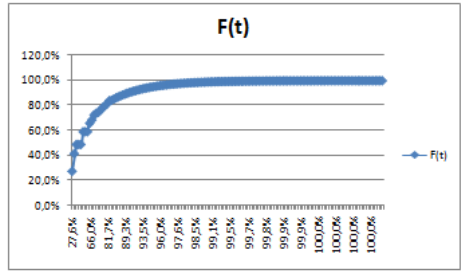


r indica que hay una excelente relación lineal de los datos ya que su valor está muy próximo a uno
r2 indica que los datos se encuentran relacionados linealmente
EN CONCLUSIÓN LOS VALORES INDICAN QUE LA MUESTRA SE CONPORTA A LA FUNCIÓN DE DENSIDAD DE WEIBULL, ADEMÁS, EL VALOR 1,844 DEL FACTOR DE FORMA INDICA QUE LA DISTRIBUCIÓN ES NORMAL, POR LO TANTO, EL ACTIVO ESTÁ EN UNA ETAPA MADURA, POR LO TANTO SE DEBE REJUVENECER EL ACTIVO.



Función de confiabilidad weibull

$$R(t) = \int_0^{\infty} f(s) ds = e^{-\left(\frac{t-\sigma}{\theta}\right)^{\alpha}}$$



Función de distribución acumulativa

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\sigma}{\theta}\right)^{\alpha}}$$

Ilustración 0-71: Cálculo distribución Weibull de tres parámetros.

Durante el proceso de implementación de este tipo de proyectos, es muy compleja la implementación de esta analítica, ya que las compañías mineras, durante el proceso de gestión del cambio, solo asumen una distribución exponencial.

A continuación, estudiamos en detalle la probabilidad de supervivencia de unidades productivas y equipos de características similares, utilizando una distribución exponencial, $R(t) = e^{-\frac{t}{MTBF}}$, donde MTBF es el tiempo medio entre fallos y t es el instante en el cual ocurre una detención.

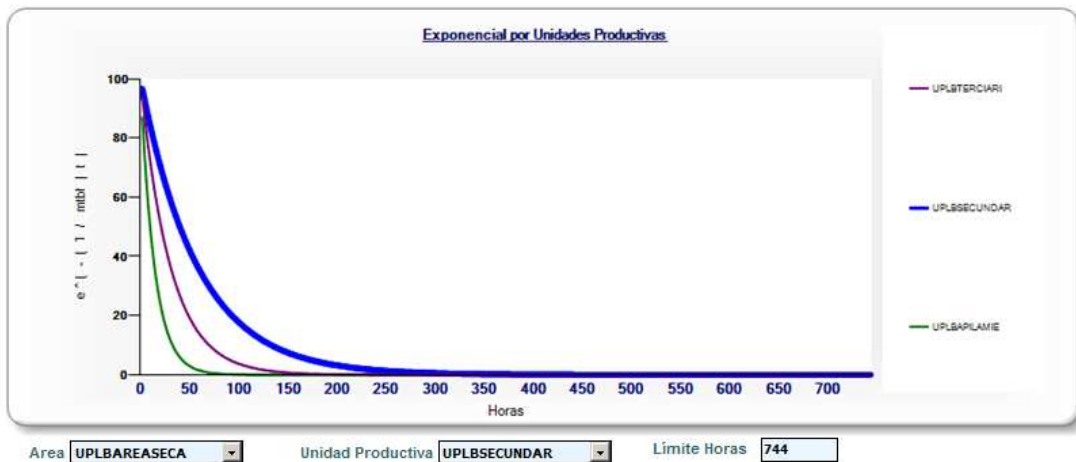


Ilustración 0-72: Distribución exponencial por unidades productivas.

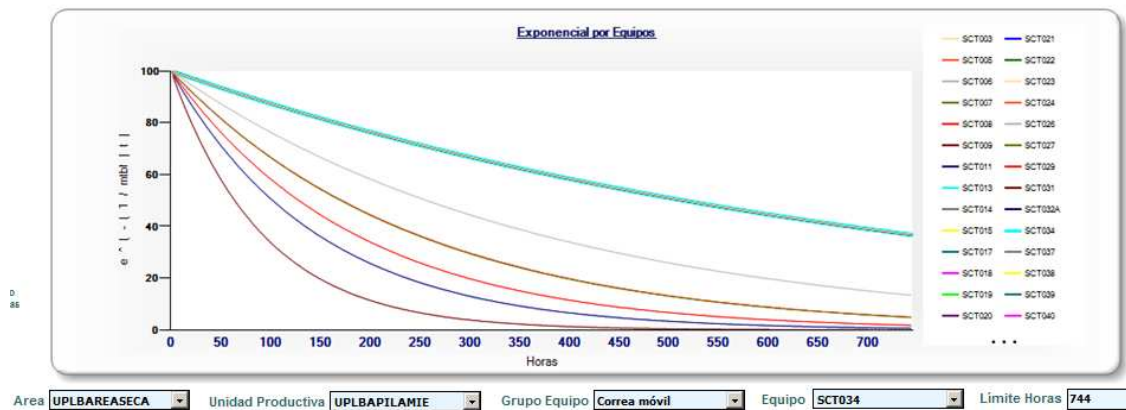


Ilustración 0-73: Distribución exponencial, correas móviles de apilamiento.

Sin duda, la distribución exponencial explica el comportamiento de los equipos e indica su probabilidad de supervivencia, lo que favorece la planificación de tácticas y estrategias de mantenimiento para la gestión de activos, planificación de paradas de planta mayores, utilización de recursos humanos especialistas, etc.

13.4 Análisis RCA

El análisis de pérdidas es una estrategia que permite derivar el análisis de detenciones que causan grandes pérdidas en todo ámbito, a un equipo multidisciplinario, capaz de resolver la ocurrencia de un evento y de difundir el aprendizaje luego de analizar y descubrir la solución a un fallo, con el objeto de generar un círculo virtuoso de buenas prácticas.

A continuación se describe con más detalle el proceso de análisis RCA.

Registrar Problema de Negocio

El análisis de causa raíz comienza con la definición del problema seleccionado en el análisis de pérdidas descrito anteriormente. Esta definición, tiene como objetivo principal cuantificar en términos de tiempo, costo y calidad,

las pérdidas provocadas por el modo de falla identificado como agudo, crónico o ambos, para ser difundida a todos los involucrados en el proceso.

Atollo Correa 210CV003
El día Jueves 29 de Marzo 2007, se produce un atollo aprox a las 13:45 hrs en el traspaso de la correa 210CV001 a la correa 210CV003, este atollo produjo una detención de planta n°2 por 2,33 hrs, estas horas de detención a un costo de detención de planta 2 de US\$ 30583,35 por hora , significa un impacto de US\$ 71259. Posteriormente del día Domingo 1 de Abril 2007 a las 20:10 hrs, se produce otro atollo en el mismo sector, lo cual en esta oportunidad produjo una detención de planta n°2 de 2,75hrs, considerando el mismo costo de detención de planta n°2, significó un nuevo impacto de US\$ 84104. Por último el día Lunes 2 abril 2007 a las 23:35 hrs, se produce nuevamente un atollo en el mismo sector, y en esta oportunidad produjo una detención de planta n°2 de 2,5 hrs, considerando el mismo costo de detención de planta n°2, significó un impacto de US\$ 76458. Por lo tanto el impacto que significó los 3 atollos mencionados asciende a US\$.231821

Ilustración 0-74: Registrar problema de negocio.

Una vez que se ha identificado el problema, es preciso identificar el equipo de trabajo, los objetivos del estudio y la planificación de hitos, para continuar con el estudio de la falla. Este proceso debe ser difundido a todo el equipo involucrado.

EQUIPO	LIDER PROC: Super Intendente Área DUÑO PROC: Jefe Área FACILITADOR: Ingeniero de Confiabilidad EQUIPO: Ing. Mantenimiento, Técnico Sistema Control, Instructor Mina		
PROBLEMA	Atollo reiterados en el traspaso de la correa 210CV001 a la correa 210CV003.	OBJETIVOS	Eliminar la posibilidad de ocurrencia del evento y encontrar las causas raíces que lo producen para determinar las medidas de control correspondiente. Métrica: Horas de detención por atollo.
DEFINICION	La solución del problema se determinará con análisis de causa raíz del evento ocurrido y se puede hacer extensible las soluciones al traspaso de la correa 210CV002.	HITOS	1.- Revisar información e informe del evento 2.- Realizar RCA según formato 3.- Generar planes de acción para eliminar ocurrencia del evento.

Ilustración 0-75: identificar variables relevantes.

A partir de la definición formal del problema, se identifica su raíz como foco de estudio. Para su análisis, es considerado el diagrama de causa efecto, el cual, permite descubrir por qué ocurren los fallos y a partir de esta premisa, el equipo analista de la falla configura planes que serán priorizados para su aplicación y mejora continua del proceso.

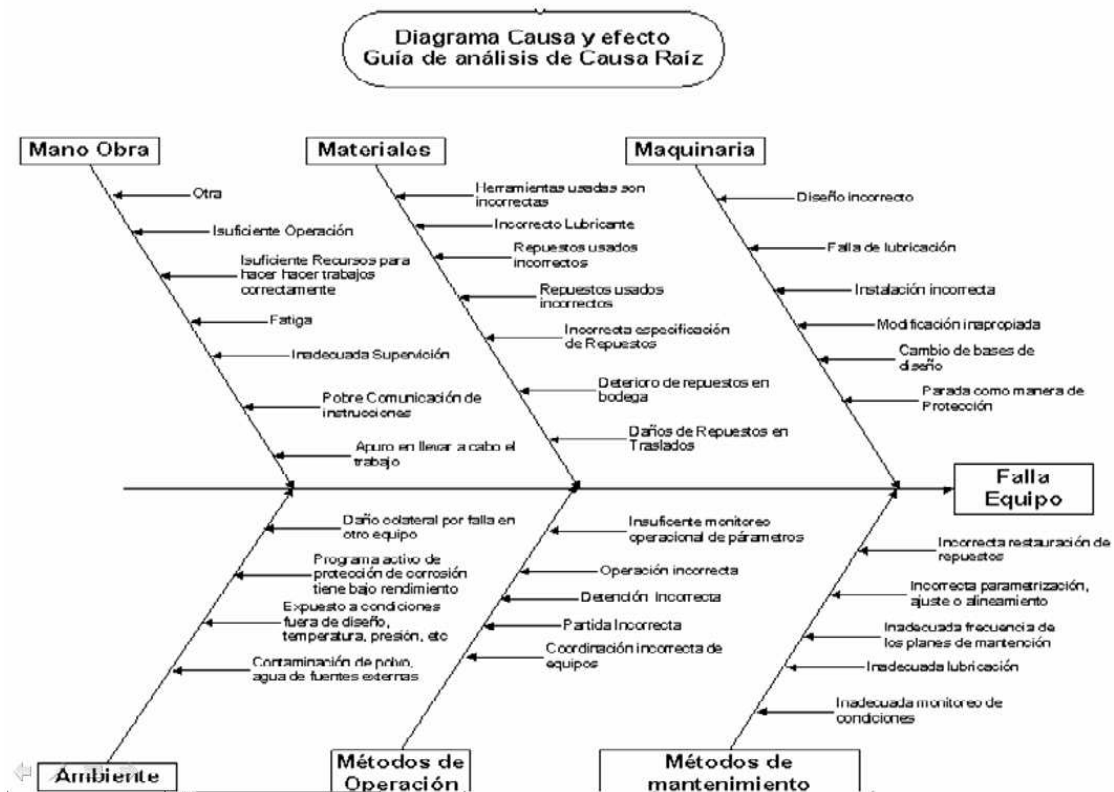


Ilustración 0-76: diagrama de causa efecto.

Generar matriz de priorización de oportunidades.

El equipo analista de la falla, a partir del diagrama de causa y efecto determina los riesgos y una serie de planes asociados para la solución definitiva. Para esto, genera una tabla de Brainstorming que consta principalmente de tres campos: riesgo, ponderación y planes.

Tabla de Brainstorming		
Riesgo	Ponderación	Planes
Riesgo 1		
Riesgo 2		
.....		
Riesgo n		

Tabla 10: tabla de Brainstorming

El riesgo y su ponderación dependerá directamente de conocimiento experto por parte del equipo especialista, que decide en base a tres grandes dimensiones:

1. Probabilidad de ocurrencia.
2. Probabilidad de detección antes que sea un problema
3. Magnitud del efecto en el negocio

Probabilidad de Ocurrencia		Probabilidad de detección antes que sea un problema		Magnitud del efecto en el negocio	
Remota	0,000001	Remota	0,50%	Menor (Efecto no relevante)	1
Baja	0,00005	Baja	5%	Baja (Efecto leve)	2
Baja a Media	0,00025	Baja a Media	20%	Moderada (Cliente algo insatisfecho)	5
Media (Falla a veces)	0,001	Media (Detección posible)	40%	Alta (Alto grado de Insatisfacción)	7
Media a Alta	0,0025	Media a Alta	60%	Muy Alta (Fracaso Proyecto)	9
Alta (Fallas Repetidas)	0,025	Alta (Buena Chance de detección)	80%		
Muy Alta (Altamente Probable)	0,5	Muy Alta (Detección casi segura)	95%		

Tabla 13: ponderación del riesgo

Cada uno de los planes propuestos por el equipo y el facilitador, es evaluado con la tabla de priorización de oportunidades.

$$\text{Prioridad} = \text{PO} \times (1 - \text{PD}) \times \text{ME} \times 100 \quad \text{12.1.2.1}$$

Donde

PO = probabilidad de ocurrencia

PD = Probabilidad de detección antes que sean un problema

ME = Magnitud del efecto en el negocio

Este proceso genera un ranking en la tabla Brainstorming, que define donde serán dirigidos los esfuerzos para la eliminación de riesgos.

Registrar Planes

Una vez definidos los planes, riesgos y su priorización a partir de criterio experto, el equipo especialista procede a definir responsabilidades y plazos para cada uno de los planes analizados.

PROBLEMA : El presente Plan de Acción tiene como objetivo incorporar medidas de control hoy inexistentes que puedan aportar a anticipar eventos antes que estos se produzcan.						
Green Belt :						
Métrica Primaria : Hrs. De detención						
Causas Básicas : Cumplimiento de Pautas de Mantenión Preventivas deficientes						
Causas Contribuyentes : Pautas Incompatibles, Trabajos mal Programado, Mano de Obra Insuficiente						
Plan de Implementación						
Soluciones Propuestas				Plan de Control		
Qué	Quién	Cuando	Cómo	Fecha Control	Verificación	Firma
Generación de Plan de Mantenimiento Predictivo para Puentes Grúas de EW	Ingeniero Mantenimiento	may-05	VER EJEMPLO PLAN DE ACCIÓN	02-nov-10		
Revisión Pautas de Mantención Puentes Grúas de EW	Super Intendente		Referirse al Plan de Acción-2	02-nov-10		
Confección e Instalación de Plataforma para Mantención Prev en Ptes. Grúas EW	Super Intendente		Referirse al Plan de Acción-3	02-nov-10		
Revisar Planes de Mantenión Preventiva Puentes Grúas de EW	Jefe Eléctricos		Referirse al Plan de Acción-4	02-nov-10		
Generar sistema para Control de Trabajos Ejecutados	Super Intendentes		Referirse al Plan de Acción-5	02-nov-10		
Líder de Proyecto o Aplicación		Dueño de Proceso			Belt	

Ilustración 0-77: definición de planes.

13.5 Táctica predictiva

La táctica predictiva, Ilustración 0-20, es utilizada para fallos tratados con técnicas que permiten predecir su ocurrencia. Para el proyecto en estudio nos enfocaremos en dos equipos críticos que provocan grandes pérdidas de producción y generan altos costos de mantenimiento, estos equipos son Chancadoras y correas transportadoras.

Obtenemos:

$Faa_i, \sum_{i=0}^n Faa_i$, frecuencia absoluta de avisos de trabajos asociados a códigos de fallo, en estado abierto.

$Fac_i, \sum_{i=0}^n Fac_i$, frecuencia absoluta de avisos de trabajos asociados a códigos de fallos, en estado cerrado.

$Fot_i, \sum_{i=0}^n Fot_i$, frecuencia absoluta de órdenes de trabajo cerradas asignadas a un aviso de trabajo.

Luego, evaluamos los tonelajes procesados por equipos industriales, dado a que indica si el activo ha cumplido con la meta de producción histórica, o bien, puede mostrar que un activo está operando de forma irregular, esto trae como consecuencia una posible detención para medición por desgaste y el posterior reemplazo de repuestos.

Para un análisis de corto plazo debemos obtener lo siguiente,

$$\text{Media de } \bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(\bar{X} - X_i)^2}{> N}}$$

Luego calculamos los límites de control, para este caso se asume una distribución normal de la muestra, con tres sigmas.

$$\text{Lím. Superior} = \bar{X} + 3,09 \sigma$$

$$\text{Lím. Inferior} = \bar{X} - 3,09 \sigma$$

De esta manera, el sistema construye un instrumento de apoyo a la operación con el objeto de descubrir posibles síntomas que provocan fallos.

Se debe contrastar el resultado con información adicional (tiempo de operación y mantenimiento).

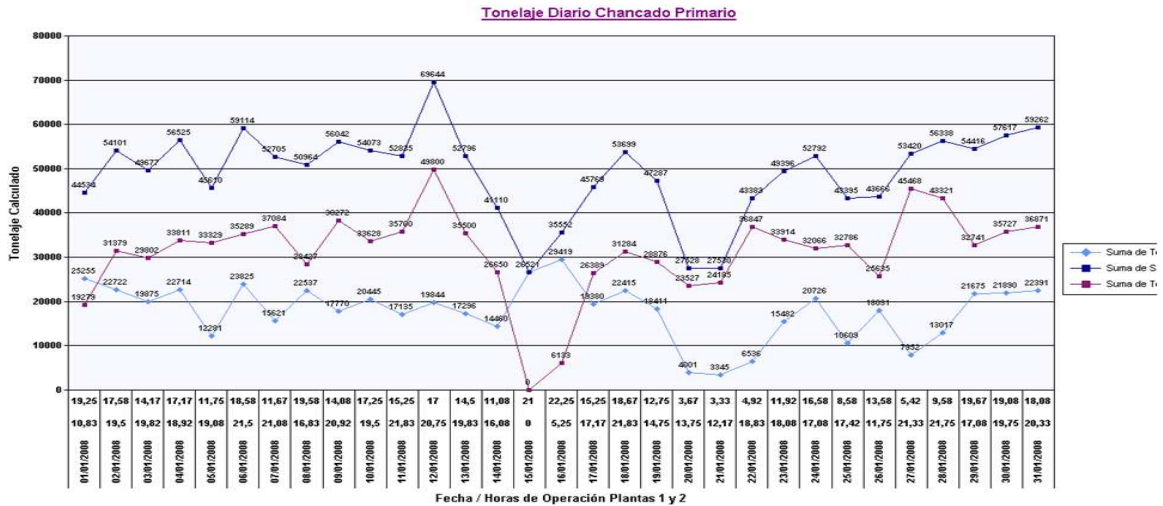


Ilustración 0-78: tonelaje procesado por equipos.

El esquema anterior debe entregar información de tonelaje procesado acumulado, que comparado con el tonelaje real procesado, sugiere un instante para inspeccionar sin detener equipamiento Industrial. Además, provee información adicional para saber si se están cumpliendo las metas de producción, por otro lado, esta información indica a operaciones si el equipo es sometido a una exigencia mayor, que involucra una pérdida de confiabilidad en el corto plazo.

El objetivo es mantener los niveles de flujo dentro de los límites aceptables definidos en el perfil de catálogo, para una correcta mantención.

Además, para elaborar el análisis predictivo de fallas, es necesario obtener información histórica adicional de reemplazo de repuestos (histórico de cortes cintas o fecha de cambio en mantos y cóncavos), que asegure una buena decisión para la detención de la planta y cambio de la nueva pieza.

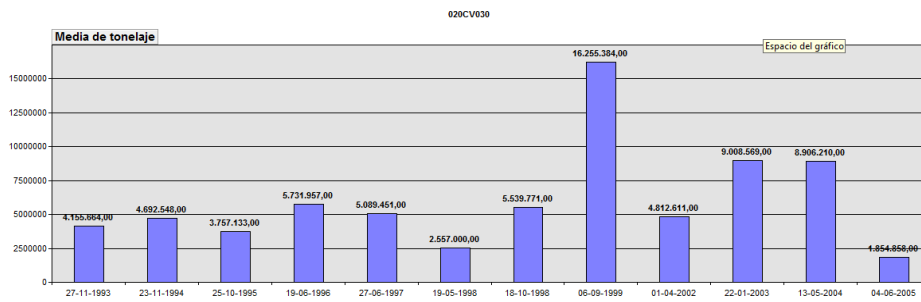


Ilustración 0-79: Tonelaje procesado hasta el corte de cinta.

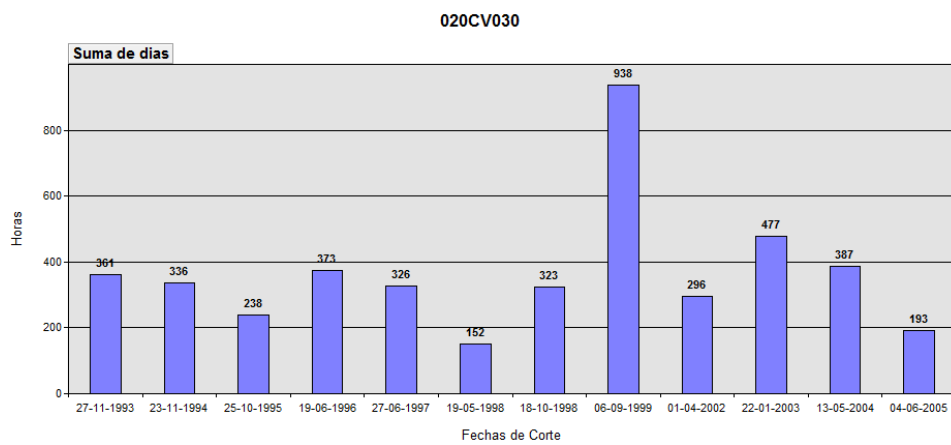


Ilustración 0-80: Fecha de corte y duración en días.

Con el histórico de tonelaje acumulado para un equipo en particular, chancadoras, es necesario verificar el histórico de desgaste que provocaron cambios de repuestos en base a tonelajes acumulados obtenidos con anterioridad.

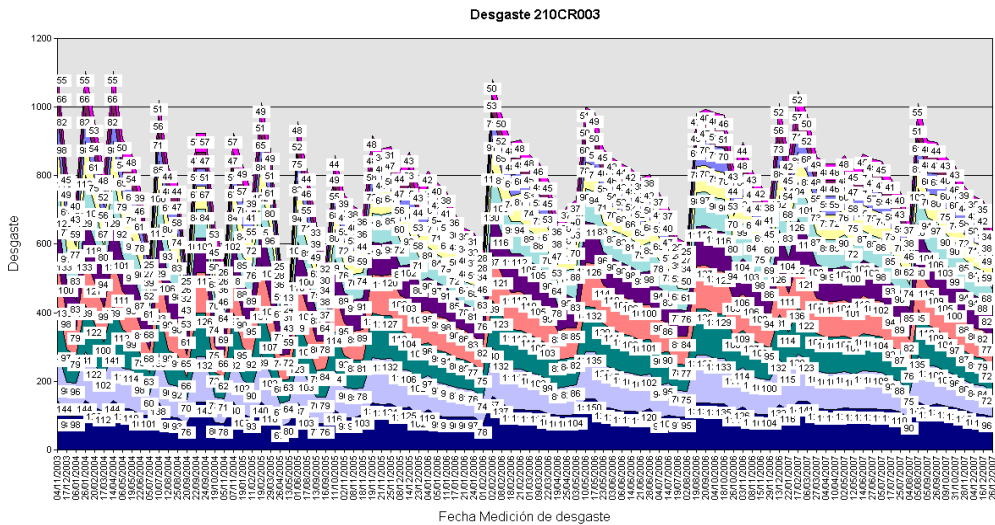


Ilustración 0-81: desgaste de cóncavos.

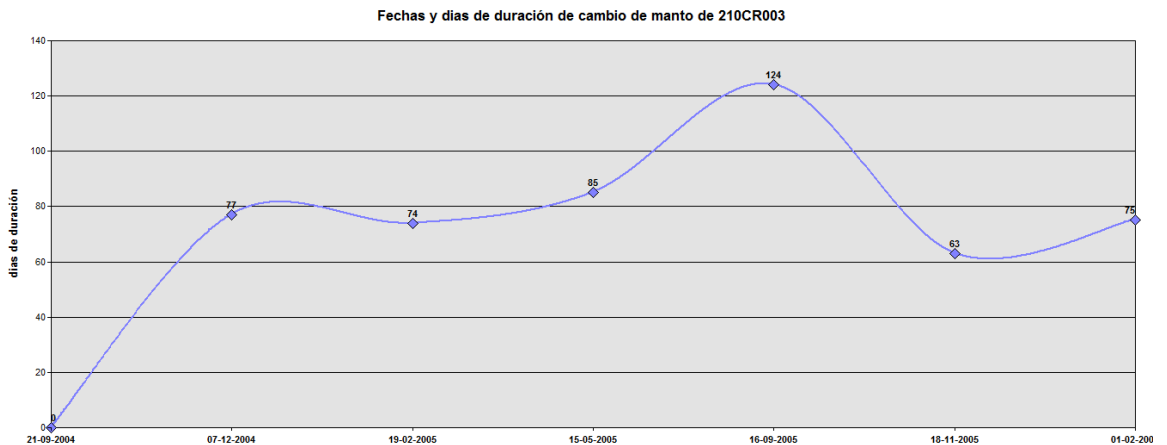


Ilustración 0-82: Histórico de cambio de manto en Chancadora.

La probabilidad de supervivencia, considerando un período de tiempo definido por el analista, refrenda la posible detención del activo.

Para estos efectos, se asume una distribución exponencial.

$R(t) = e^{-\frac{t}{MTBF}}$, donde MTBF es el tiempo medio entre fallos y t es el instante en el cual ocurre una detención.

Para esto el analista debe identificar un período de análisis, generalmente desde la última parada de planta programada.

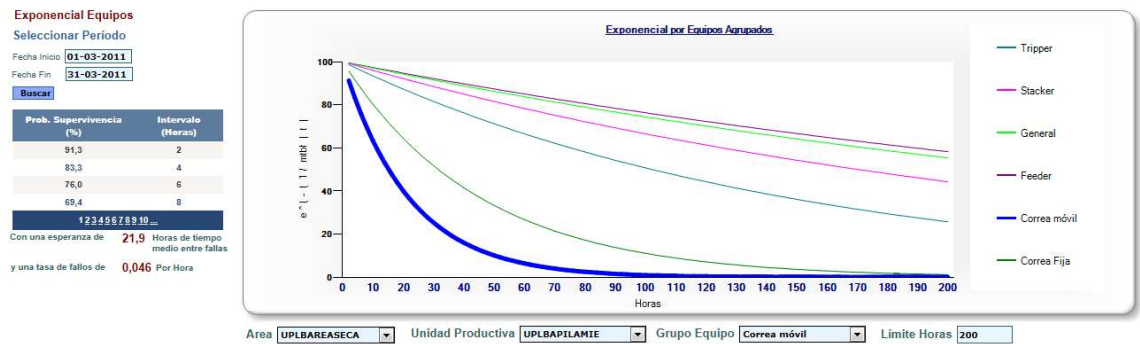


Ilustración 0-83: distribución exponencial para una familia de correas móviles.

Una vez que el Ingeniero de confiabilidad conoce la condición de los equipos, es posible determinar si es factible la detención.

Si la detención no es necesaria, ya que el equipo aún no ha cumplido la meta de desgaste o de procesamiento de mineral, entonces el Ingeniero de confiabilidad elabora un diagnóstico donde se debe considerar:

Equipo Industrial Estudiado

Técnica aplicada

Falla detectada o en evolución

Grado de severidad

Criticidad del Equipo

Si existe alguna falla en evolución, es necesario repetir el proceso ya que la inspección es fundamental para la predicción de fallas.

Por otra parte, si el ingeniero de confiabilidad determina que es imperante la detención, debe informar el evento al supervisor de planta, que prepara la

detención y genera una Orden de trabajo donde se programan los recursos necesarios. El supervisor envía un mensaje de reparación o inspección a los técnicos especialistas y operadores. Una vez terminado el proceso, es preciso registrar las mediciones como fuente de información para el siguiente período.

Los técnicos especialistas informan el término o cierre de trabajo a un supervisor de planta que debe inspeccionar el cierre del trabajo. Si el trabajo no ha eliminado la falla, el inspector envía un mensaje a los técnicos para continuar con el trabajo hasta su término aprobado. Por otra parte, si el trabajo es aprobado por el supervisor, se cierra. Para esto debe validar los datos de la detención en el portal de análisis y concluir la orden de trabajo en el sistema transaccional corporativo.

13.6 Programar transferencias, modelo dinámico de reemplazo.

En este caso, consideramos que las máquinas a reemplazar proporcionan un cierto beneficio para cada año y que existe una estimación de este beneficio para los próximos períodos. Podría adoptarse un punto de vista de costo en forma similar.

Además, consideramos la posibilidad de mejora tecnológica de las máquinas, con lo cual una máquina a usarse en el futuro tendrá una capacidad mayor de generación de ingresos. Por lo tanto, los ingresos serán una función de la fecha en la que se compró la máquina y los años transcurridos desde esa fecha. De la misma manera, los costos de operación dependerán del año en que la máquina fue comprada y su edad. El costo de las máquinas mejoradas puede subir o bajar.

Con estas ideas en mente, introduzcamos la siguiente notación:

$R_i(j)$: Ingreso anual de una máquina de edad j , comprada en el año i .

$C_i(j)$: Costo de operación anual de una máquina de edad j , comprada en el año i .

I_i : Costo de una máquina nueva en el año i .

$S_i(j)$: Valor residual de una máquina de edad j , comprada en el año i .

$$U_i(j) = I_{i+j} - S_i(j)$$

Costo de reemplazo de una máquina de edad j , comprada en el año i

$\mathcal{F}_k(\xi)$: Valor, al comienzo del año k de todos los retornos futuros netos actualizados provenientes de una máquina de edad ξ cuando se usa una política óptima de reemplazo para el resto del horizonte.

Consideremos además que los procesos mineros duran n años, es decir, queremos definir una política de reemplazo para cada uno de los años $1, 2, 3, \dots, n$

Por lo tanto, en el año K tenemos la alternativa de mantener la máquina en funcionamiento, digamos de edad ξ , o podemos comprar una nueva.

De esta manera, aplicando el principio de optimalidad de programación dinámica obtenemos,

Variable de decisión: Reemplazar o Mantener

Función Objetivo

$$\mathcal{F}_k(\xi) = \max. \begin{cases} R_k(0) - \beta C_k(0) - U_{k-\xi}(\xi) + \mathcal{F}_k(\xi) & (\text{Reemplazar}) \\ R_{k-\xi}(\xi) - \beta C_{k-\xi}(\xi) + \beta \mathcal{F}_{k+1}(\xi + 1) & (\text{Mantener}) \end{cases}$$

Variable de estado, ξ que es la edad de la máquina en el año k de análisis.

Etapas: $K = 1, 2, 3, 4, \dots, n = 1$

Donde $\beta = \frac{1}{1+\alpha}$ Donde α es la tasa de actualización.

Ahora, ya que el proceso termina en el año n

$$\mathcal{F}_k(\xi) = 0, k \geq n + 1$$

Entonces

$$\mathcal{F}_k(\xi) = \max. \begin{cases} R_n(0) - \beta C_n(0) - U_{n-\xi}(\xi) & (\text{Reemplazar}) \\ R_{n-\xi}(\xi) - \beta C_{n-\xi}(\xi) & (\text{Mantener}) \end{cases}$$

Por otra parte podríamos definir condiciones de borde, que pueden determinar el número de años para evaluar el reemplazo óptimo, además, podríamos establecer un límite de nuestro valor residual, de costos de operación y de ingresos, que se encuentran determinados por la capacidad y la disponibilidad del sistema.

Una vez que hemos definido las etapas, las variables de estado, la variable de decisión, nuestra función objetivo y las condiciones de borde desarrollamos el modelo.

Primera Etapa

La primera etapa de diseño considera la representación gráfica de nuestro modelo. En este esquema se representan los posibles escenarios de mantenimiento y reemplazo hasta el período especificado por el analista donde generalmente es considerado el proceso de enajenación de activos.

Segunda etapa

Una segunda etapa, considera el proceso de recopilación de datos, desde sistemas legacy propietarios como SAP y ellipse, utilizando web services o desde la propia aplicación web denominada portal de análisis. En esta etapa es necesario generar una tabla que relaciona los años de vida del sistema en estudio con los ingresos, los costos de operación, costos de mantenimiento, el valor residual y la inversión.

Tercera etapa

Una vez que hemos definido la tabla base, se generan varias tablas de decisión con una función recursiva hacia atrás, donde el principio básico es dividir para vencer.

Aquí, se determina la decisión de reemplazo o de mantenimiento en cada uno de los ciclos definidos para completar el análisis de reposición óptimo, tomando como referencia el valor máximo de beneficios obtenidos del ciclo en estudio.

Cuarta Etapa

Planteamos un resumen de decisiones óptimas, donde se genera una nueva tabla que especifica el período de reemplazo y de mantenimiento como una opción válida de planificación para el sistema en estudio.

A continuación consideremos un proceso de 10 años. Los costos de operación, reemplazo y los ingresos para el equipo en estudio están dados en las siguientes tablas.

Datos máquina fabricada el año 1

ξ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R1(ξ)	90	85	80	75	70	70	70	60	60	60
C1(ξ)	20	20	25	25	30	30	35	40	45	50
U1(ξ)	200	220	240	250	255	260	265	270	270	270

Datos máquina fabricada el año 2

ξ	0	1	2	3	4	5	6	7	8
R2(ξ)	100	90	80	75	65	65	65	65	65
C2(ξ)	15	20	20	20	25	25	30	30	35
U2(ξ)	200	220	240	250	255	260	265	270	270

Datos máquina fabricada el año 3

ξ	0	1	2	3	4	5	6	7
R3(ξ)	110	105	100	95	90	80	70	60
C3(ξ)	15	15	20	20	25	25	30	30
U3(ξ)	200	220	240	250	255	260	265	270

Datos máquina fabricada el año 4

ξ	0	1	2	3	4	5	6
R4(ξ)	115	110	100	90	80	70	60
C4(ξ)	15	15	20	20	20	25	30
U4(ξ)	210	215	220	225	230	235	240

Datos máquina fabricada el año 5

ξ	0	1	2	3	4	5
R5(ξ)	120	115	115	110	105	100
C5(ξ)	10	10	15	15	20	20
U5(ξ)	210	215	220	225	230	235

Datos máquina fabricada el año 6

ξ	0	1	2	3	4
R6(ξ)	125	120	110	105	100
C6(ξ)	10	10	10	15	15
U6(ξ)	210	220	230	240	250

Datos máquina fabricada el año 7

ξ	0	1	2	3
R7(ξ)	135	125	110	105
C7(ξ)	10	10	10	10
U7(ξ)	210	220	230	240

Datos máquina fabricada el año 8

ξ	0	1	2
R8(ξ)	140	135	125
C8(ξ)	5	10	10
U8(ξ)	220	230	240

Datos máquina fabricada el año 9

ξ	0	1
R9(ξ)	150	140
C9(ξ)	5	10
U9(ξ)	220	225

Datos máquina fabricada el año 10

ξ	0
R10(ξ)	155
C10(ξ)	5
U10(ξ)	220

El equipo en estudio, se supone tiene 3 años de uso y el comportamiento futuro se muestra en la siguiente tabla.

Máquina actual

ξ	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R-2(ξ)	60	60	50	50	50	40	40	40	30	30
C-2(ξ)	55	55	55	60	60	60	60	65	65	70
U-2(ξ)	250	260	270	280	280	290	290	300	300	310

Consideremos	Años
Proyecto	10
Edad Actual	3

Ahora Calculamos

α 1%

B= 0,99

Reemplazar	Mantener
R10(0)-(I2*C10(0))-U9(1)	R9(1)-(I2*C9(1))
R10(0)-(I2*C10(0))-U8(2)	R8(2)-(I2*C8(2))
R10(0)-(I2*C10(0))-U7(3)	R7(3)-(I2*C7(3))
R10(0)-(I2*C10(0))-U6(4)	R6(4)-(I2*C6(4))
R10(0)-(I2*C10(0))-U5(5)	R5(5)-(I2*C5(5))
R10(0)-(I2*C10(0))-U4(6)	R4(6)-(I2*C4(6))
R10(0)-(I2*C10(0))-U3(7)	R3(7)-(I2*C3(7))
R10(0)-(I2*C10(0))-U2(8)	R2(8)-(I2*C2(8))
R10(0)-(I2*C10(0))-U1(9)	R1(9)-(I2*C1(9))
R10(0)-(I2*C10(0))-U-2(12)	R-2(12)-(I2*C-2(12))

Reemplazar	Mantener
R9(0)-(I2*C9(0))-U8(1)+(I2*f10(1))	R8 (1) -(I2* C8 (1)) +(I2* f10(2))
R9(0)-(I2*C9(0))-U7(2)+(I2*f10(1))	R7 (2) -(I2* C7 (2)) +(I2* f10(3))
R9(0)-(I2*C9(0))-U6(3)+(I2*f10(1))	R6 (3) -(I2* C6 (3)) +(I2* f10(4))
R9(0)-(I2*C9(0))-U5(4)+(I2*f10(1))	R5 (4) -(I2* C5 (4)) +(I2* f10(5))
R9(0)-(I2*C9(0))-U4(5)+(I2*f10(1))	R4 (5) -(I2* C4 (5)) +(I2* f10(6))
R9(0)-(I2*C9(0))-U3(6)+(I2*f10(1))	R3 (6) -(I2* C3 (6)) +(I2* f10(7))
R9(0)-(I2*C9(0))-U2(7)+(I2*f10(1))	R2 (7) -(I2* C2 (7)) +(I2* f10(8))
R9(0)-(I2*C9(0))-U1(8)+(I2*f10(1))	R1 (8) -(I2* C1 (8)) +(I2* f10(9))
R9(0)-(I2*C9(0))-U-2(11)+(I2*f10(1))	R-2 (11) - (I2*C-2 (11)) +(I2*f-2(12))

Reemplazar	Mantener
R8(0)-(I2*C8(0))-U7(1)+(I2*f9(1))	R8 (1) -(I2* C8 (1)) +(I2* f9(2))
R8(0)-(I2*C8(0))-U6(2)+(I2*f9(1))	R7 (2) -(I2* C7 (2)) +(I2* f9(3))
R8(0)-(I2*C8(0))-U5(3)+(I2*f9(1))	R6 (3) -(I2* C6 (3)) +(I2* f9(4))
R8(0)-(I2*C8(0))-U4(4)+(I2*f9(1))	R5 (4) -(I2* C5 (4)) +(I2* f9(5))
R8(0)-(I2*C8(0))-U3(5)+(I2*f9(1))	R4 (5) -(I2* C4 (5)) +(I2* f9(6))
R8(0)-(I2*C8(0))-U2(6)+(I2*f9(1))	R3 (6) -(I2* C3 (6)) +(I2* f9(7))
R8(0)-(I2*C8(0))-U1(7)+(I2*f9(1))	R2 (7) -(I2* C2 (7)) +(I2* f9(8))
R8(0)-(I2*C8(0))-U-2(10)+(I2*f9(1))	R-2 (10) - (I2*C-2 (10)) +(I2*f-2(11))

R7(0)-(I2*C7(0))-U6(1)+(I2*f8(1))	R7 (1) -(I2* C7 (1)) +(I2* f8(2))
R7(0)-(I2*C7(0))-U5(2)+(I2*f8(1))	R6 (2) -(I2* C6 (2)) +(I2* f8(3))
R7(0)-(I2*C7(0))-U4(3)+(I2*f8(1))	R5 (3) -(I2* C5 (3)) +(I2* f8(4))
R7(0)-(I2*C7(0))-U3(4)+(I2*f8(1))	R4 (4) -(I2* C4 (4)) +(I2* f8(5))
R7(0)-(I2*C7(0))-U2(5)+(I2*f8(1))	R3 (5) -(I2* C3 (5)) +(I2* f8(6))
R7(0)-(I2*C7(0))-U1(6)+(I2*f8(1))	R2 (4) -(I2* C2 (6)) +(I2* f8(7))
R7(0)-(I2*C7(0))-U-2(9)+(I2*f8(1))	R-2 (9) - (I2*C-2 (9)) +(I2*f-2(10))

Reemplazar	Mantener
$R6(0)-(I2*C6(0))-U5(1)+(I2*f7(1))$	$R6(1)-(I2*C6(1))+(I2*f7(2))$
$R6(0)-(I2*C6(0))-U4(2)+(I2*f7(1))$	$R5(2)-(I2*C5(2))+(I2*f7(3))$
$R6(0)-(I2*C6(0))-U3(3)+(I2*f7(1))$	$R4(3)-(I2*C4(3))+(I2*f7(4))$
$R6(0)-(I2*C6(0))-U2(4)+(I2*f7(1))$	$R3(4)-(I2*C3(4))+(I2*f7(5))$
$R6(0)-(I2*C6(0))-U1(5)+(I2*f7(1))$	$R2(5)-(I2*C2(5))+(I2*f7(6))$
$R6(0)-(I2*C6(0))-U-2(8)+(I2*f7(1))$	$R-2(8)-(I2*C-2(8))+(I2*f-2(9))$

Reemplazar	Mantener
$R5(0)-(I2*C5(0))-U4(1)+(I2*f6(1))$	$R5(1)-(I2*C5(1))+(I2*f6(2))$
$R5(0)-(I2*C5(0))-U3(2)+(I2*f6(1))$	$R4(2)-(I2*C4(2))+(I2*f6(3))$
$R5(0)-(I2*C5(0))-U2(3)+(I2*f6(1))$	$R3(3)-(I2*C3(3))+(I2*f6(4))$
$R5(0)-(I2*C5(0))-U1(4)+(I2*f6(1))$	$R2(4)-(I2*C2(4))+(I2*f6(5))$
$R5(0)-(I2*C5(0))-U-2(7)+(I2*f6(1))$	$R-2(7)-(I2*C-2(7))+(I2*f-2(8))$

Reemplazar	Mantener
$R4(0)-(I2*C4(0))-U3(1)+(I2*f5(1))$	$R4(1)-(I2*C4(1))+(I2*f5(2))$
$R4(0)-(I2*C4(0))-U2(2)+(I2*f5(1))$	$R3(2)-(I2*C3(2))+(I2*f5(3))$
$R4(0)-(I2*C4(0))-U1(3)+(I2*f5(1))$	$R2(3)-(I2*C2(3))+(I2*f5(4))$
$R4(0)-(I2*C4(0))-U-2(6)+(I2*f5(1))$	$R-2(6)-(I2*C-2(6))+(I2*f-2(7))$

Reemplazar	Mantener
$R3(0)-(I2*C3(0))-U2(1)+(I2*f4(1))$	$R3(1)-(I2*C3(1))+(I2*f4(2))$
$R3(0)-(I2*C3(0))-U1(2)+(I2*f4(1))$	$R2(2)-(I2*C2(2))+(I2*f4(3))$
$R3(0)-(I2*C3(0))-U-2(5)+(I2*f4(1))$	$R-2(5)-(I2*C-2(5))+(I2*f-2(6))$

Reemplazar	Mantener
$R2(0)-(I2*C2(0))-U1(1)+(I2*f3(1))$	$R2(1)-(I2*C2(1))+(I2*f3(2))$
$R2(0)-(I2*C2(0))-U-2(4)+(I2*f3(1))$	$R-2(4)-(I2*C-2(4))+(I2*f-2(5))$

Reemplazar	Mantener
$R1(0)-(I2*C1(0))-U-2(3)+(I2*f2(1))$	$R-2(3)-(I2*C-2(3))+(I2*f-2(4))$

A continuación se genera la siguiente tabla que contiene el resumen de cálculos para el problema dinámico.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		Mantener	Mantener	Mantener	Mantener	Mantener	Mantener	Mantener	Mantener	Mantener
2			Mantener	Mantener	Mantener	Mantener	Mantener	Mantener	Mantener	Mantener
3	Reemplazar			Mantener	Mantener	Mantener	Mantener	Mantener	Mantener	Mantener
4		Reemplazar			Mantener	Mantener	Mantener	Mantener	Mantener	Mantener
5			Mantener			Reemplazar	Reemplazar	Reemplazar	Mantener	Mantener
6				Reemplazar			Reemplazar	Reemplazar	Mantener	Mantener
7					Reemplazar			Reemplazar	Mantener	Mantener
8						Reemplazar			Mantener	Mantener
9							Reemplazar			Mantener
10								Reemplazar		
11									Reemplazar	
12										Mantener

Se concluye que, comenzando con una máquina de tres años de edad al comienzo del período que cubre la decisión, lo óptimo es comprar una máquina nueva el primer período.

Para obtener la planificación del activo a 10 años, consideramos la tabla anterior. El resultado es el siguiente.

1	Reemplazar
2	Mantener
3	Mantener
4	Mantener
5	Mantener
6	Reemplazar
7	Mantener
8	Mantener
9	Mantener
10	Mantener

La decisión óptima es comprar una máquina al comienzo del primer año, mantenerla hasta el comienzo del quinto año y, entonces, comprar una nueva que se mantiene hasta el final del horizonte

Tabla 11: decisión de reemplazo

14. Diseño de aplicaciones computacionales

El proceso de diseño computacional propuesto considera el análisis de casos de uso, donde se identifican escenarios que describen la lógica de negocios, diagramas de secuencia, que describen la interacción entre clases, acciones y métodos. Luego, se definen las clases que describen a los objetos de

la aplicación computacional, para terminar con el modelo de datos que representan al flujo de información que consolida al sistema.

Todos estos objetos se organizan en un diagrama de paquetes para concluir con el diseño.

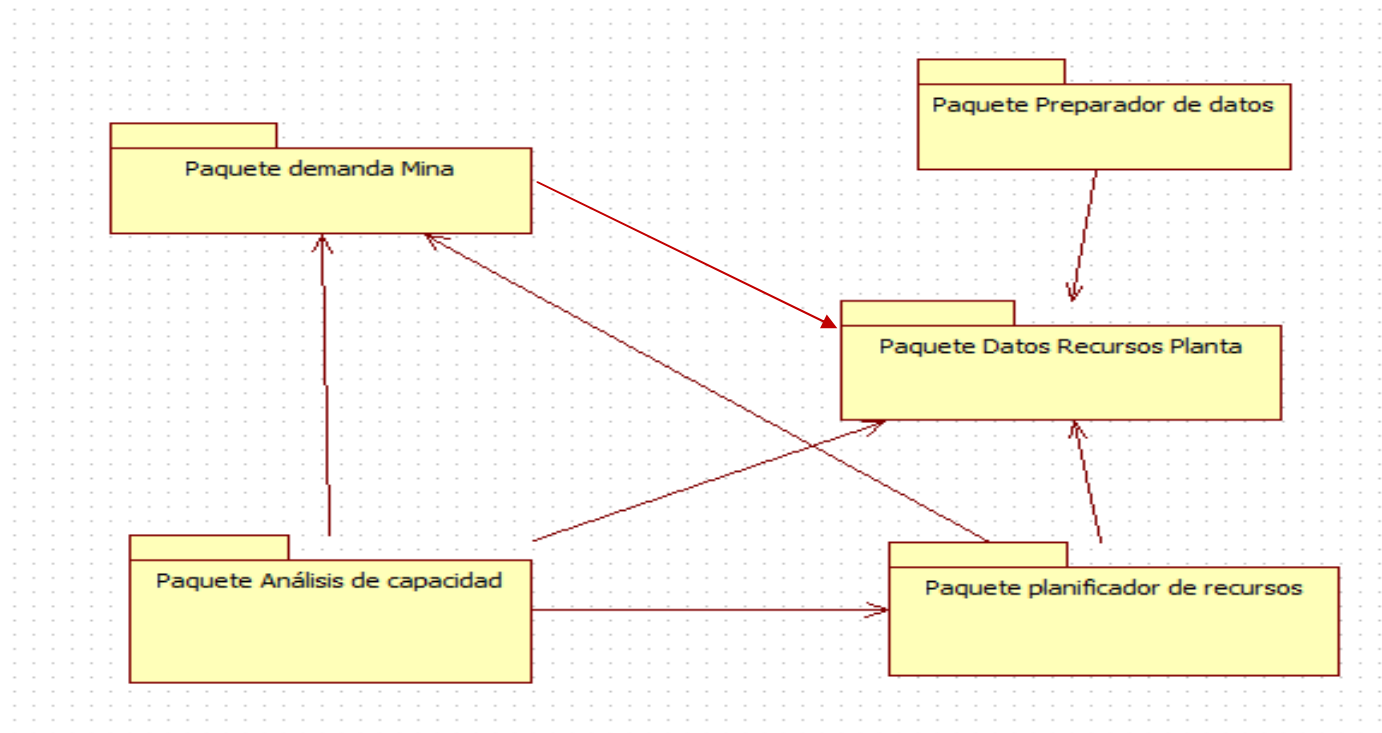


Ilustración 0-84: diagrama de paquetes.

Paquete Demanda Mina.

Esta es una instancia que no se encuentra dentro del ámbito del presente estudio e indica la capacidad requerida, 13.1 Planificación de producción. Cabe destacar que la planificación de la producción, es importante para elaborar la planificación de la capacidad disponible por parte de Mantenimiento. Así, los costos de extracción, costos de procesamiento, ingresos, leyes disponibles, capacidad disponible, son variables requeridas para estudiar demanda mina.

Paquete Análisis de Capacidad.

La lógica de negocios que incluye este paquete considera el riesgo operacional y el cálculo de indicadores claves de desempeño, como apoyo para el estudio de detenciones.

Paquete Planificador de Recursos.

En este paquete encontramos modelos para la gestión de repuestos, asignación de recursos en planificación de mantenimiento programado, y un modelo dinámico de reemplazo para la planificación de mantenimiento de activos en el largo plazo (reposición y mantenimiento).

Paquete datos recursos planta.

Este paquete es considerado como la base del conocimiento que alimenta la analítica y modelos definidos en el sistema. El trabajo elaborado en este ámbito es inmenso, dado que se debe efectuar un levantamiento de toda la planta y sus equipos críticos, para configurar el perfil de catálogo que los describe y para registrar detenciones.

[Escribir texto]

Paquete Preparador de datos.

Representa a una batería de clases de apoyo para los procesos de migración y preparación de datos en el cálculo de modelos, analítica e indicadores.

14.1 Diagrama de Casos de Uso

Comenzamos nuestro diseño computacional con la definición de casos de uso alineados con la lógica de negocios.

1. Eliminación de pérdidas

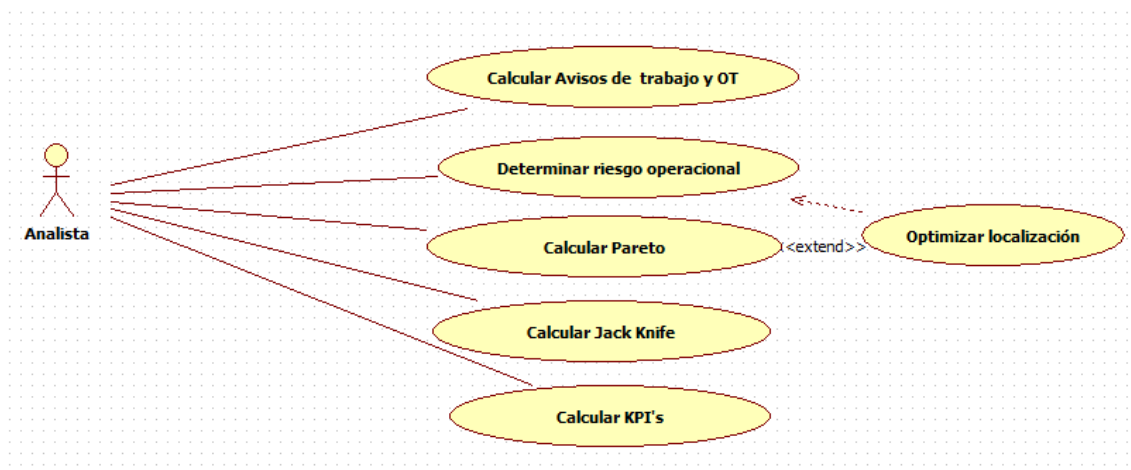


Ilustración 0-85: Caso de uso, eliminación de pérdidas.

[Escribir texto]

2. Táctica predictiva

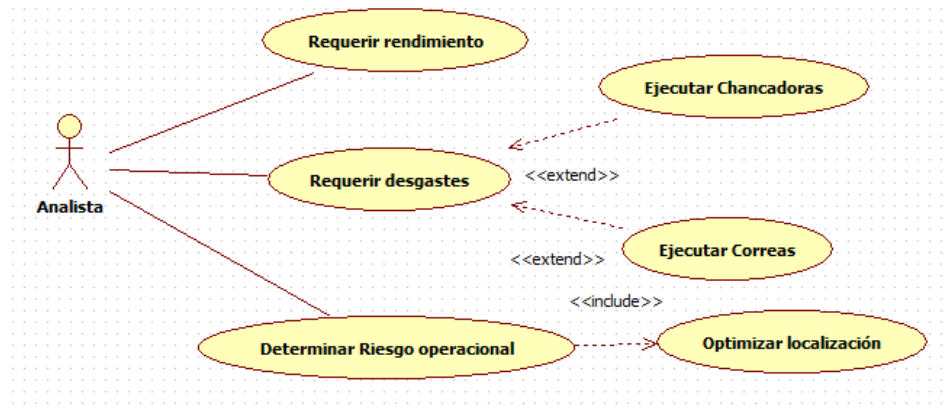


Ilustración 0-86: caso de uso táctica predictiva.

3. Programar transferencias

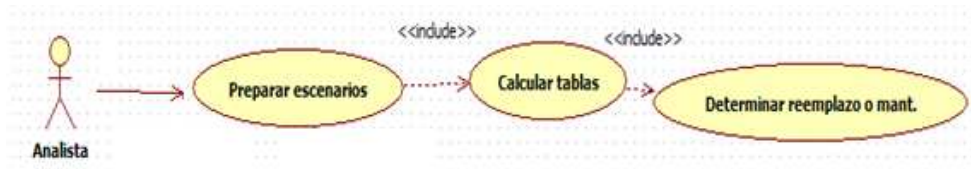


Ilustración 0-87: Caso de uso Programar transferencias.

[Escribir texto]

14.2 Diagramas de Secuencia

14.2.1 Eliminación de pérdidas

14.2.1.1 Avisos de trabajo.

Vista general de avisos de trabajo asociados a códigos de falla, desde la perspectiva de unidades productivas dentro de una planta en particular.

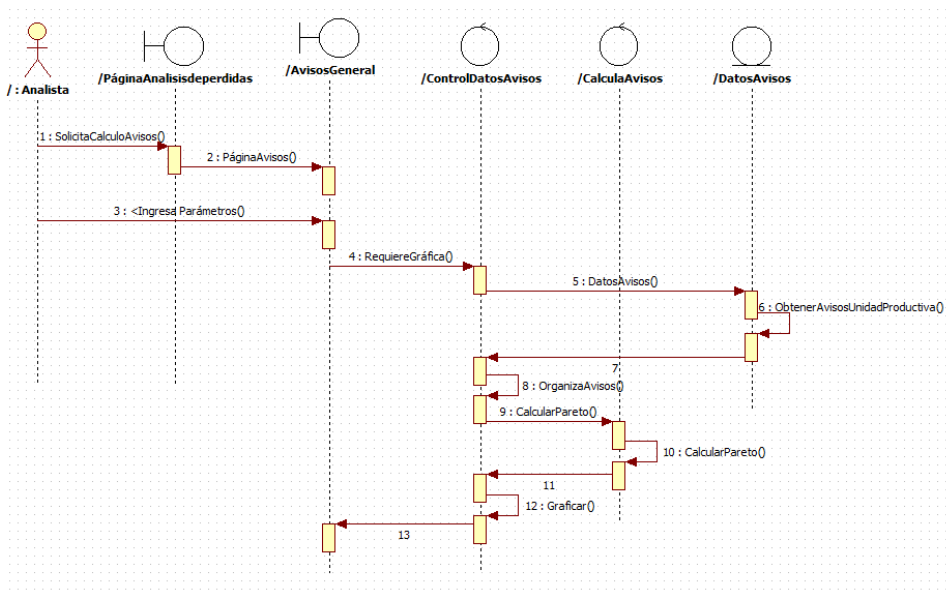


Ilustración 0-88: Diagrama de secuencias calcular avisos.

[Escribir texto]

14.2.1.2 Determinar Riesgo de seguir operando (confiabilidad del sistema)

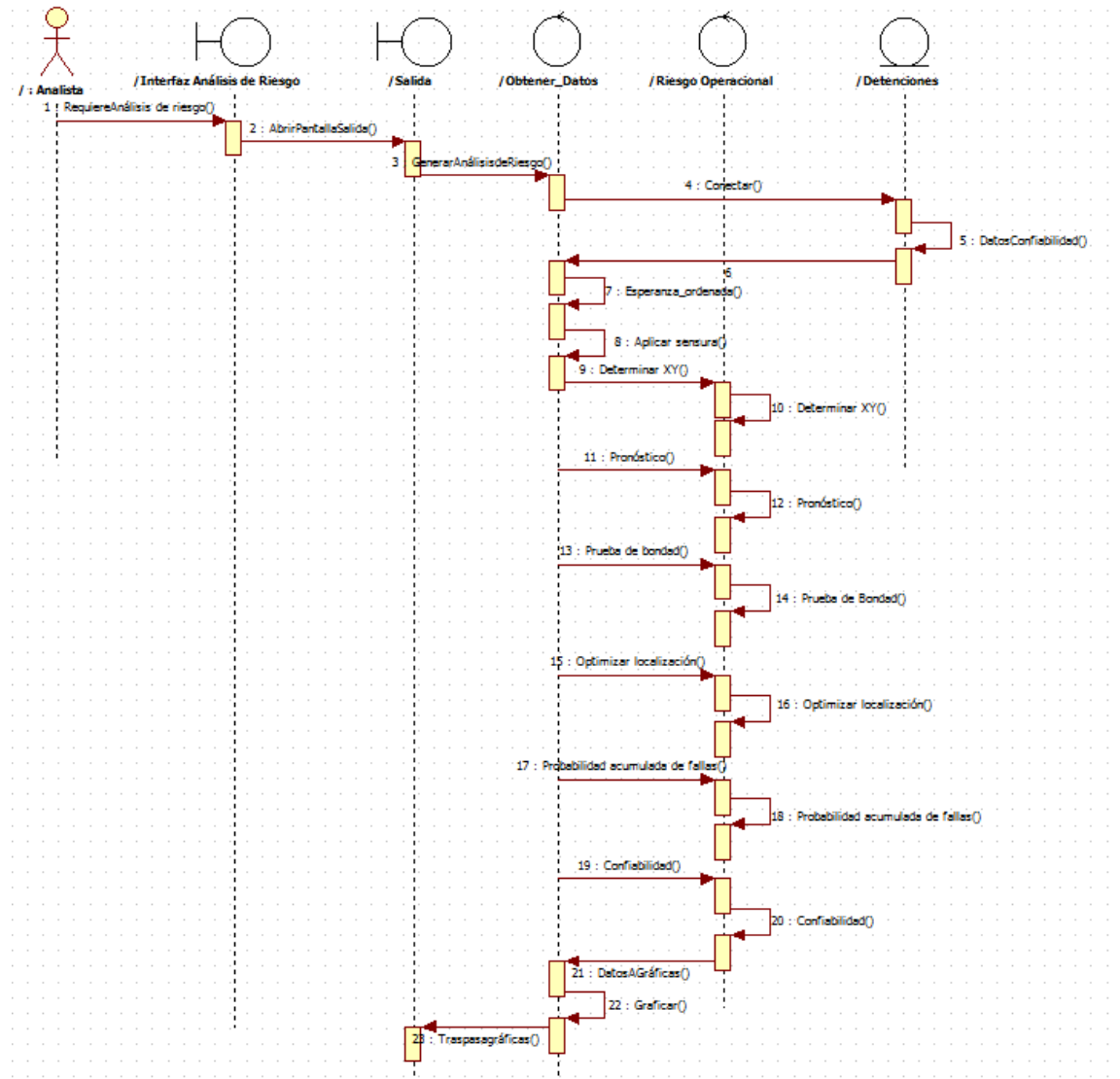


Ilustración 0-89: diagrama de secuencia obtener riesgo operacional.

[Escribir texto]

14.2.1.3 Pareto

El rol analista solicita un diagrama de Pareto para consolidar el análisis de pérdidas y de esta manera priorizar por costos, frecuencia, tiempo de duración de cada evento en el sistema. Es posible además priorizar por clasificación de falla.

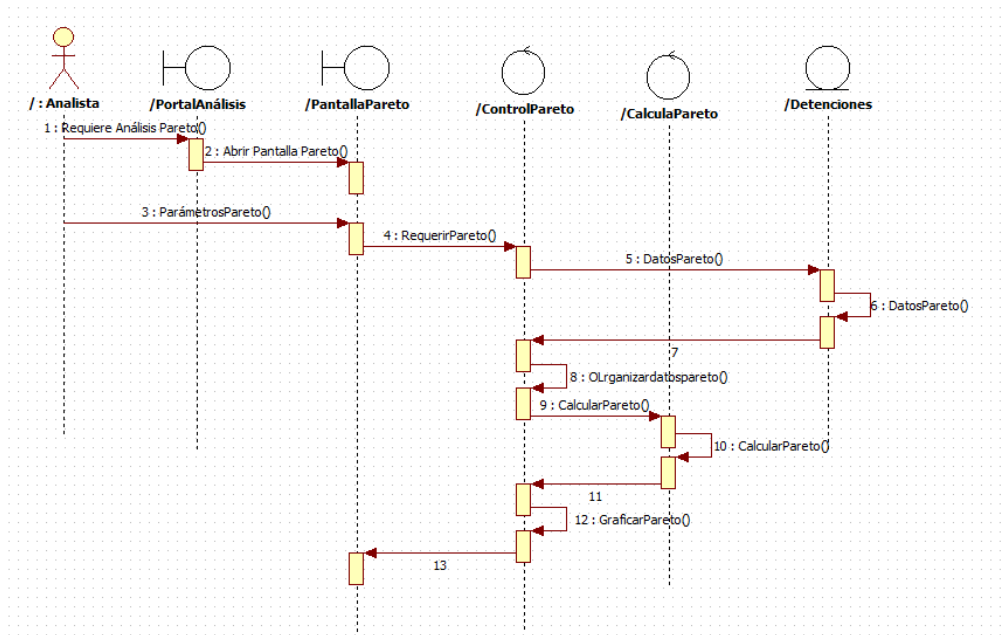


Ilustración 0-90: diagrama de secuencias calcular Pareto.

[Escribir texto]

14.2.1.4 Jack Knife

Para priorizar por tiempo fuera de línea y por un factor de mantenibilidad que determina la eficacia en el proceso.

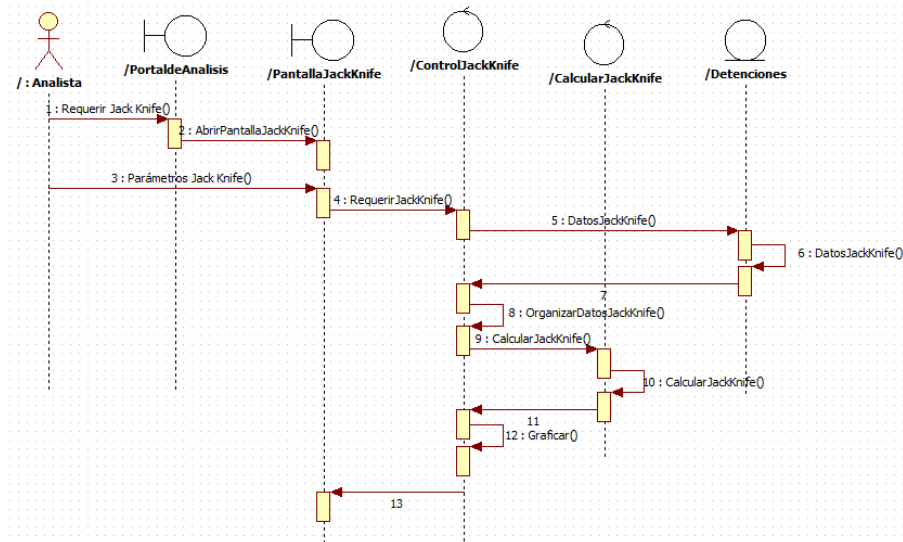


Ilustración 0-91: Diagrama de secuencias calcular Jack Knife

El usuario que cumple el rol de analista debe además refrendar el análisis con información operativa en base a indicadores claves de desempeño definidos en la gerencia de mantenimiento.

[Escribir texto]

14.2.1.5 Indicadores claves de desempeño

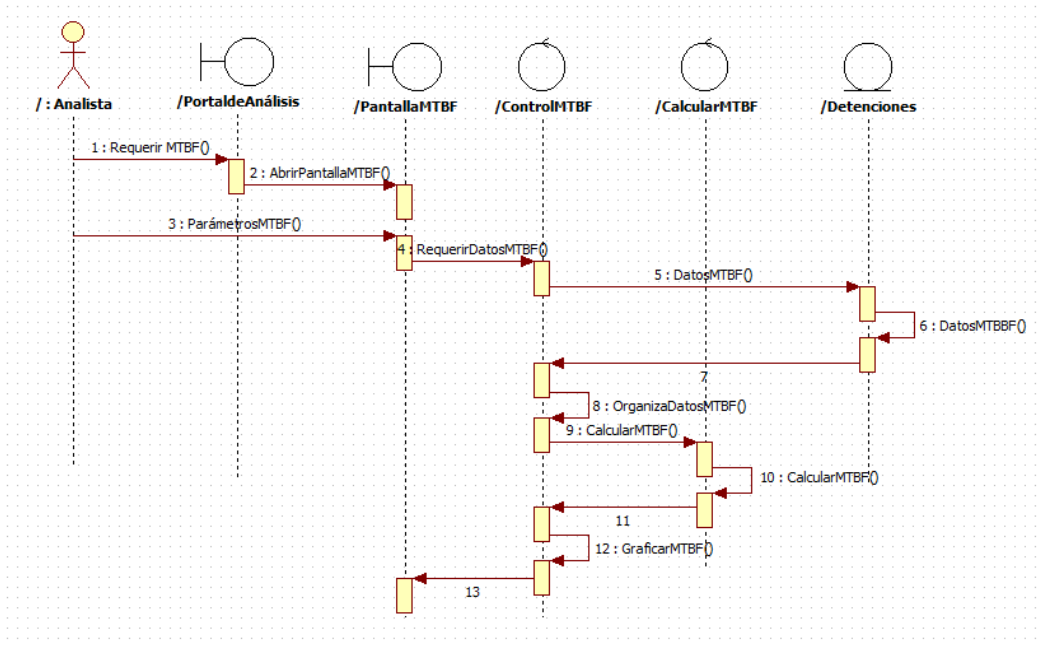


Ilustración 0-92: Diagrama de secuencias calcular MTBF.

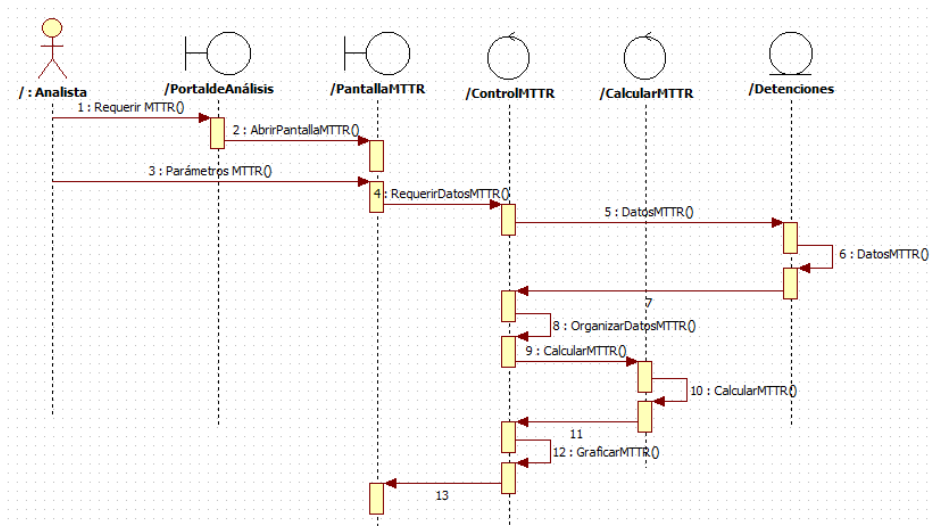


Ilustración 0-93: Diagrama de secuencias calcular MTTR.

[Escribir texto]

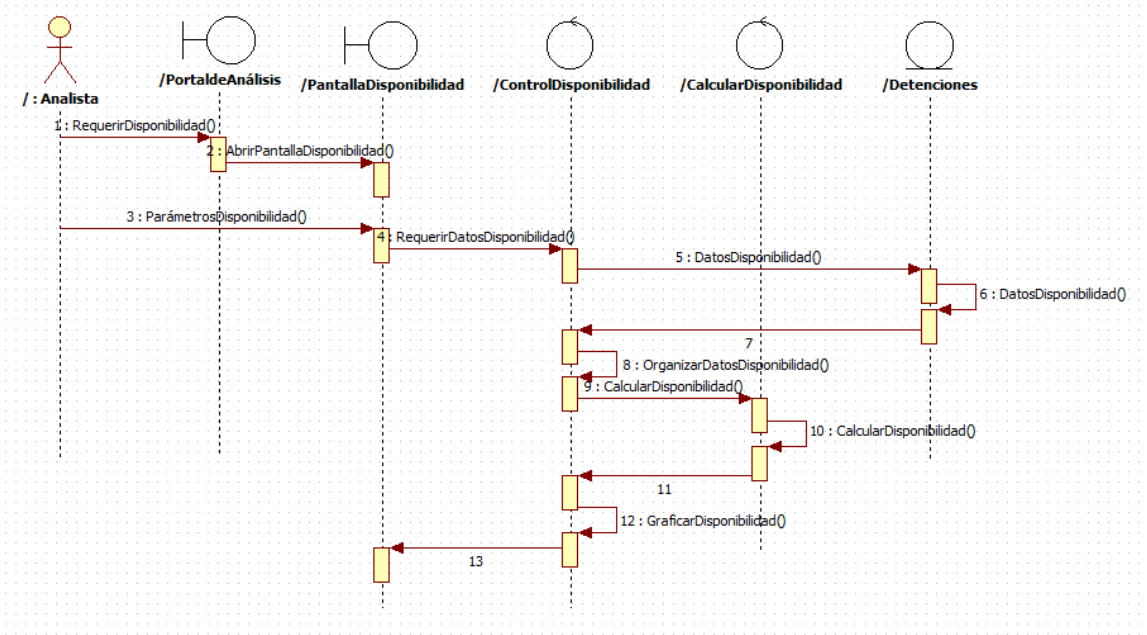


Ilustración 0-94: Diagrama de secuencias calcular disponibilidad, uso, utilización.

14.2.3 Programar transferencias

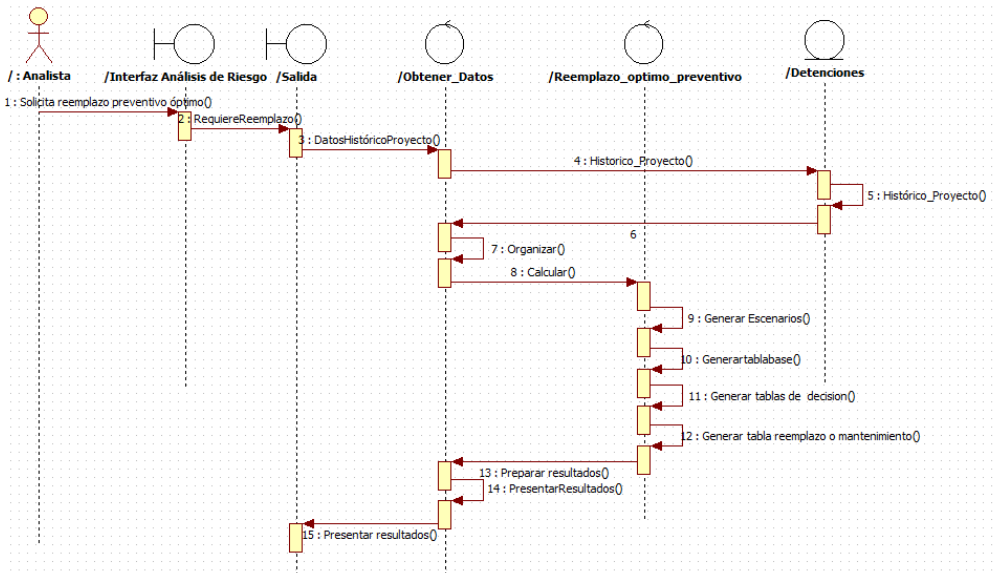


Ilustración 0-95: diagrama de secuencias programar transferencias.

[Escribir texto]

14.2.4 Tácticas predictivas

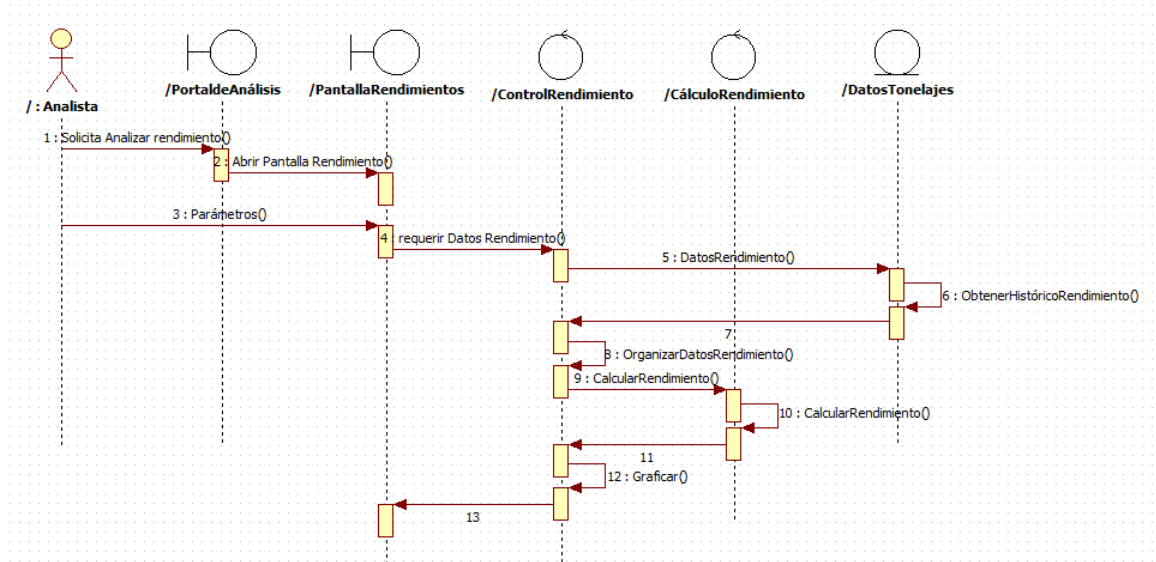


Ilustración 0-96: Diagrama de secuencia calcular rendimiento.

[Escribir texto]

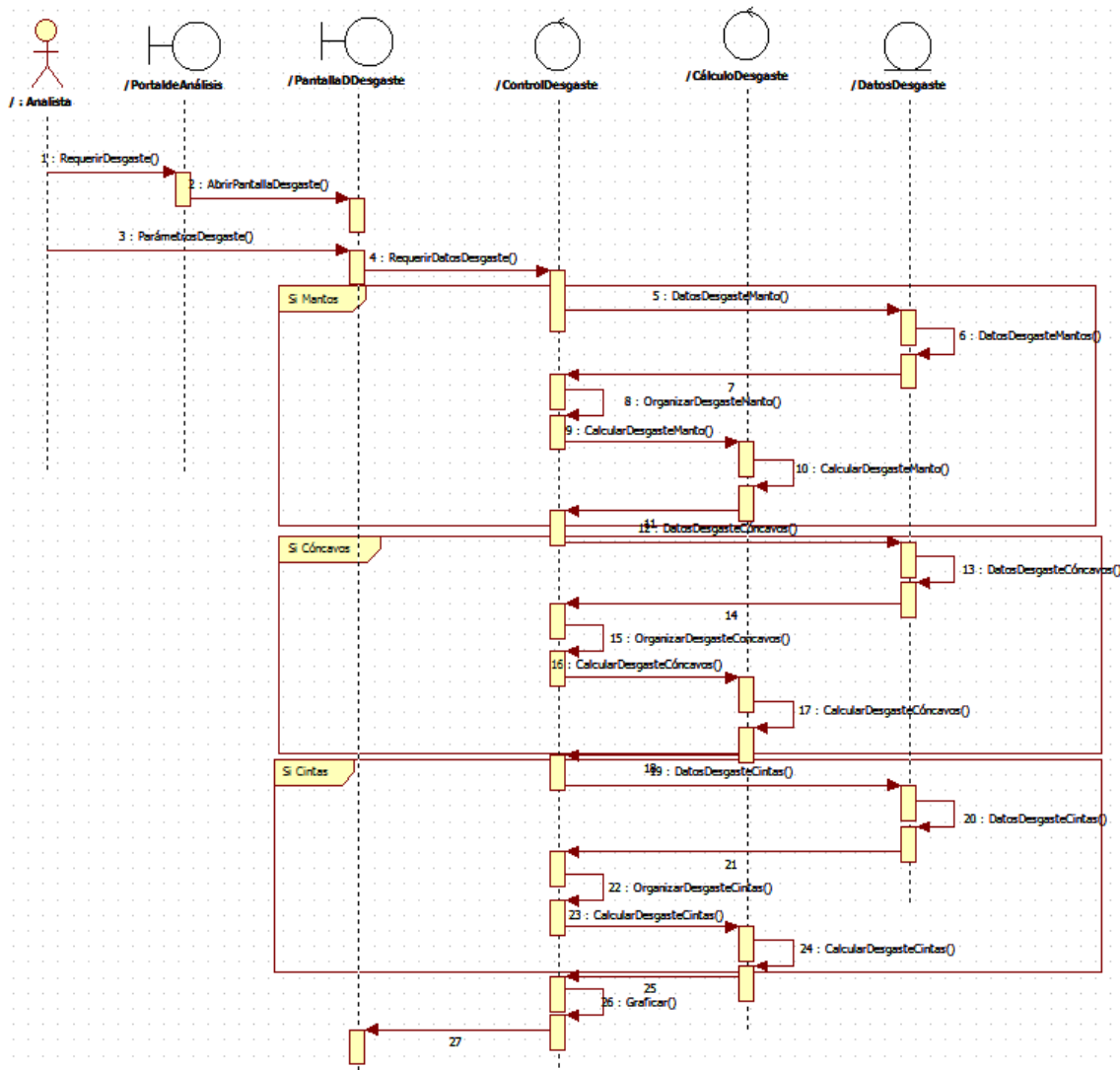


Ilustración 0-97: diagrama de secuencia obtener desgastes.

[Escribir texto]

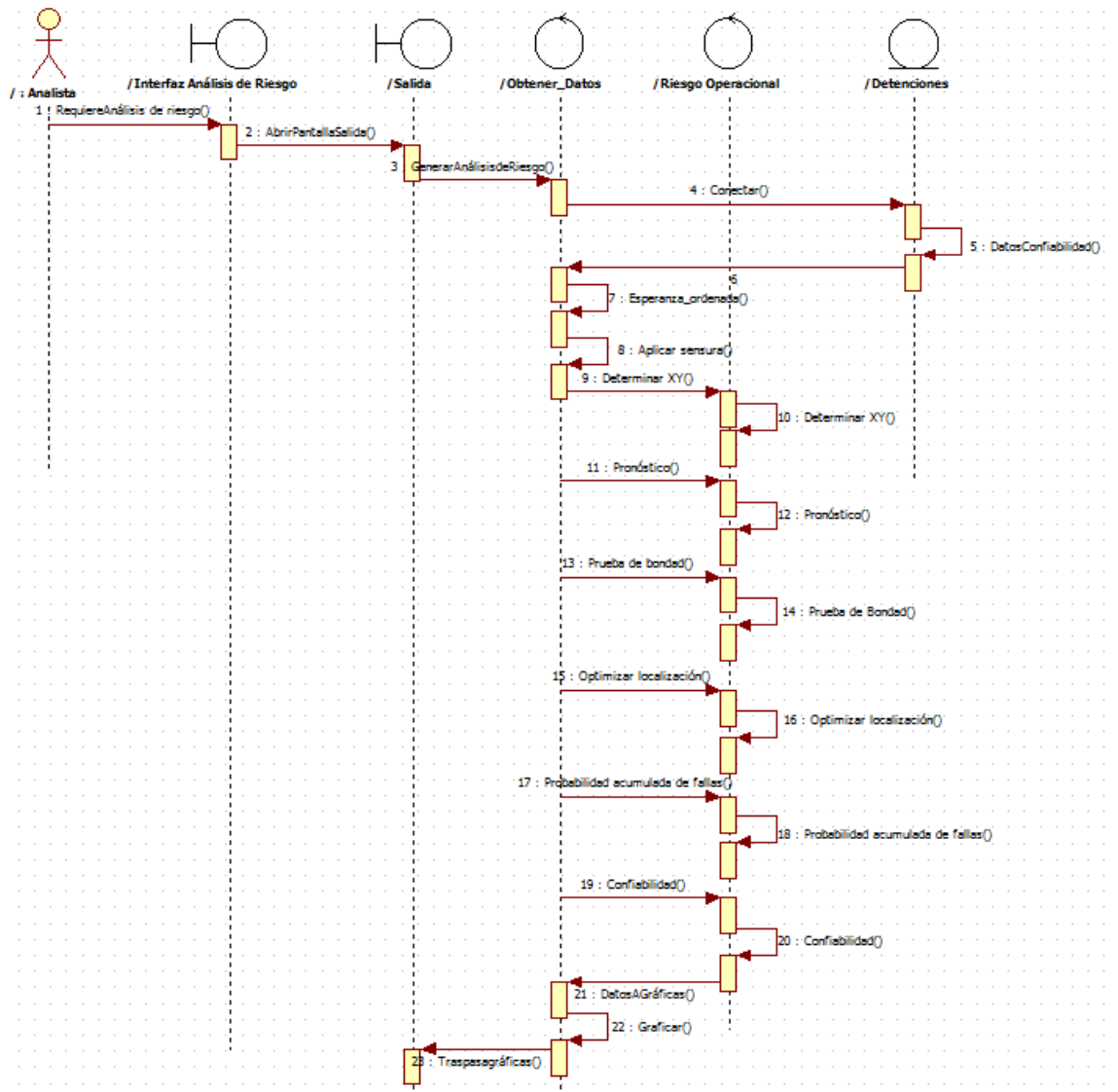


Ilustración 0-98: Diagrama de secuencia determinar riesgo operacional.

[Escribir texto]

14.3 Diagrama de Clases

14.3.1 Eliminación de pérdidas

Diagrama de clases avisos de trabajo

Modelo: existe una clase modelo denominada “DatoAvisos” que permite obtener los datos históricos de avisos de trabajo asociados a códigos de falla.

Vista: una clase vista denominada “CódigoParteObjeto” que corresponde a la interfaz que visualiza la gráfica que describe el comportamiento de avisos en el tiempo.

Controlador: tenemos dos clases de tipo controlador: “ControlAvisosParteObjeto”, que traspassa datos entre clases entity y de control, además, “CalculaAvisos”, que tiene la función de llevar a cabo los cálculos para graficar.

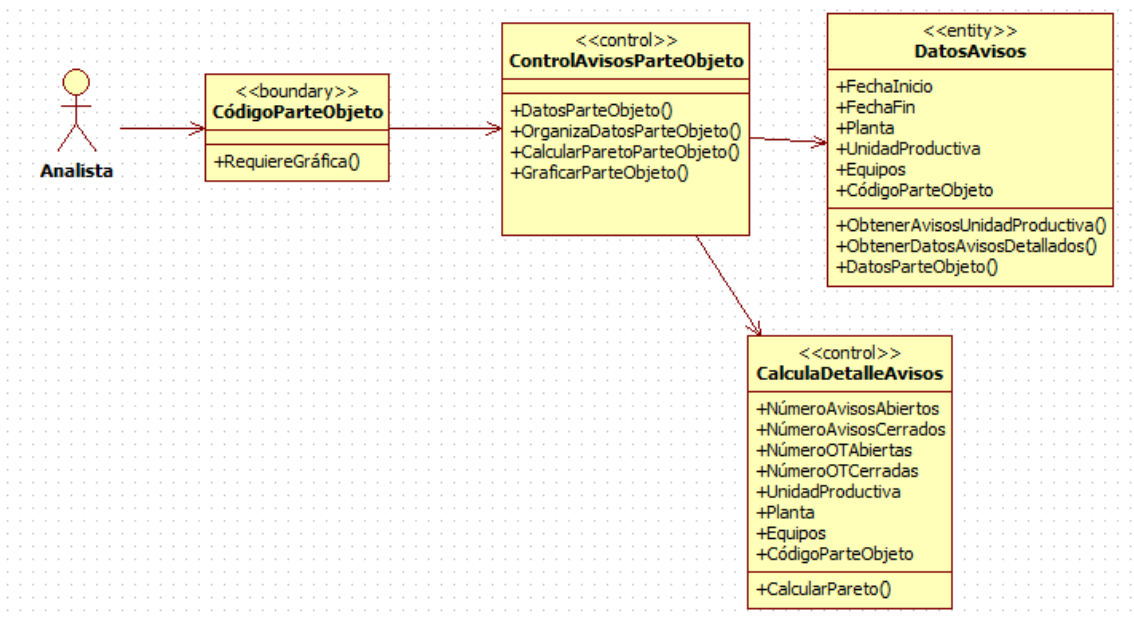


Ilustración 0-99: Diagrama de clases calcular avisos de trabajo.

[Escribir texto]

Diagrama de clases Determinar riesgo de seguir operando

Modelo: existe una clase modelo denominada “Detenciones” que permite obtener los datos históricos de detenciones.

Vista: una clase vista denominada “Salida”, corresponde a la interfaz que visualiza la gráfica.

Controlador: tenemos dos clases de tipo controlador: “Obtener_Datos” que traspasa datos entre clases entity y control, formatea datos, aplica sensura. Además, encontramos “RiesgoOperacional” que tiene la función de llevar a cabo los cálculos para graficar.

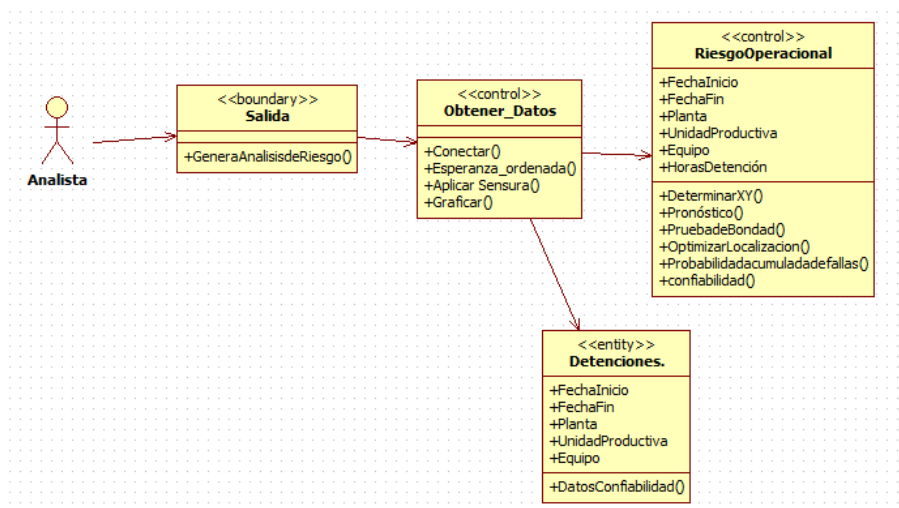


Ilustración 0-100: Diagrama de clases calcular riesgo de seguir operando.

Diagrama de clases, Pareto

Modelo: existe una clase modelo denominada “Detenciones” que permite obtener los datos históricos de detenciones para los cálculos de frecuencia absoluta y relativa.

[Escribir texto]

Vista: una clase vista denominada “PantallaPareto”, corresponde a la interfaz que visualiza la gráfica que describe a los eventos ocurridos en planta.

Controlador: tenemos dos clases de tipo controlador: “ControlPareto”, que traspassa datos entre clases entity y control y los organiza. Además, “CalculaPareto”, que efectúa cálculos para graficar las distribuciones de frecuencia obtenidas.

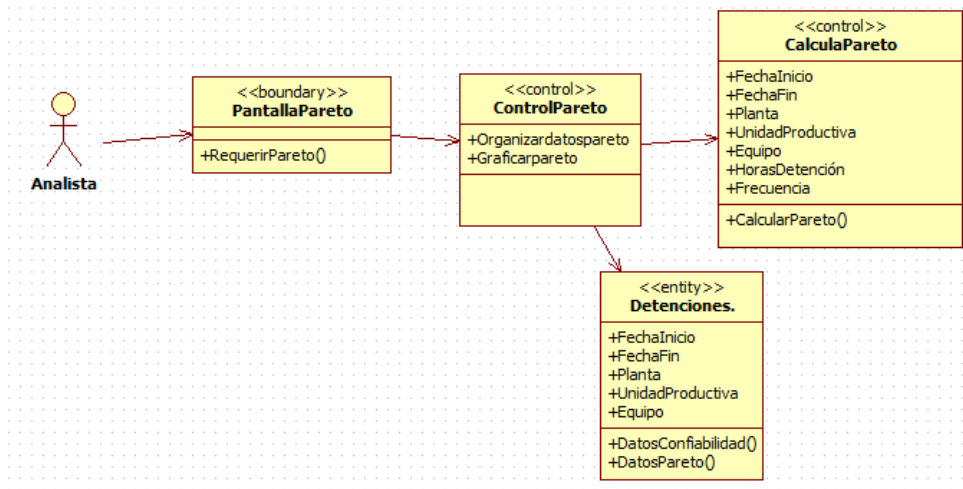


Ilustración 0-101: Diagrama de clases calcular Pareto.

Diagrama de clases Jack-Knife

Modelo: existe una clase modelo denominada “Detenciones” que permite obtener los datos históricos de detenciones para los cálculos de mantenibilidad, frecuencia y tiempo fuera de línea.

Vista: una clase vista denominada “PantallaJackKnife”, que corresponde a la interfaz que visualiza la gráfica que describe a los eventos ocurridos en planta..

Controlador: tenemos dos clases de tipo controlador: “ControlJackKnife”, que traspassa datos entre clases entity y control y los organiza. Además, encontramos “CalculaJackKnife”, que tiene la función de llevar a cabo los cálculos para linealizar la función, calcular las medias e información de mantenibilidad.

[Escribir texto]

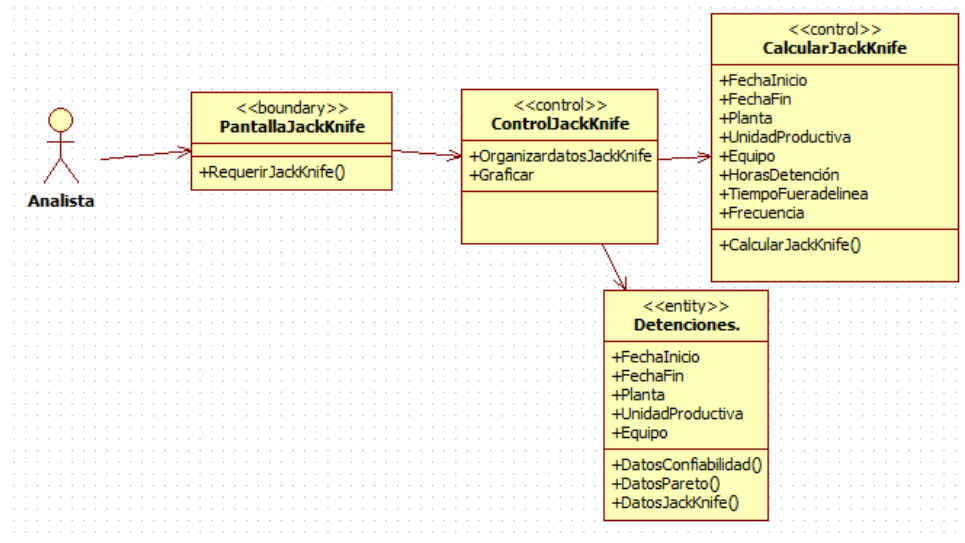


Ilustración 0-102: Diagrama de clases Jack Knife

Diagrama de clases obtener KPI's

Modelo: existen dos clases modelo denominadas “Detenciones” y “Tonelajes”, que permite obtener los datos históricos de detenciones y de rendimiento para hacer efectivo el cálculo de KPI’s.

Vista: una clase vista denominada “PantallaResumenKPI” que corresponde a la interfaz que visualiza las gráficas que describen los resultados operacionales, obtenidos en un período determinado por el analista.

Controlador: tenemos dos clases de tipo controlador: “ObtenerDatos” que traspasa datos entre clases entity y control, organiza y presenta resultados en pantalla. Además, encontramos “Obtener_Tendencia_de_KPI” que cumple varias funciones, tales como calcular tiempo medio entre fallos, tiempo medio entre reparaciones, cálculo de disponibilidad de mantenimiento y de impacto, cálculo de uso y utilización global de la planta, además de la utilización de la capacidad del activo.

[Escribir texto]

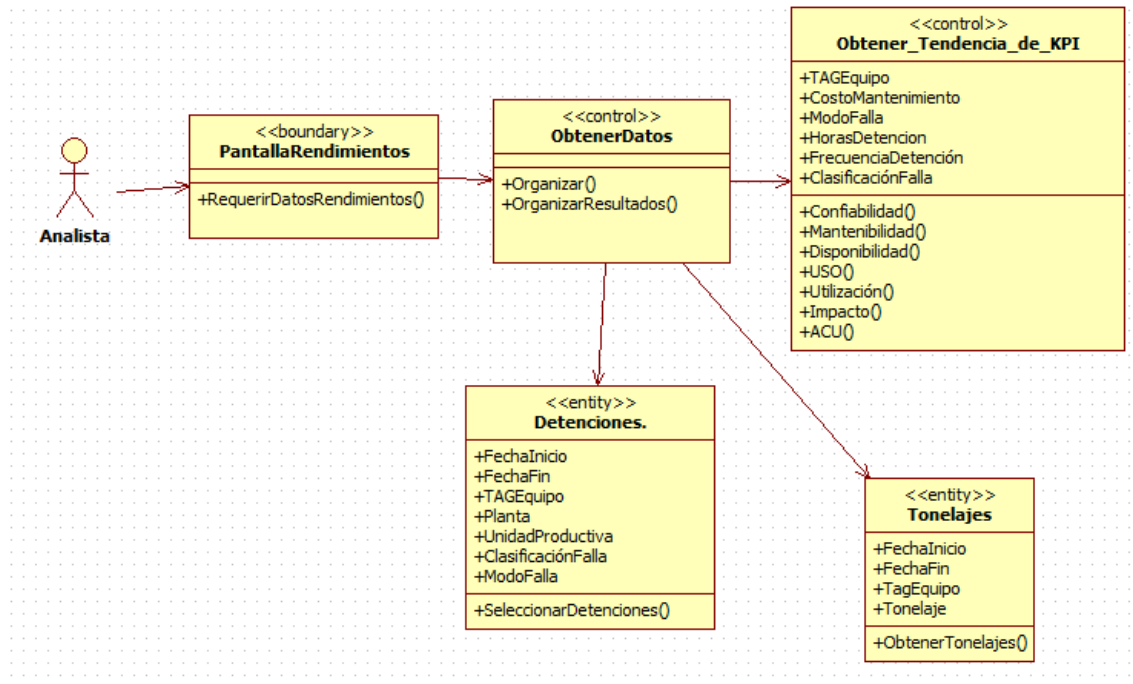


Ilustración 0-103: Diagrama de clases obtener KPI's

12.3.2 Programar transferencias.

Diagrama de Clases programar transferencias.

Modelo: existen tres clases modelo denominadas “Proyectos”, “datoseconómicosProyecto”, “DatosDetención”, que que permite obtener los datos históricos de detenciones y proyectos para crear escenarios en el modelo dinámico de reemplazo.

Vista: una clase vista denominada “Salida” que corresponde a la interfaz que visualiza la gráfica que describe el modelo dinámico de reemplazo.

Controlador: tenemos dos clases de tipo controlador: “Obtener_Datos” que traspasa datos entre clases entity y control, presenta resultados en pantalla. Además, encontramos “Reemplazo_optimo_preventivo” que cumple varias

[Escribir texto]

funciones, tales como generar escenarios de decisión, y determinar el período óptimo de reemplazo.

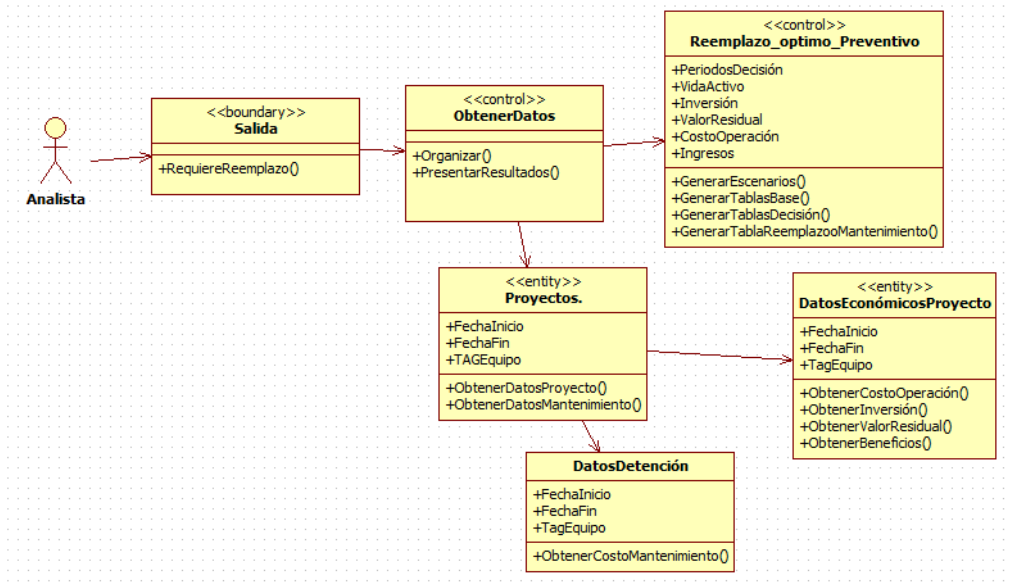


Ilustración 0-104: Diagrama de clases programar transferencias.

12.3.3 Tácticas predictivas

Diagrama de clases Determinar Rendimiento

Modelo: existe una clase modelo denominada “Tonelajes” , que permite obtener los tonelajes históricos de cada uno de los equipos seleccionados por el analista.

Vista: una clase vista denominada “PantallaRendimientos” que corresponde a la interfaz que visualiza las gráficas que describen los resultados operacionales obtenidos en un período determinado por el analista.

Controlador: tenemos dos clases de tipo controlador: “ControlRendimiento” que traspasa datos entre clases entity y control, organiza y presenta resultados en pantalla. Además, encontramos “CálculoRendimiento” que cumple la función de hacer efectivo el cálculo de rendimiento.

[Escribir texto]

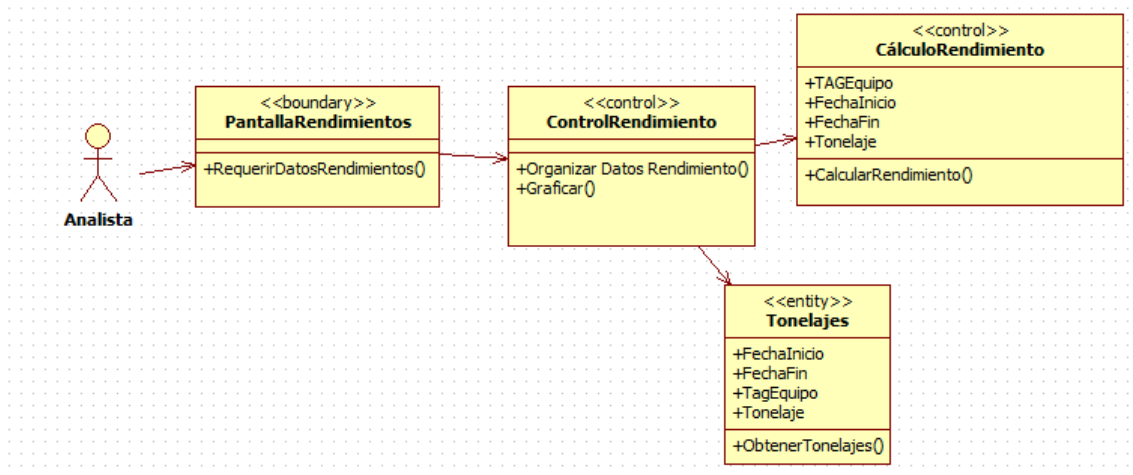


Ilustración 0-105: Diagrama de clases determinar rendimiento.

Diagrama de clases, determinar desgaste

Modelo: existe una clase modelo denominada “Desgastes”, que generaliza a tres instancias: Mantos, cóncavos y cintas. Cada uno de estos objetos, corresponden a un equipo con características que lo diferencian de las otras instancias por su configuración física.

Vista: una clase vista denominada “PantallaDesgaste”, corresponde a la interfaz que visualiza las gráficas que describen las mediciones de desgaste obtenidos en el proceso de mantenimiento.

Controlador: existen dos clases de tipo controlador: “ControlDesgaste” que traspasa datos entre clases entity y control, organiza y presenta resultados en pantalla para graficar. Además, “CálculoDesgaste” que cumple la función de hacer efectivo el cálculo de desgaste.

[Escribir texto]

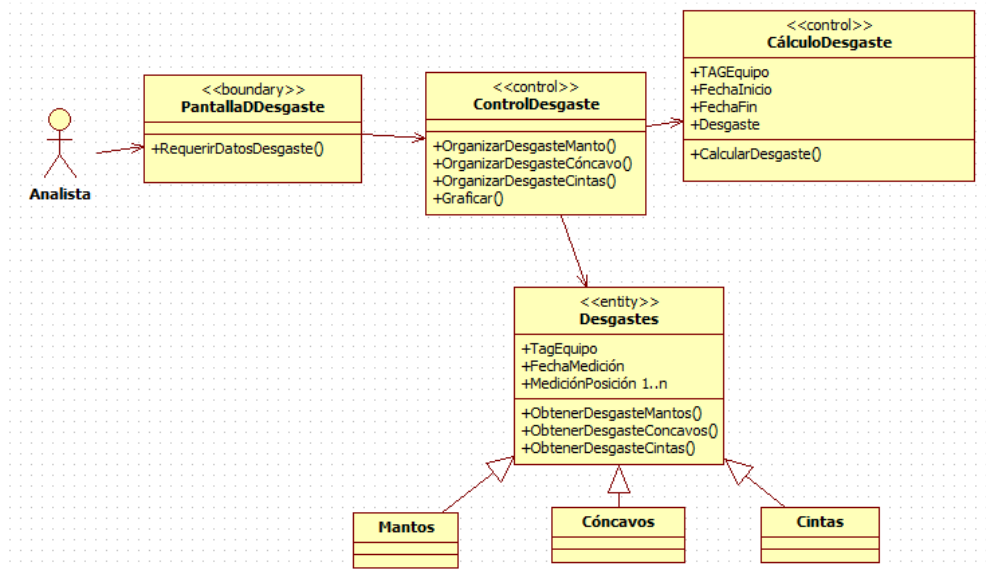


Ilustración 0-106: Diagrama de clases determinar desgaste.

12.4 Estructura Paquete de Datos

Tonelajes.

Tabla diseñada para almacenar datos relacionados a tonelajes procesados por unidades productivas, de esta manera, se obtienen rendimientos globales y se generan cálculos para obtener la utilización de la capacidad del sistema.

Fallas

Estructura diseñada para almacenar datos relacionados a los modos de fallo por cada equipo definido en el perfil de catálogo, para focalizar el esfuerzo para aplicar tácticas y estrategias de mantenimiento.

Detenciones

[Escribir texto]

Tabla que permite almacenar datos relacionados con eventos ocurridos en planta, estos eventos pueden ser planificados o no programados, además, determinan la confiabilidad del sistema.

Equiposleg

Corresponde a una tabla que permite almacenar datos relacionados a la caracterización de equipos, que conforman la línea crítica de producción, para completar el perfil de catálogo.

Planbud

Tabla que permite almacenar datos relacionados a las metas de largo plazo, para unidades productivas que conforman el sistema, de esta manera, es posible contrastar los resultados obtenidos versus los planificados.

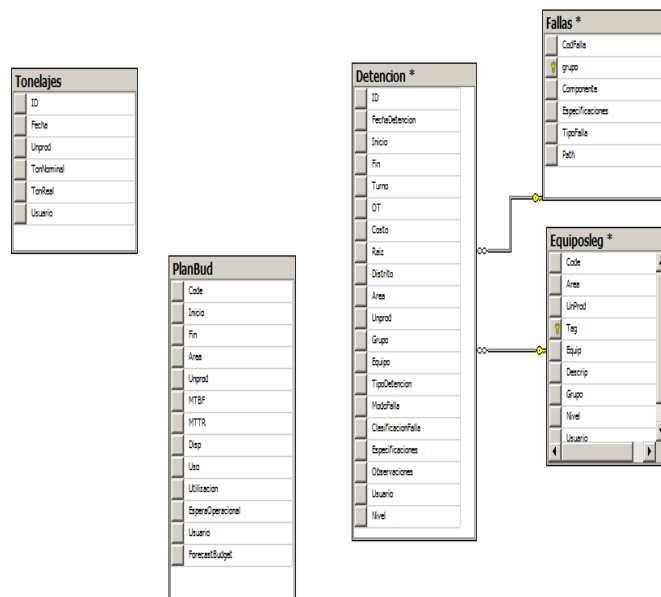


Ilustración 0-107: Estructura de datos.

[Escribir texto]

15. Prototipo

Los procesos diseñados en este trabajo tienen por objeto describir las actividades que hacen uso de esta plataforma, los actores involucrados, sus entradas, salidas, controles y recursos habilitadores. Todo esto, con un análisis en descenso, donde la arquitectura empresarial (diseño de alto nivel) gobierna los procesos de negocios e identifica las oportunidades futuras.

Una vez que ha sido definida la infraestructura de procesos, la metodología de la Ingeniería de Negocios es explícita en simplificar el desarrollo de prototipo, enfocando los esfuerzos en la definición de analítica y lógica compleja.

Tomando como base esta información, la documentación (casos de uso, diagrama de secuencias, diagramas de clases y base de datos), para este trabajo, solo se enfoca en el módulo “**Portal de Análisis**”, el resto de los módulos que componen el sistema son triviales y transaccionales.

15.1 Módulo Portal de Análisis

Módulo que responde a las expectativas de los procesos definidos en “11.2.5 Eliminación de pérdidas” y “11.2.7 Decidir tácticas para utilizar recursos”. Además, describe los eventos que se producen en los procesos de “11.1.8 Producción y entrega”.

[Escribir texto]

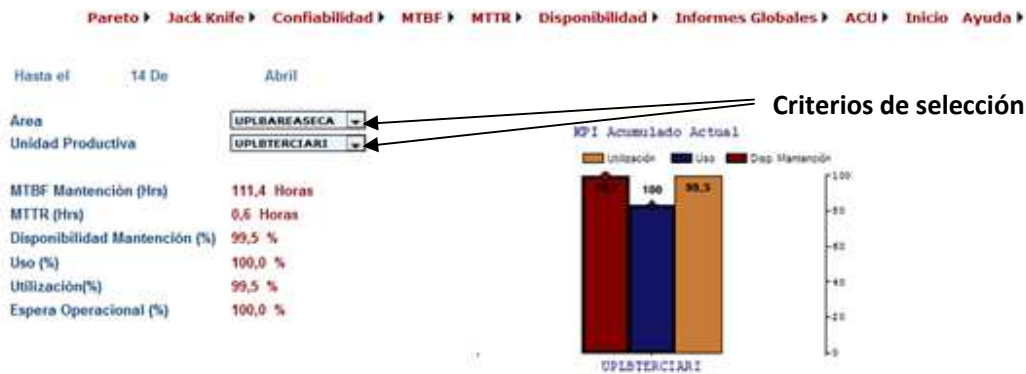


Ilustración 0-108: Pantalla principal, portal de análisis.

El esquema anterior depende de la actividad “Ejecutar tendencia de KPI’s”, en el proceso “Eliminación de pérdidas” y contiene indicadores que describen el comportamiento de la planta en estudio.

Los cálculos consideran un período que va desde el primer día del mes en curso, hasta el día actual menos uno, dado que se considera que el analista debe depurar los datos antes de ser clasificados como válidos para ser procesados por un sistema de cómputo.

15.1.1 Menú de acceso a lógica de negocios

Para asegurar la navegabilidad del sistema, se ha creado un menú desplegable que permite otorgar acceso a la lógica de negocios que apoya al proceso de toma de decisiones.

Los módulos definidos para el proceso de análisis son los siguientes:

[Escribir texto]

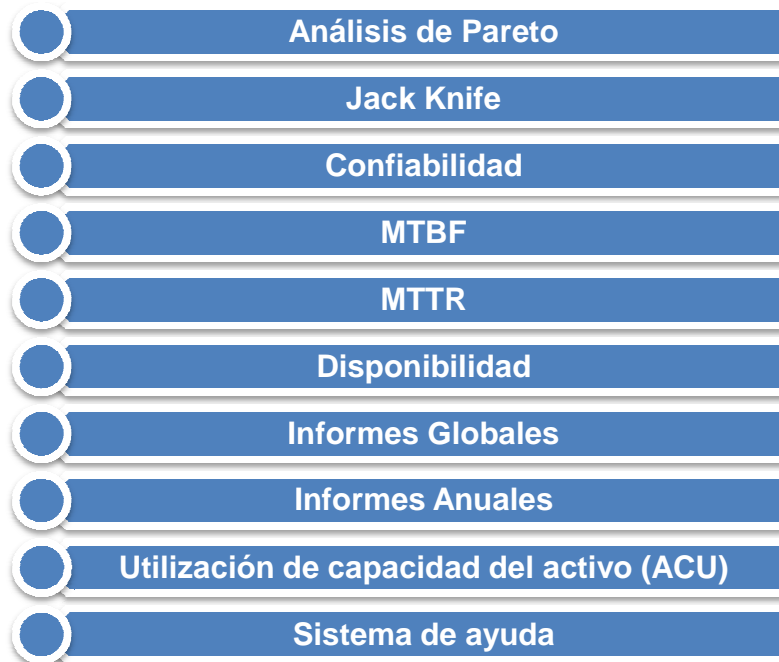


Ilustración 0-109: Módulos de acceso a lógica de negocios.

15.1.2 Análisis de Pareto

Presente en el proceso “Eliminación de pérdidas”, actividad “Ejecutar análisis de Pareto”. Es una herramienta muy utilizada en producción industrial, dado que permite discriminar entre las variables que provocan un mayor impacto al negocio por la frecuencia con que estas se presentan de forma empírica.

El análisis de Pareto busca probar el supuesto de que el 80% de los costos de mantenimiento y reparación provienen del 20% de las fallas.

A continuación se describen cada una de las gráficas que configuran el análisis de Pareto:



Ilustración 0-110: Menú de acceso análisis de Pareto por área

[Escribir texto]

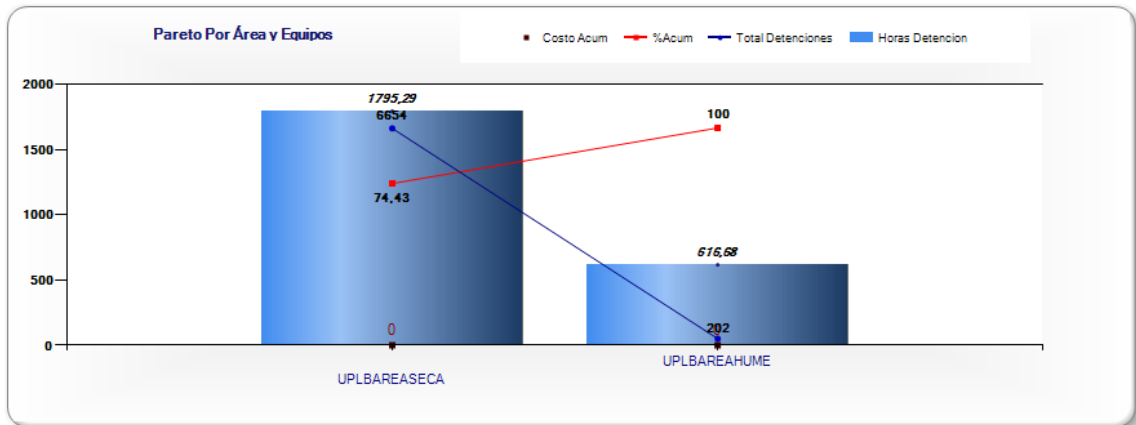


Ilustración 0-111: Pareto por área



Ilustración 0-112: Menú de acceso a Pareto por área y especialidad

Los criterios de selección son el período de tiempo en estudio y el área involucrada, agrupada por unidades productivas.

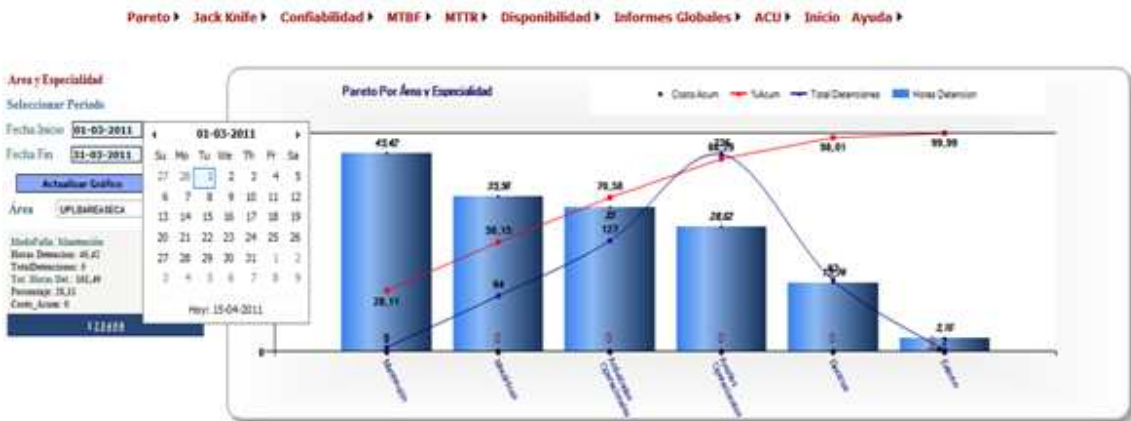


Ilustración 0-113: Pareto por especialidad agrupado por unidad productiva.

[Escribir texto]



Ilustración 0-114: Menú de acceso a Pareto por área, modo de falla y especialidad

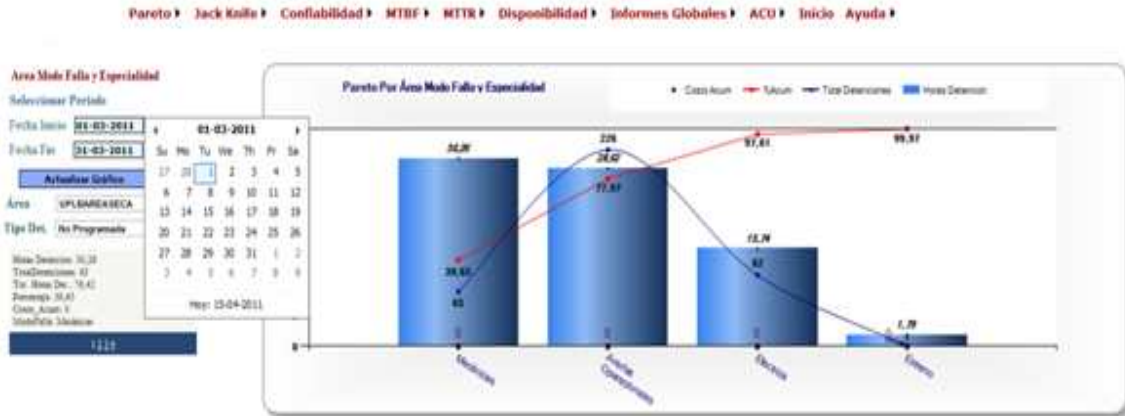


Ilustración 0-115: Pareto por área, modo de falla y especialidad.



Ilustración 0-116: Menú de acceso a Pareto por unidad productiva.

[Escribir texto]

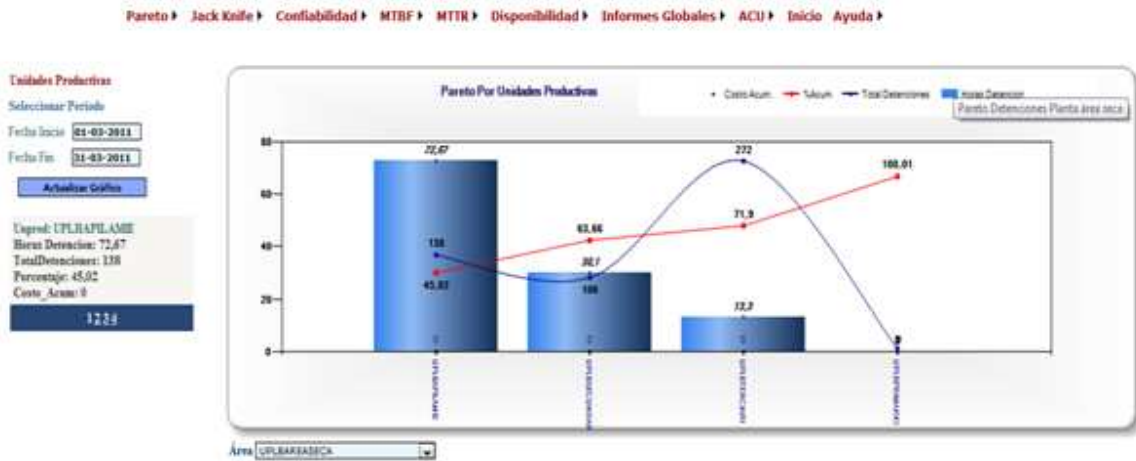


Ilustración 0-117: Pareto por unidad productiva



Ilustración 0-118: Menú de acceso a Pareto por Unidad productiva y especialidad.



Ilustración 0-119: Pareto por unidad productiva y especialidad.

[Escribir texto]



Ilustración 0-120: Menú de acceso a Pareto por unidad productiva, modo de falla y especialidad.

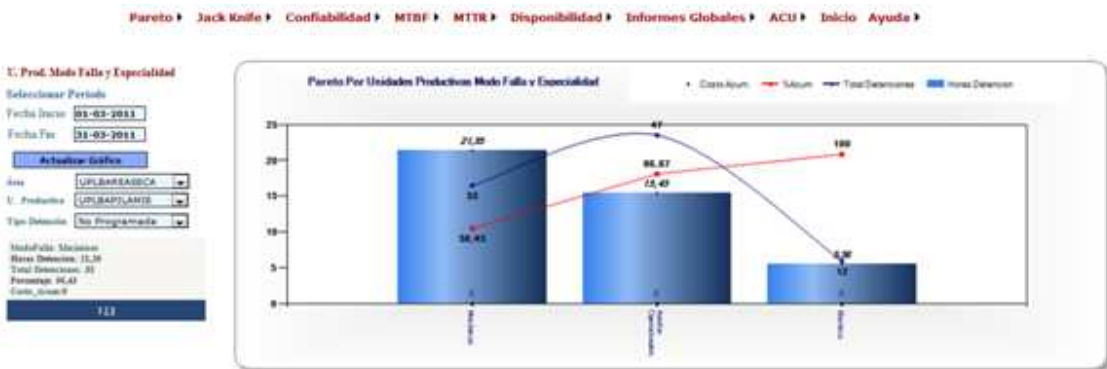


Ilustración 0-121: Pareto por unidad productiva, modo de falla y especialidad.



Ilustración 0-122: Menú de acceso a Pareto por unidad productiva y equipos.

[Escribir texto]

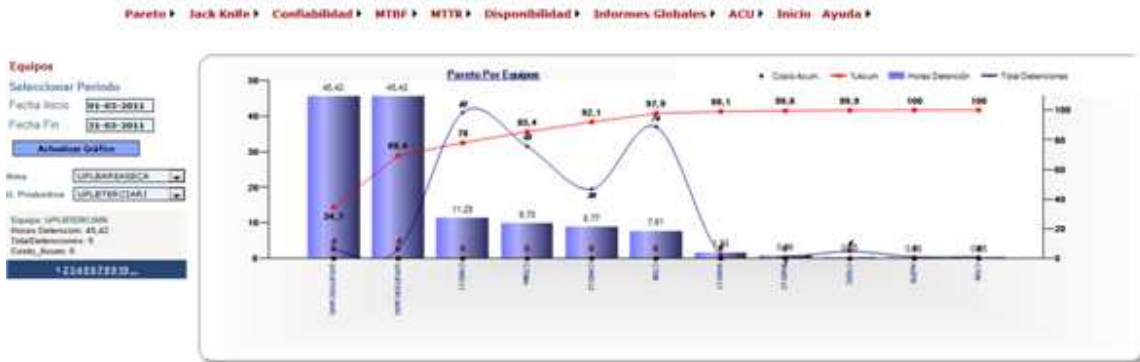


Ilustración 0-123: Pareto por unidad productiva y equipo.

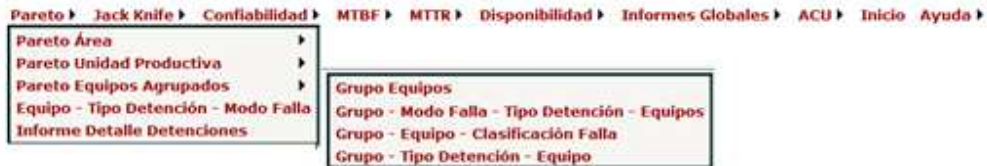


Ilustración 0-124: Menú de acceso a Pareto por equipos agrupados.



Ilustración 0-125: Pareto por equipos agrupados.

[Escribir texto]



Ilustración 0-126: Menú de acceso a Pareto por grupo, modo de falla, tipo detención y equipos.

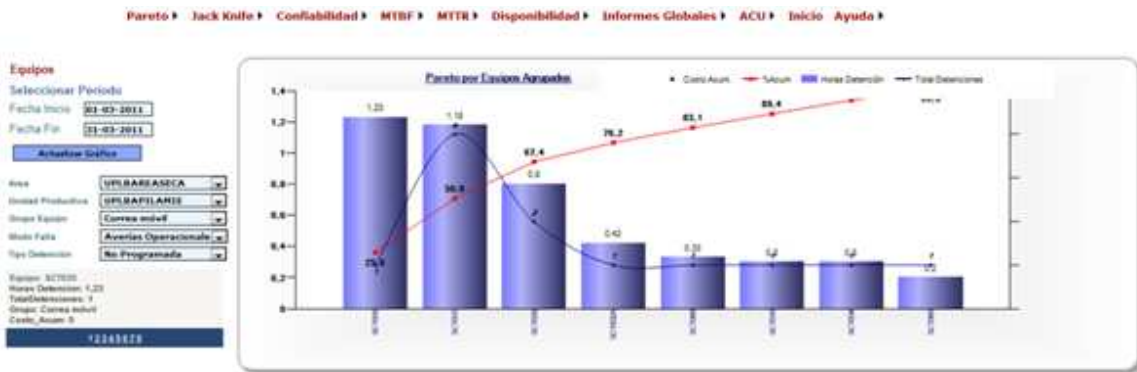


Ilustración 0-127: Pareto por grupo, modo de falla, tipo detención y equipos.



Ilustración 0-128: Menú de acceso a Pareto por grupo, equipos y clasificación de falla.

[Escribir texto]

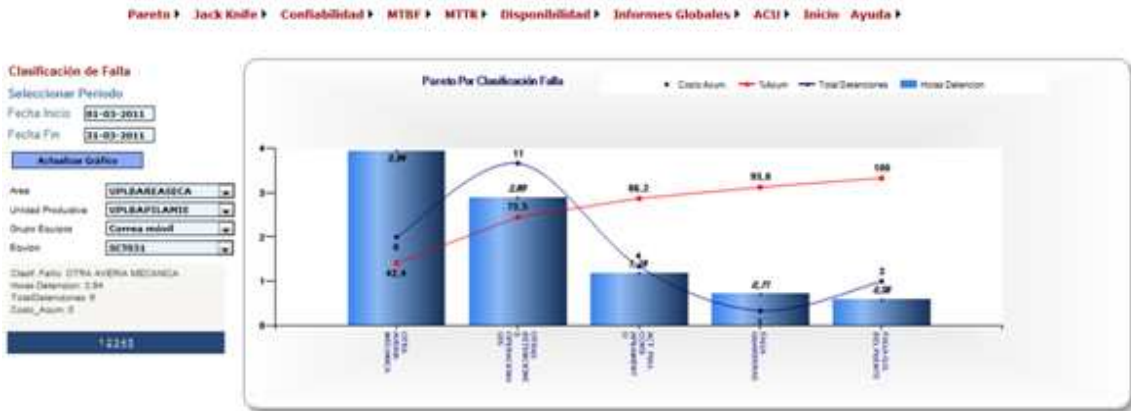


Ilustración 0-129: Pareto por grupo, equipos y clasificación de falla.



Ilustración 0-130: Menú de acceso a Pareto por grupo, tipo detención y equipos.

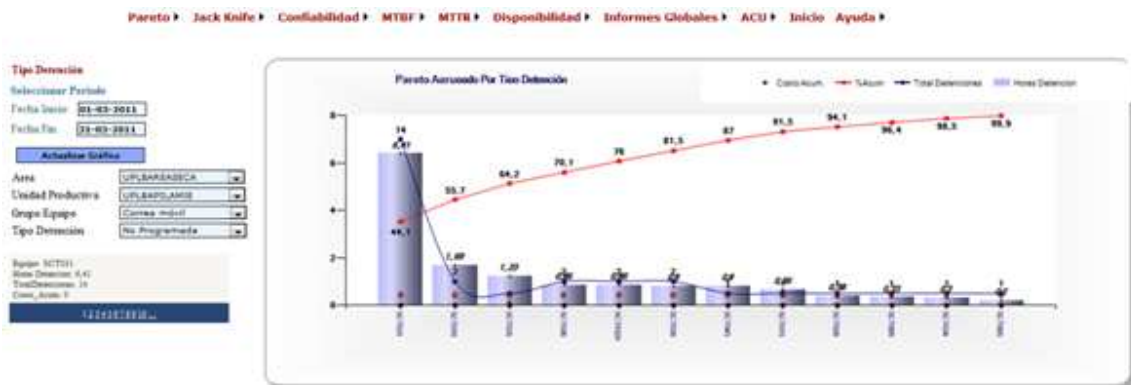


Ilustración 0-131: Pareto por grupo, tipo detención y equipos.

[Escribir texto]



Ilustración 0-132: Menú de acceso a Pareto por Equipo, tipo detención y modo de falla.

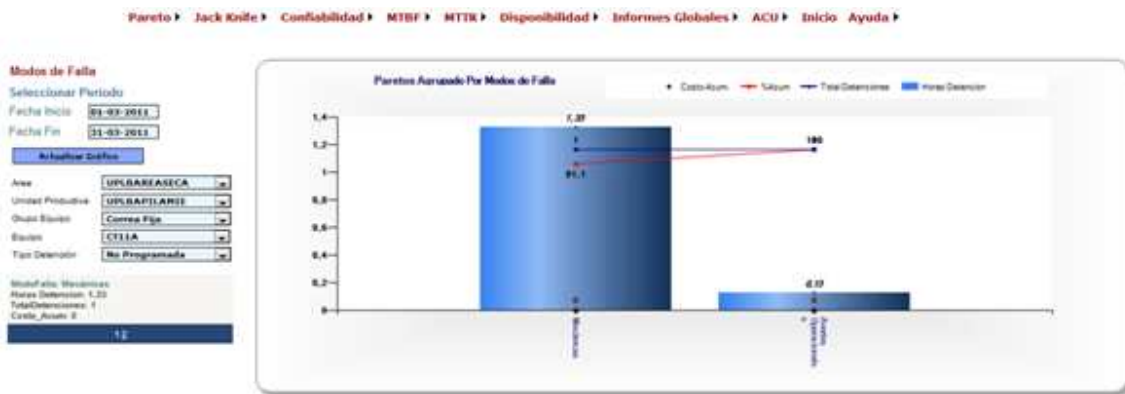


Ilustración 0-133: Pareto por Equipo, tipo detención y modo de falla.



Ilustración 0-134: Menú de acceso a detalle detenciones

[Escribir texto]

Una vez que ha seleccionado el período de análisis y el área como criterio de selección, entonces debe hacer Clic en el icono para la actualización de informes.

Fecha	Inicio	Horas	Unidad Prod.	Equipo	OT	Costo	Tipo Det.	Modo Falla	Clasificación Falla	Especific.
10/1/2010	10/1/2010 8:10:00 AM	0:00	UPLBAREASECA	CHC	0	0	No Programada	Alerta Operaciones	TADA CHAVACADOR SECUNDARIO ALTA	0
10/1/2010	10/1/2010 2:00:00 PM	0:00	UPLBAREASECA	CHC	0	0	No Programada	Alerta Operaciones	TADA CHAVACADOR SECUNDARIO ALTA	0

Ilustración 0-135: Informe detalle detenciones

Pareto ▶ Jack Knife ▶ Confiabilidad ▶ MTBF ▶ MTTR ▶ Disponibilidad ▶ Informes Globales ▶ ACU ▶ Inicio Ayuda

Seleccionar el formato al cual desea exportar el informe y luego debe hacer Clic en Export

Fecha	Inicio	Horas	Unidad Prod.	Equipo	OT	Costo	Tipo Det.	Modo Falla	Clasificación Falla	Especific.
10/1/2010	10/1/2010 8:10:00 AM	0:00	UPLBAREASECA	CHC	0	0	No Programada	Alerta Operaciones	TADA CHAVACADOR SECUNDARIO ALTA	0
10/1/2010	10/1/2010 2:00:00 PM	0:00	UPLBAREASECA	CHC	0	0	No Programada	Alerta Operaciones	TADA CHAVACADOR SECUNDARIO ALTA	0

Ilustración 0-136: Exportar detalle detenciones

[Escribir texto]

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled 'Informe Clarks' with the subtitle 'Muestreo de...'. The report is for 'Informe Resumen Unidad Productiva (PLMAREA SECA)' covering the period from 'Desde: 09/12/10' to 'Hasta: 10/12/10'. The 'Fecha de Rec.' is '2/14/2011'. The table contains the following columns: Fecha, Hora, Horas, Unidad Prod., Equipo, UT, Causa, Tipo Det., Modo Falt., Clasificación Falt., and Especifico. The data rows show various dates and times, with 'Causa' entries like 'No se detectó' and 'No se detectó', and 'Tipo Det.' entries like 'No detectado' and 'No detectado'.

Ilustración 0-137: Informe detalle detenciones Excel.

Si el usuario selecciona Acrobat (PDF) File, entonces el resultado será el siguiente

The screenshot shows the Adobe Reader application displaying a PDF document of the 'Informe Clarks' report. The report content is identical to the Excel version shown in the previous image, including the title, subtitle, period, date, and the table of detention details.

Ilustración 0-138: Informe detalle detenciones en formato PDF.

[Escribir texto]

Si bien, el Pareto es una herramienta poderosa que resume en un par de gráficas el comportamiento del sistema, es necesario profundizar aún más. Para esto, utilizamos una nueva instancia de análisis que se denomina Jack Knife.

No existe una respuesta definitiva, pero es posible comparar ambas técnicas.

El análisis de Pareto muestra cuales son los códigos de falla que tienen un mayor impacto en la gestión, en la producción, en el medio ambiente, etc. En resumen, es una herramienta que prioriza los esfuerzos.

El análisis de Jack – Knife permite priorizar y focalizar los esfuerzos de forma más específica, ya que identifica fallas crónicas y agudas. Además, permite saber si los esfuerzos han generado resultados satisfactorios.

15.1.3 Análisis Jack – Knife

Presente en el proceso “Eliminación de pérdidas”, actividad “Ejecutar análisis Jack Knife”, que prioriza oportunidades de mantenimiento.

Su gráfica describe la evolución de un código de falla, clasificando su estado como crónico, agudo o ambas. La selección de informes en períodos consecutivos permite establecer comparaciones para evaluar la gestión de mantenimiento.

Una falla aguda significa problemas en prácticas de inspección, mantención preventiva, diseño o escasa disponibilidad de recursos (mano de obra, maquinaria, repuestos), las fallas crónicas coinciden con problemas en la operación de equipos industriales o en la calidad e los materiales como repuestos, lubricantes.

[Escribir texto]



Ilustración 0-139: Menú de acceso a Jack Knife por unidades productivas.

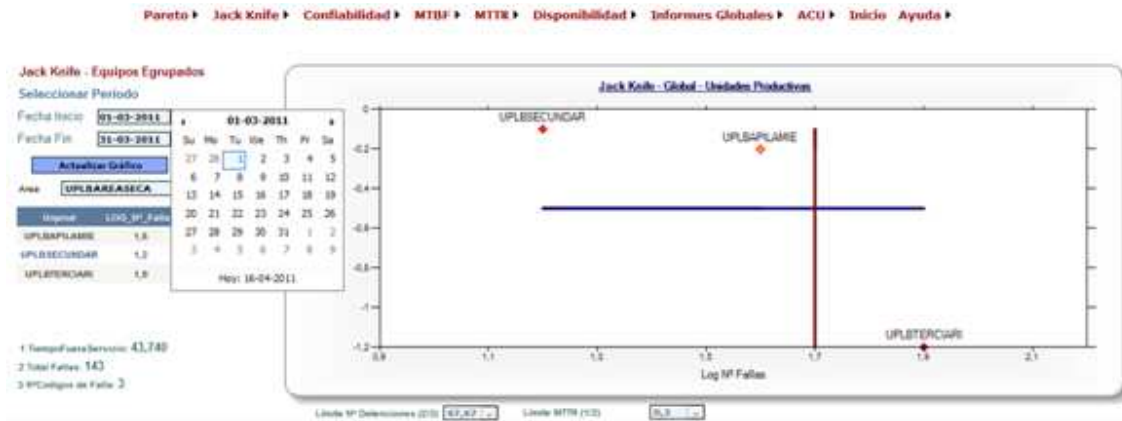


Ilustración 0-140: Jack Knife por unidades productivas.



Ilustración 0-141: Menú de acceso a Jack Knife por equipos

[Escribir texto]

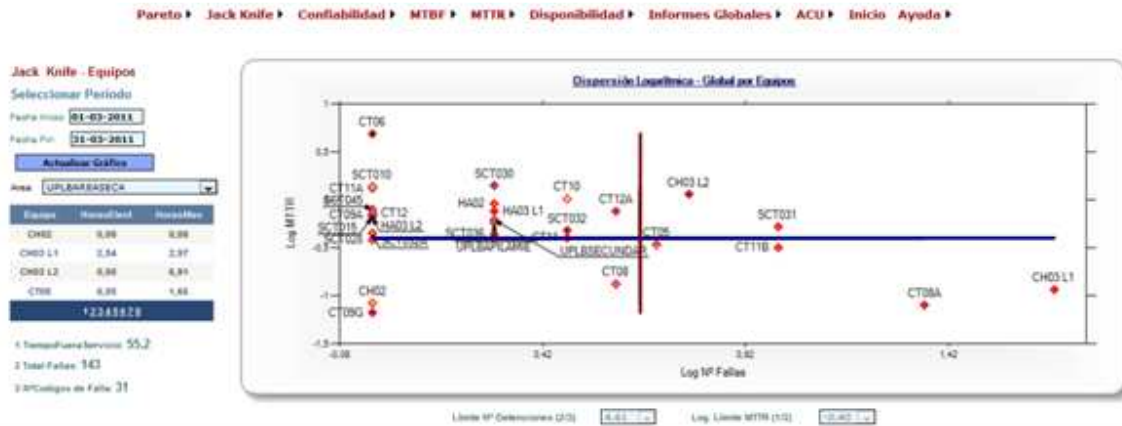


Ilustración 0-142: Jack Knife por equipos.



Ilustración 0-143: Menú de acceso a Jack Knife por clasificación de falla.

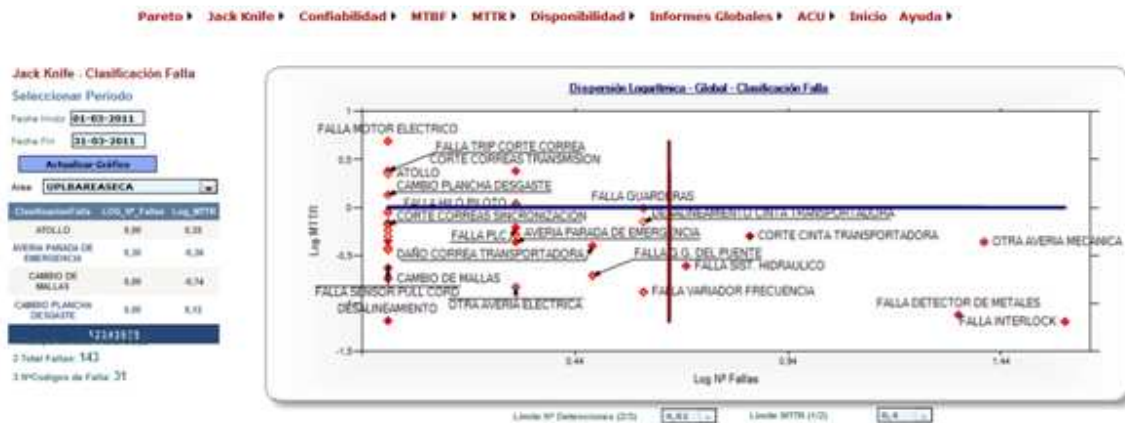


Ilustración 0-144: Jack Knife por clasificación de falla.



Ilustración 0-145: Menú de acceso a Jack Knife por equipos agrupados.

[Escribir texto]

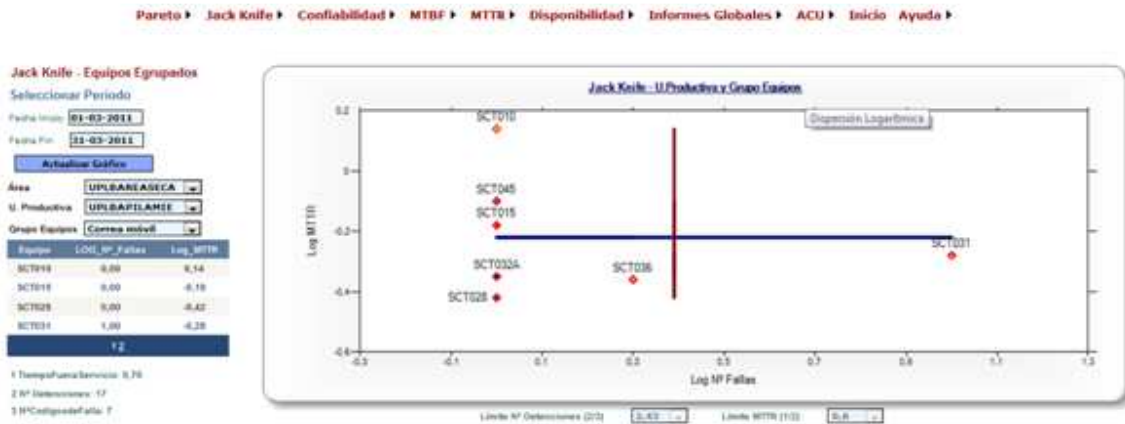


Ilustración 0-146: Jack Knife por equipos agrupados.



Ilustración 0-147: Menú de acceso a Jack Knife por unidad productiva y clasificación de falla.

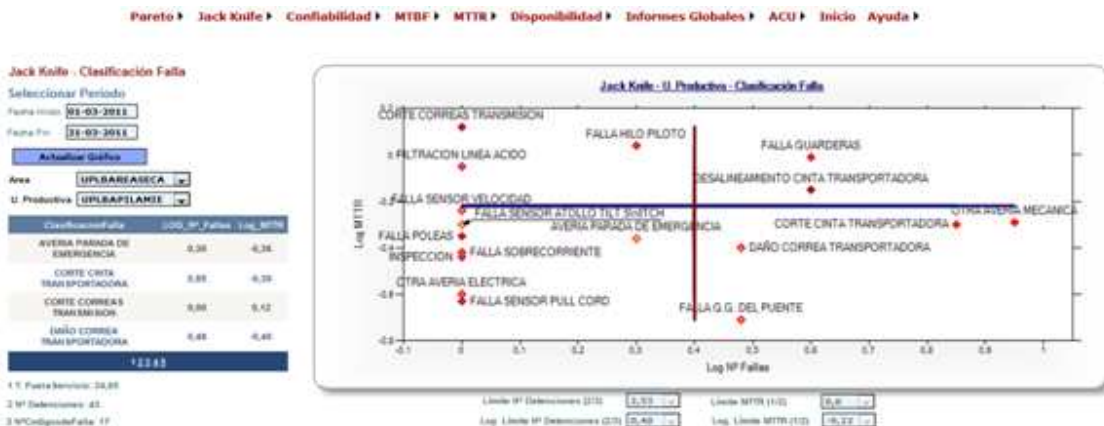


Ilustración 0-148: Jack Knife por unidad productiva y clasificación de falla.

[Escribir texto]

15.1.4 Confiabilidad Exponencial

Presente en el proceso “Eliminación de pérdidas”, actividad “Ejecutar análisis Weibull” y en el proceso “táctica predictiva”, actividad “obtener probabilidad de supervivencia”.

La confiabilidad de un equipo industrial está dada, generalmente, por el tiempo que se espera que dicho elemento funcione de manera satisfactoria.

Estadísticamente, se denomina como una expectativa de este tiempo hasta que se produzca un fallo (MTTF Mean Time To Fail). Alternativamente, en sistemas que son reparados continuamente y continúan funcionando después que se produce un fallo, la expectativa se llama tiempo medio entre fallos (MTBF Mean Time Between Fail).

$$E(T) = MTTF = MTBF = \int_0^{\infty} \lambda t e^{-\lambda t} dt$$

Donde

$$E(T) = MTTF = MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

Por lo tanto

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

Así mismo, la función de distribución

$$\int_0^t \lambda e^{-\lambda t} dt$$

De esta manera, la probabilidad de supervivencia es:

$$R(t) = e^{-\lambda t}; \text{ Como } MTBF = \frac{1}{\lambda} \text{ Tenemos que } R(t) = e^{-\frac{t}{MTBF}}$$

Así también, la probabilidad de ocurrencia de un fallo tiene la siguiente distribución:

[Escribir texto]

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t}; \text{ O bien: } F(t) = 1 - e^{-\frac{t}{MTBF}}$$

Para este análisis se asume que la tasa de fallos es constante.



Ilustración 0-149: menú de acceso a confiabilidad exponencial por unidades productivas.

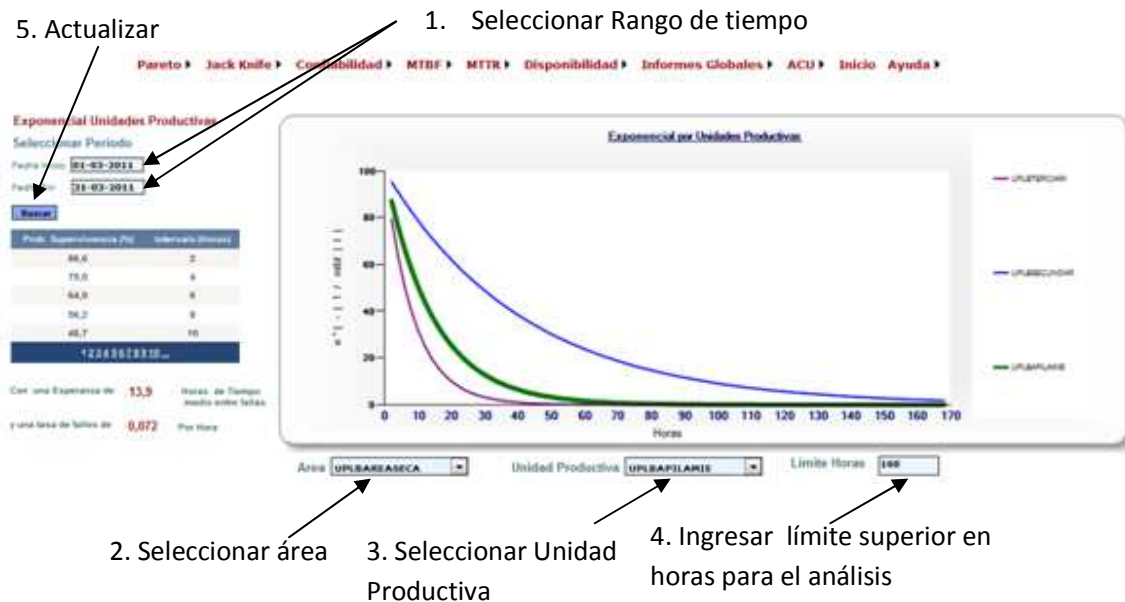


Ilustración 0-150: Confiabilidad exponencial por unidades productivas.



Ilustración 0-151; menú de acceso a confiabilidad exponencial por equipos agrupados.

[Escribir texto]

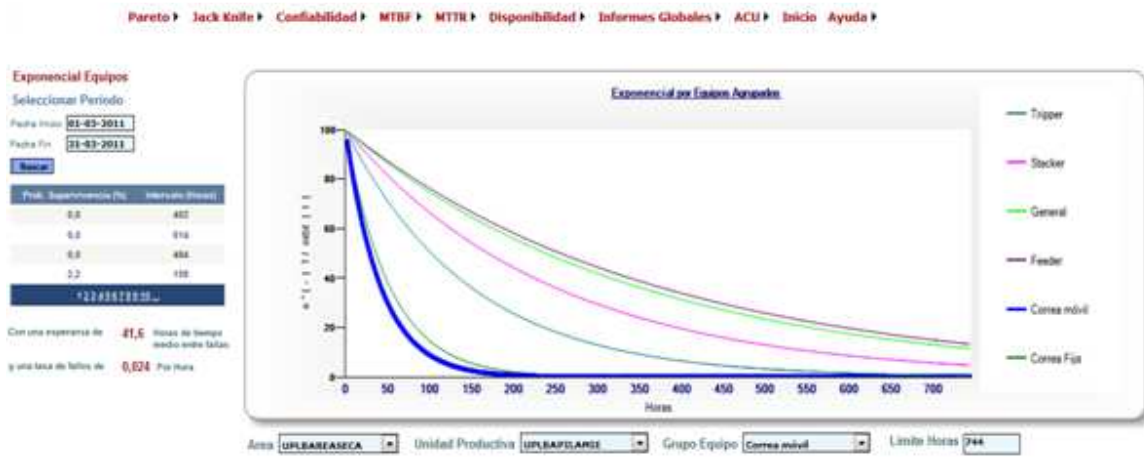


Ilustración 0-152: Confiabilidad exponencial por equipos agrupados.



Ilustración 0-153: menú de acceso a confiabilidad exponencial por equipos.

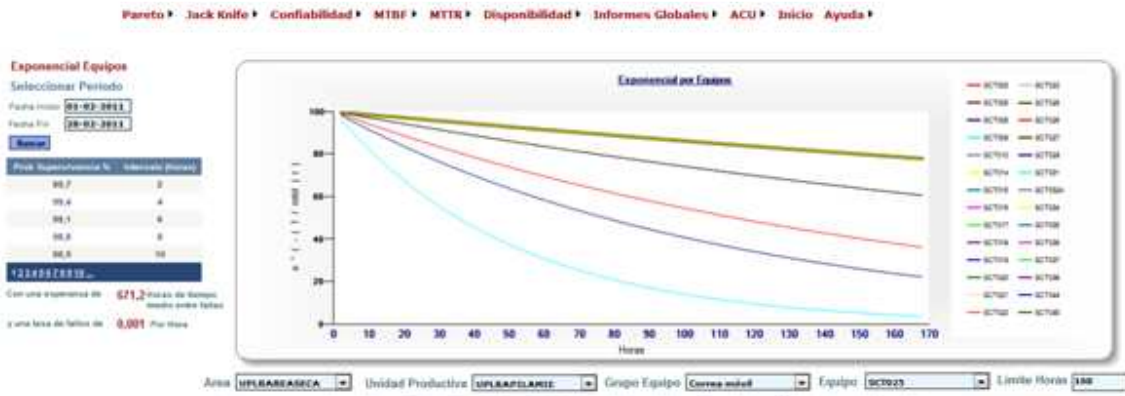


Ilustración 0-154: Confiabilidad exponencial por equipos.

[Escribir texto]

15.1.5 Tiempo medio entre fallos

Presente en el proceso “Eliminación de pérdidas”, actividad “Ejecutar tendencias de KPI’s”.

Uno de los parámetros de la disponibilidad es el tiempo medio entre fallos, el cual es considerado como un factor de confiabilidad del sistema en estudio.

El resultado esperado para este indicador es tender a extender su valor, disminuyendo la tasa de fallos, teniendo como consecuencia un incremento en la confiabilidad del equipamiento industrial.



Ilustración 0-155: Menú de acceso a tiempo medio entre fallos (MTBF) por área

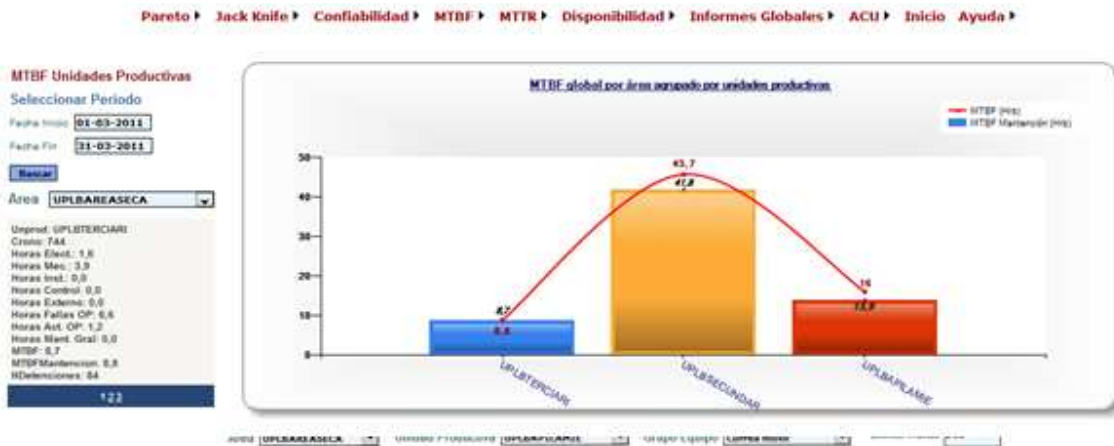


Ilustración 0-156: tiempo medio entre fallos (MTBF) por área

[Escribir texto]



Ilustración 0-157: Menú de acceso a Tiempo medio entre fallos diario por Unidad Productiva

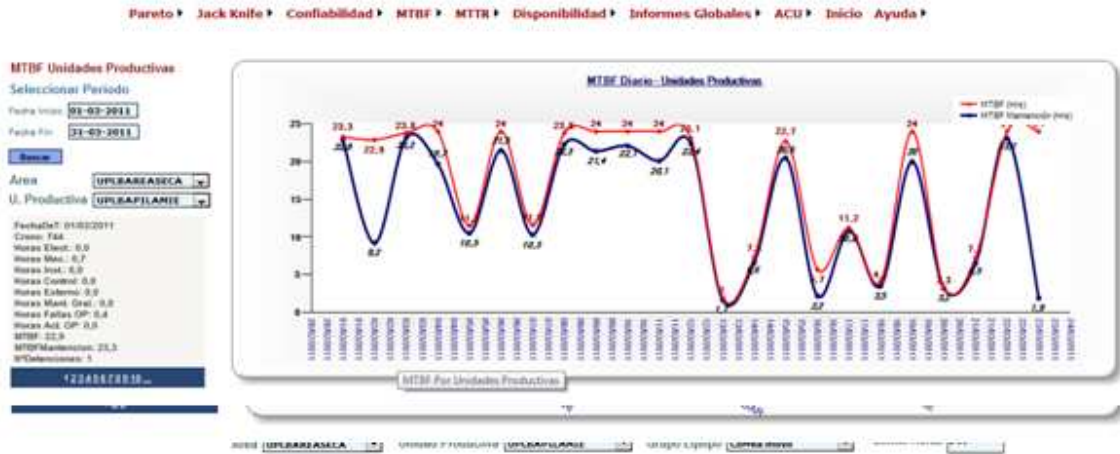


Ilustración 0-158: Tiempo medio entre fallos diario por Unidad Productiva



Ilustración 0-159: Menú de acceso a Tiempo medio entre fallos por equipos agrupados

[Escribir texto]



Ilustración 0-160: Tiempo medio entre fallos por equipos agrupados



Ilustración 0-161: Menú de acceso a tiempo medio entre fallos por equipos individuales.

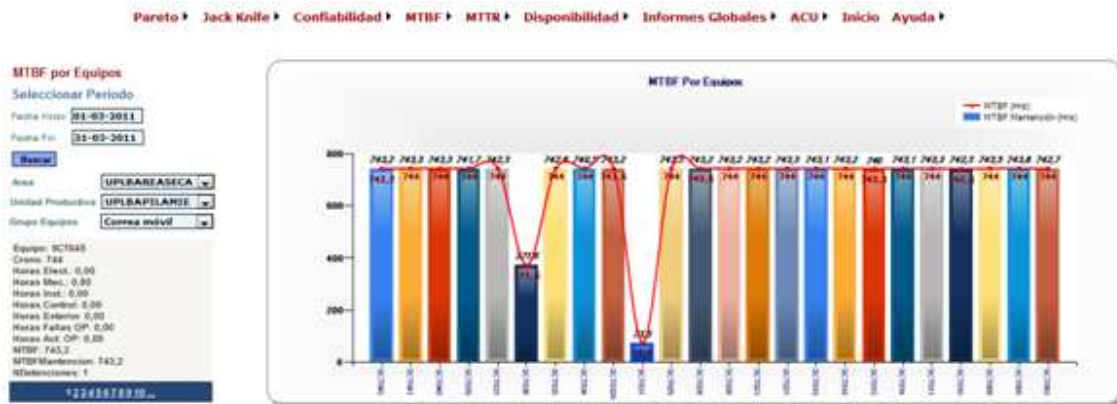


Ilustración 0-162: Tiempo medio entre fallos por equipos individuales

[Escribir texto]



Ilustración 0-163: Menú de acceso a Tiempo medio entre fallos acumulado diario por equipos individuales

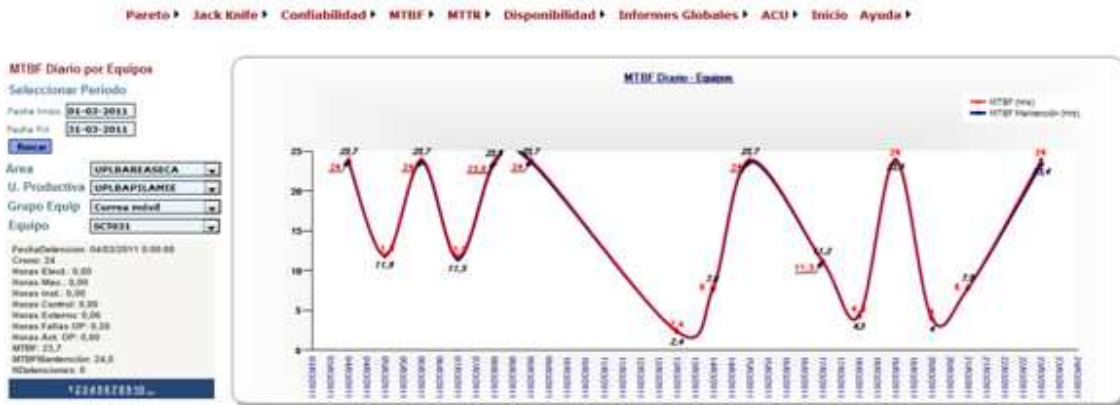


Ilustración 0-164: Tiempo medio entre fallos acumulado diario por equipos individuales

15.1.6 Tiempo Medio entre reparaciones

Presente en el proceso “Eliminación de pérdidas”, actividad “Ejecutar tendencias de KPI’s”.

Un segundo parámetro de la disponibilidad es el tiempo medio entre reparaciones, el cual es considerado como un factor de Mantenibilidad. La Mantenibilidad se encuentra relacionada directamente a la fase de diseño de equipos, de la planta, calidad de trabajo, etc.

Los resultados esperados para este indicador es tender a la disminución, incrementando la disponibilidad de la planta y la eficiencia del proceso.

[Escribir texto]



Ilustración 0-165: Menú de acceso a Tiempo medio entre reparaciones por área



Ilustración 0-166: Tiempo medio entre reparaciones por área

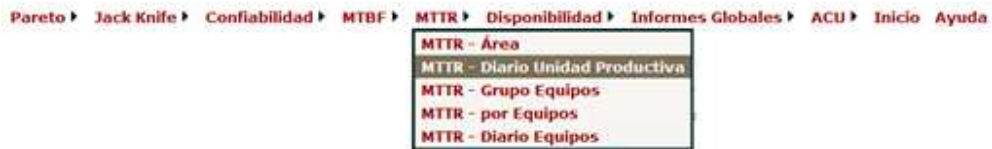


Ilustración 0-167: Menú de acceso a Tiempo medio entre reparaciones acumulado diario por Unidades productivas

[Escribir texto]

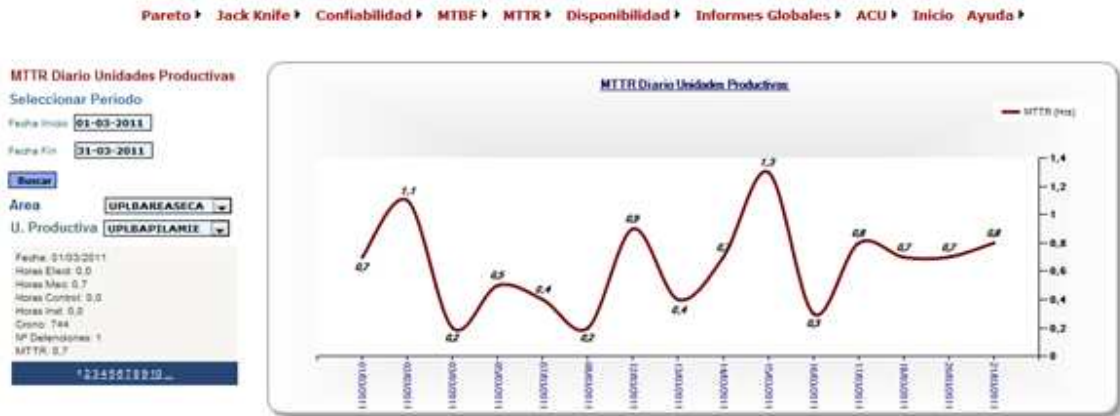


Ilustración 0-168: Tiempo medio entre reparaciones acumulado diario por Unidades productivas

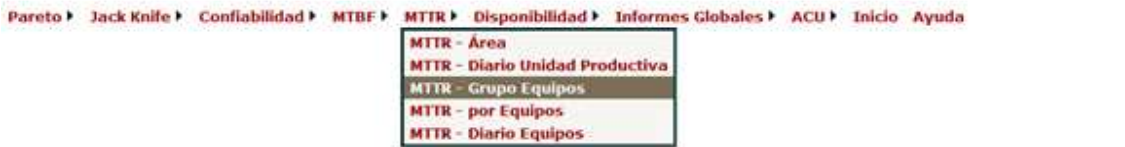


Ilustración 0-169: Tiempo medio entre reparaciones por equipos agrupados

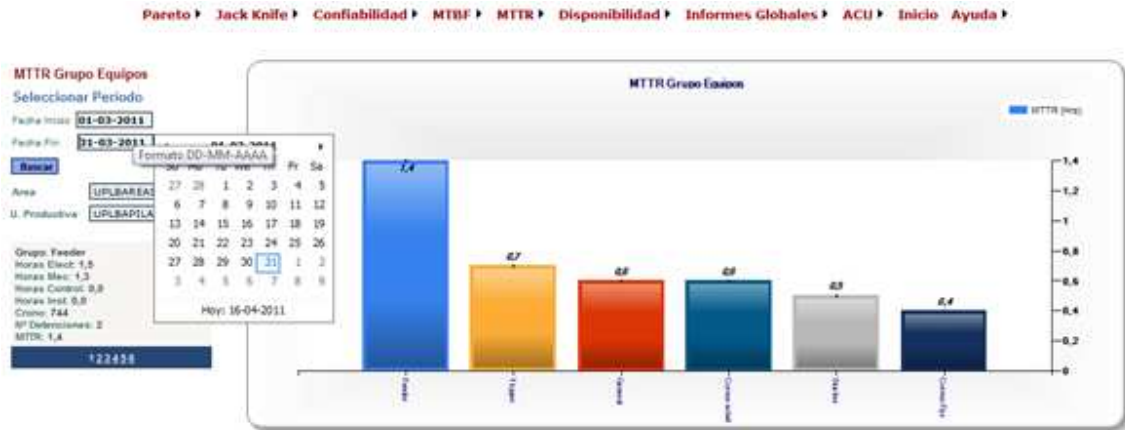


Ilustración 0-170: Tiempo medio entre reparaciones por equipos agrupados

[Escribir texto]



Ilustración 0-171: Tiempo medio entre reparaciones por equipos individuales:

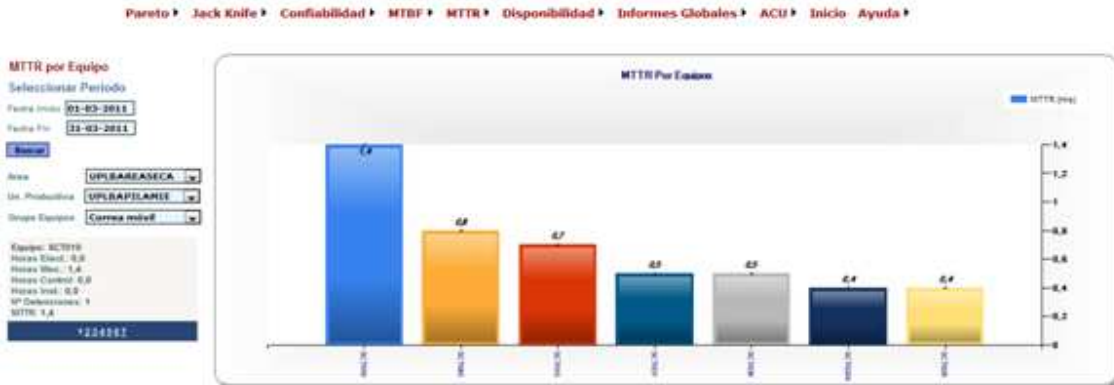


Ilustración 0-172: Tiempo medio entre reparaciones por equipos individuales



Ilustración 0-173: Menú de acceso a Tiempo medio entre reparaciones acumulado diario por equipos individuales

[Escribir texto]



Ilustración 0-174: Tiempo medio entre reparaciones acumulado diario por equipos individuales

15.1.7 Disponibilidad

Presente en el proceso “Eliminación de pérdidas”, actividad “Ejecutar tendencias de KPI’s”. Es una medida porcentual del tiempo disponible entregado por mantenimiento, como base para el uso por parte de operaciones.

Para el presente estudio se han considerado dos tipos de disponibilidades básicas: la disponibilidad de mantención, que solo considera las detenciones ocasionadas por mantenimiento y la disponibilidad física, que tiene como objetivo obtener el tiempo disponible considerando además las detenciones por fallos operacionales.

De esta manera el análisis considera un cuadro comparativo de estas disponibilidades que permite distinguir si existe un margen creciente o decreciente respecto a la variable operacional.

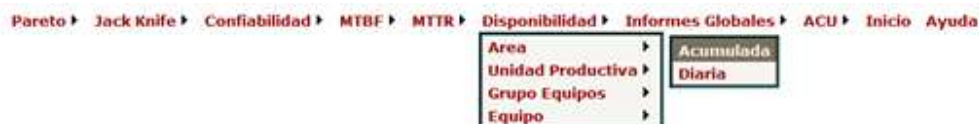


Ilustración 0-175: Menú de acceso a Disponibilidad acumulada mensual por área
232

[Escribir texto]

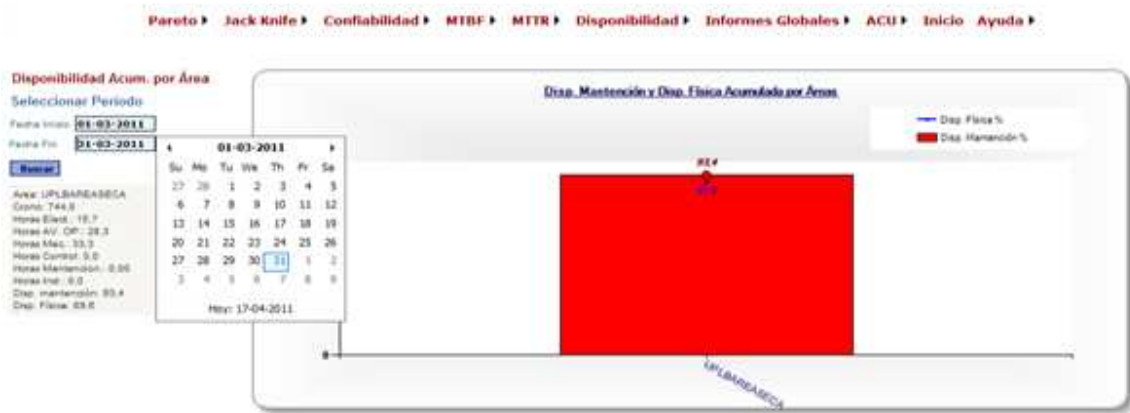


Ilustración 0-176: Disponibilidad acumulada mensual por área



Ilustración 0-177: Menú de acceso a Disponibilidad acumulada diaria por área

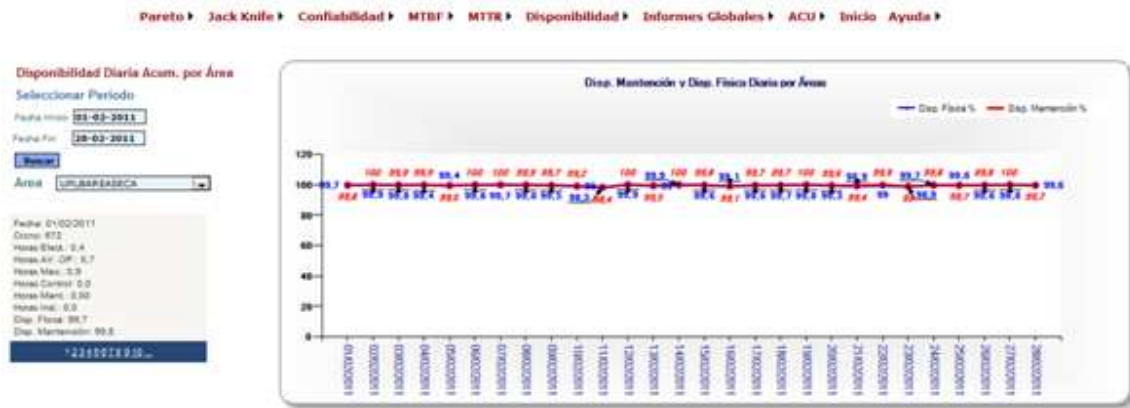


Ilustración 0-178: Disponibilidad acumulada diaria por área

[Escribir texto]



Ilustración 0-179: Menú de acceso a Disponibilidad Acumulada por unidades productivas

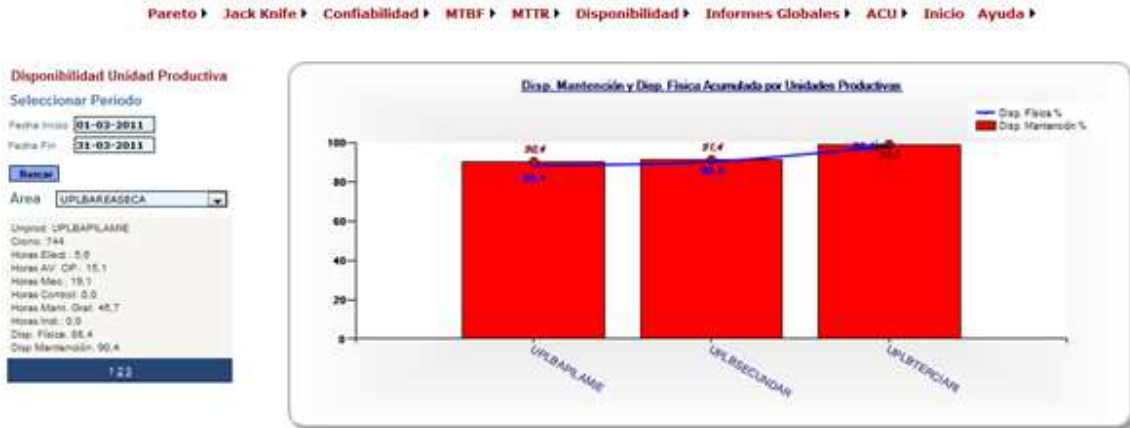


Ilustración 0-180: Disponibilidad Acumulada por unidades productivas



Ilustración 0-181: Menú de acceso a Disponibilidad diaria acumulada por unidades productivas

[Escribir texto]

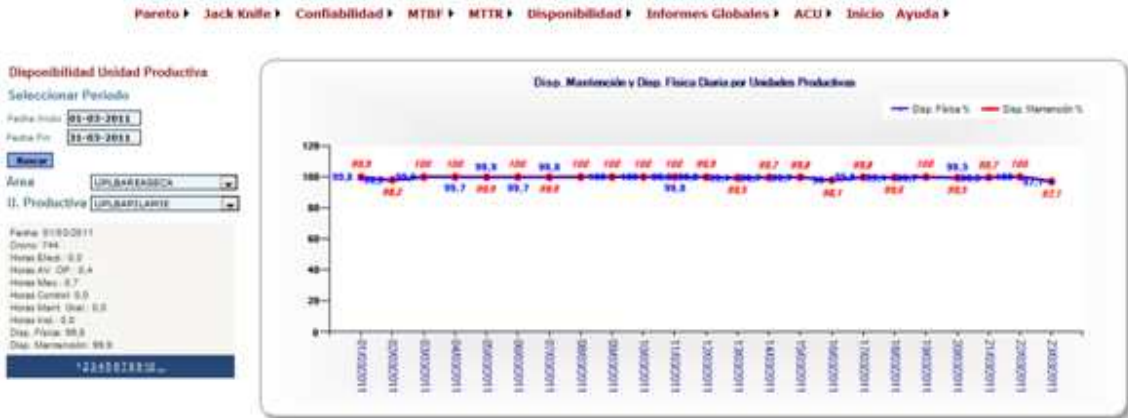


Ilustración 0-182: Disponibilidad diaria acumulada por unidades productivas



Ilustración 0-183: Menú de acceso a Disponibilidad acumulada por Equipos agrupados

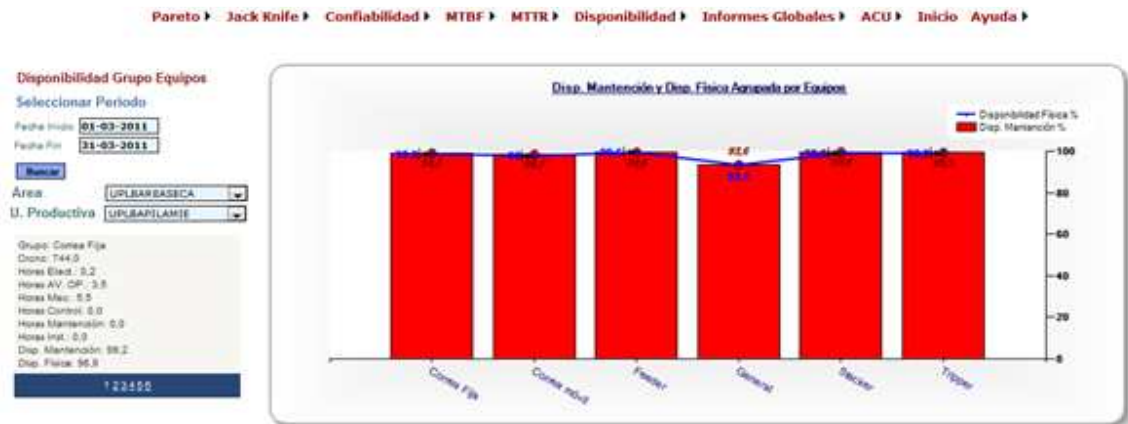


Ilustración 0-184: Disponibilidad acumulada por Equipos agrupados

[Escribir texto]



Ilustración 0-185: Menú de acceso a Disponibilidad Acumulada diaria por equipos agrupados

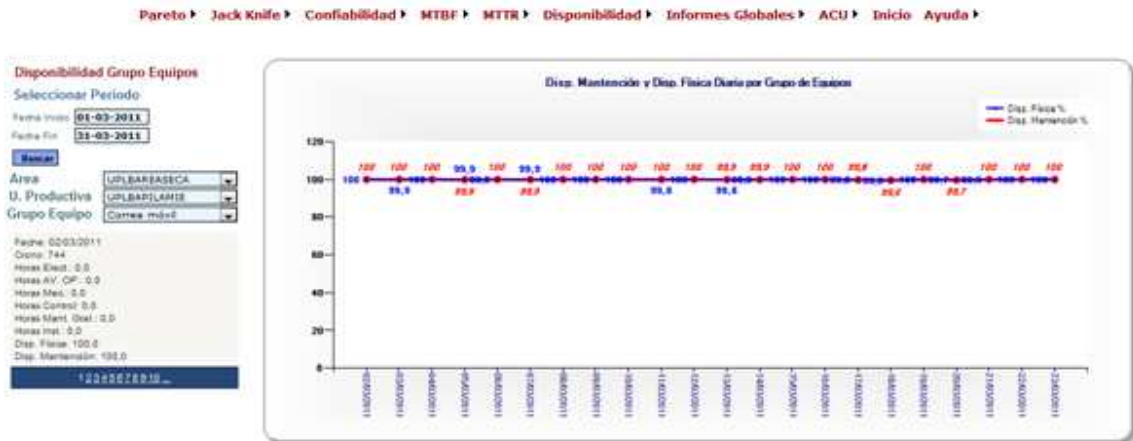


Ilustración 0-186: Disponibilidad Acumulada diaria por equipos agrupados



Ilustración 0-187: Menú de acceso a Disponibilidad acumulada por equipos individuales

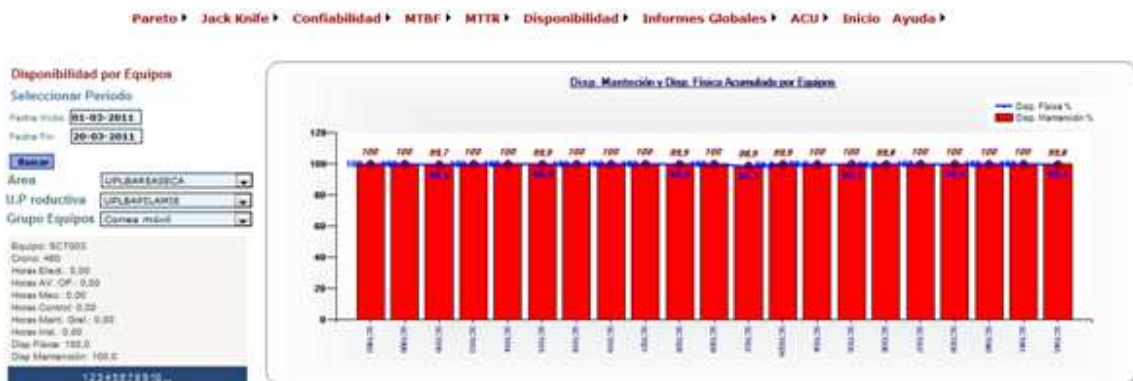


Ilustración 0-188: Disponibilidad acumulada por equipos individuales

[Escribir texto]



Ilustración 0-189: Menú de acceso a Disponibilidad Acumulada diaria por equipos individuales

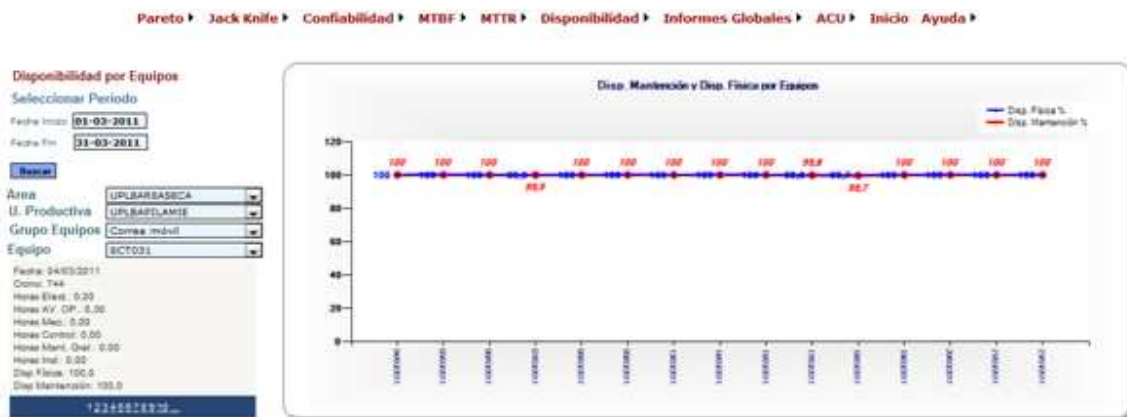


Ilustración 0-190: Disponibilidad Acumulada diaria por equipos individuales

15.1.8 Informes Globales

Presente en el proceso “Eliminación de pérdidas”, actividad “Ejecutar tendencias de KPI’s”.

La unidad de Mantenimiento es responsable de entregar la disponibilidad, para operar de forma satisfactoria a todos los activos que orquestan a la línea crítica de producción.

Para llegar a configurar una disponibilidad acorde a los resultados requeridos por la industria, es preciso conocer los eventos que ocurren en la

[Escribir texto]

planta, aportando con estrategias y de tácticas, generadoras de valor para los accionistas, la comunidad y el medio ambiente.

Desde el punto de vista productivo, las pérdidas de producción en planta área seca son determinadas directamente por la capacidad en la entrega de mineral desde apilamiento a pilas, donde comienza el proceso de lixiviación.

Es por esta razón que se ha creado un indicador denominado KPI de impacto área seca. Su estructura queda determinada por todas las detenciones de mantenimiento generadas en la unidad productiva de apilamiento, y por las detenciones por mantenimiento generadas desde las unidades productivas que se encuentran aguas arriba, excluyendo a Mina.

De esta manera, serán clasificadas las detenciones que perjudican la disponibilidad global del sistema, planta área seca, mejorando la visibilidad desde la perspectiva gerencial.

El analista de alto nivel, considera esta información relevante como variable de mejora continua, dado que el conocimiento de las variables de impacto en la línea de producción disminuye las pérdidas de producción, mejorando la disponibilidad global de la planta.

[Escribir texto]

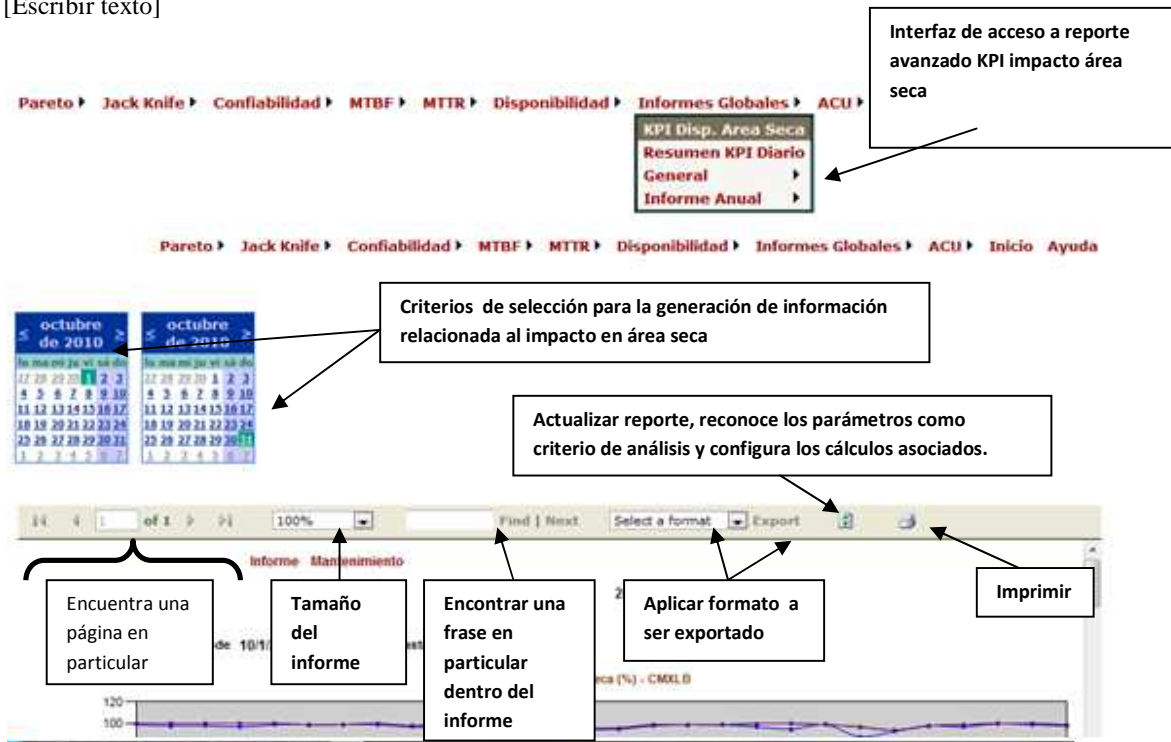


Ilustración 0-191: Informe Global KPI's de Impacto – Disponibilidad área Seca

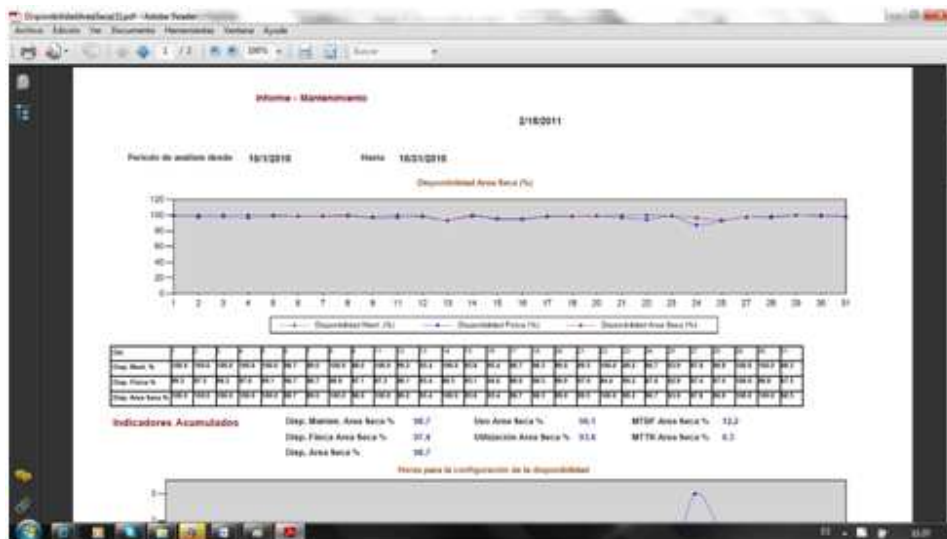


Ilustración 0-192: Reporte KPI's de Impacto Disponibilidad área seca, Formato PDF

[Escribir texto]

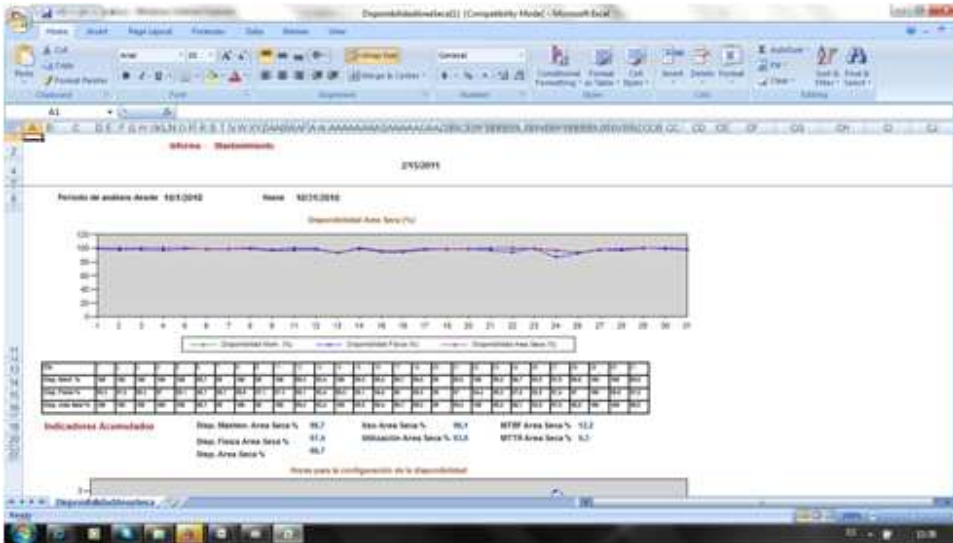


Ilustración 0-193: Reporte KPI's de Impacto Disponibilidad área seca, Formato Excel



Ilustración 0-194: Menú de acceso a Informes Globales – resumen KPI's diario

[Escribir texto]

Pareto ▶ Jack Knife ▶ Confiabilidad ▶ MTBF ▶ MTTR ▶ Disponibilidad ▶ Informes Globales ▶ ACU ▶ Inicio Ayuda

Area: UPLBAREASECA
U. Productiva: UPLBTERCIARI

Informe Mantenimiento -
2/15/2011 3:46:58 PM

Unidad Productiva de: UPLBTERCIARI

Dia Fecha	MTBF (hrs)	MTTR (Hrs)	Disponibilidad (%)	Uso (%)	Utilización (%)	Expos Operacional (%)
01/15/2010	4.7	0.1	100.0	99.6	97.6	99.6
02/15/2010	2.8	0.1	100.0	99.0	96.2	99.2
03/15/2010	3.3	0.1	100.0	98.8	95.8	98.8

Ilustración 0-195: Informe diario de KPI's

Informe Mantenimiento -
2/16/2011 4:10:38 PM

Unidad Productiva de: UPLBTERCIARI

Dia Fecha	MTBF (hrs)	MTTR (hrs)	Disponibilidad (%)	Uso (%)	Utilización (%)	Expos Operacional (%)
01/15/2010	4.7	0.1	100.0	99.6	97.6	99.6
02/15/2010	2.8	0.1	100.0	99.0	96.2	99.2
03/15/2010	3.3	0.1	100.0	98.8	95.8	98.8
04/15/2010	4.7	0.1	100.0	99.6	97.7	99.6
05/15/2010	2.1	0.9	73.2	96.4	92.7	98.9
06/15/2010	19.0	1.9	93.0	99.4	93.4	99.9
07/15/2010	11.9	0.1	100.0	99.3	96.6	99.2
08/15/2010	9.8	0.2	98.3	99.4	96.9	99.8
09/15/2010	11.7	0.1	100.0	99.7	97.8	99.8
10/15/2010	2.9	0.1	100.0	98.8	95.9	98.8
11/15/2010	11.9	0.1	100.0	99.8	98.3	99.9
12/15/2010	29.0	0.9	97.9	99.0	97.6	99.2
13/15/2010	4.7	0.1	99.4	99.1	97.1	99.2
14/15/2010	2.4	0.2	98.7	99.1	97.0	99.2
15/15/2010	9.8	0.1	100.0	99.4	97.4	99.8
16/15/2010	9.9	0.1	100.0	99.2	97.1	99.2
17/15/2010	11.9	0.1	100.0	99.0	96.5	99.2
18/15/2010	2.3	0.7	97.9	99.0	97.9	99.8
19/15/2010	9.2	0.1	97.9	99.0	95.3	99.2
20/15/2010	9.8	0.1	98.5	99.0	96.5	99.2
21/15/2010	7.0	0.4	98.4	99.0	94.2	99.0

Ilustración 0-196: Informes Globales – resumen KPI's diario – Formato PDF

[Escribir texto]

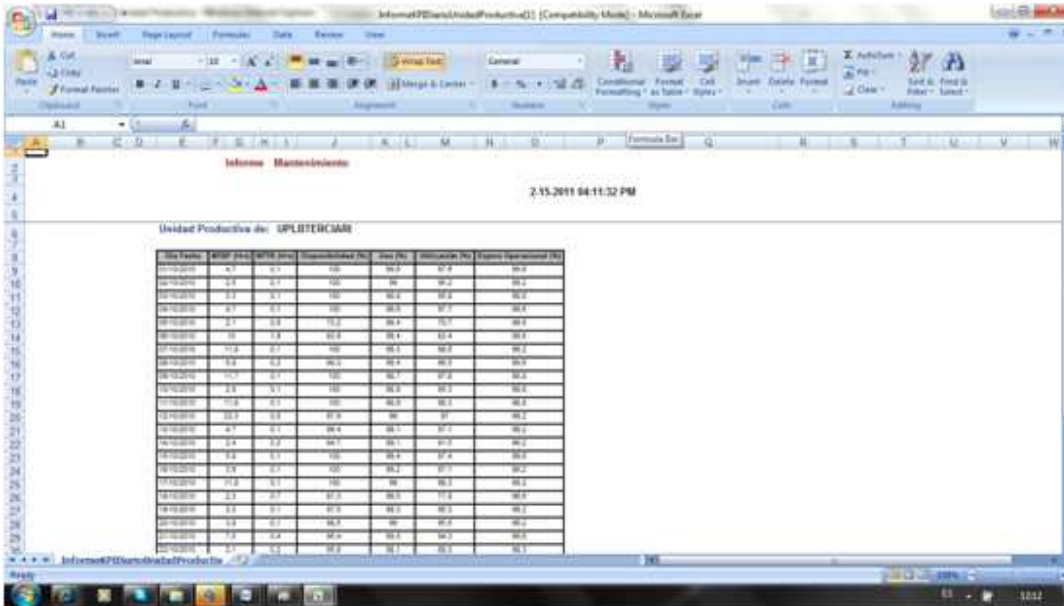


Ilustración 0-197: Informes Globales – resumen KPI's diario – Formato Excel

15.1.9 Informes Globales, generales por área

Adicional a la información proporcionada por Mantenibilidad y confiabilidad, se debe contrastar estos resultados con los obtenidos por el área de operaciones.

Pero antes de definir este KPI es necesario conocer los resultados obtenidos por el impacto de causas externas tales como terremotos, lluvias, cortes de energías por sistema interconectado norte grande, o por actividades propias de la industria que determinan una pérdida en la producción como por ejemplo: cambios de turno, huelgas, etc.

Las variables mencionadas en el párrafo anterior definen una pérdida importante del tiempo real de uso de la planta, adicional a la disponibilidad por fallo o por mantención programada.

[Escribir texto]

La configuración del uso queda determinada al tiempo utilizado sobre la disponibilidad de mantención

Por otra parte, tenemos un indicador que determina la utilización de la planta, unidad productiva, equipos, etc., considerando el tiempo utilizado sobre el total de tiempo transcurrido.

Los cálculos pueden variar y pueden considerar cambios sutiles, esto depende de la compañía en estudio, pero el fondo es el mismo y es considerado un estándar mundial.



Ilustración 0-198: Menú de acceso a indicadores generales por área



Ilustración 0-199: Indicadores generales por área

[Escribir texto]



Ilustración 0-200: Indicadores generales por área



Ilustración 0-201: Informes Globales –Generales por área – Formato PDF

[Escribir texto]

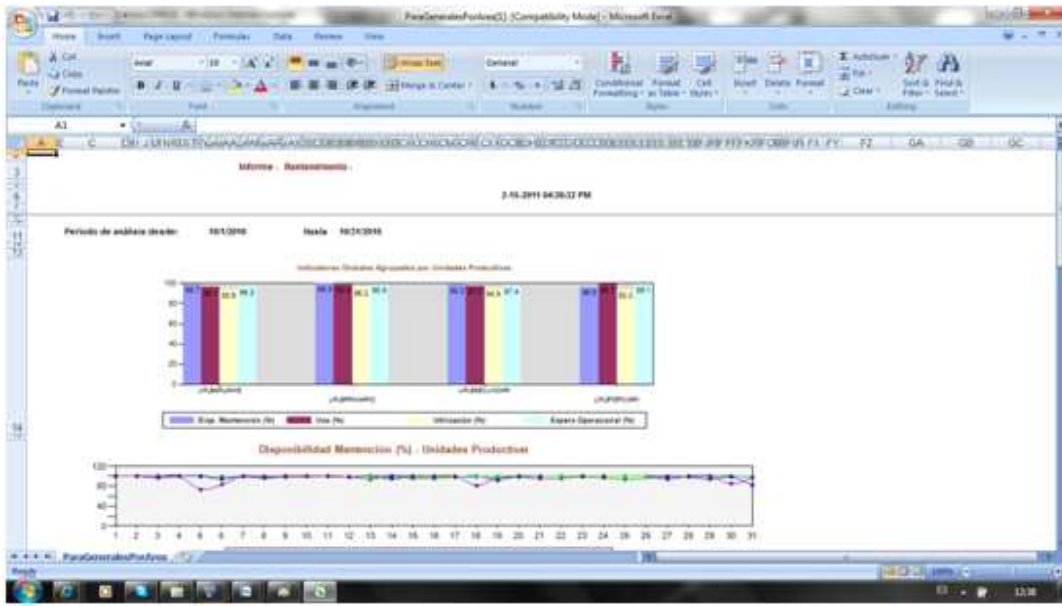


Ilustración 0-202: Informes Globales –Generales por área – Formato Excel



Ilustración 0-203: Menú de acceso a Informes Globales – Generales por unidades productivas

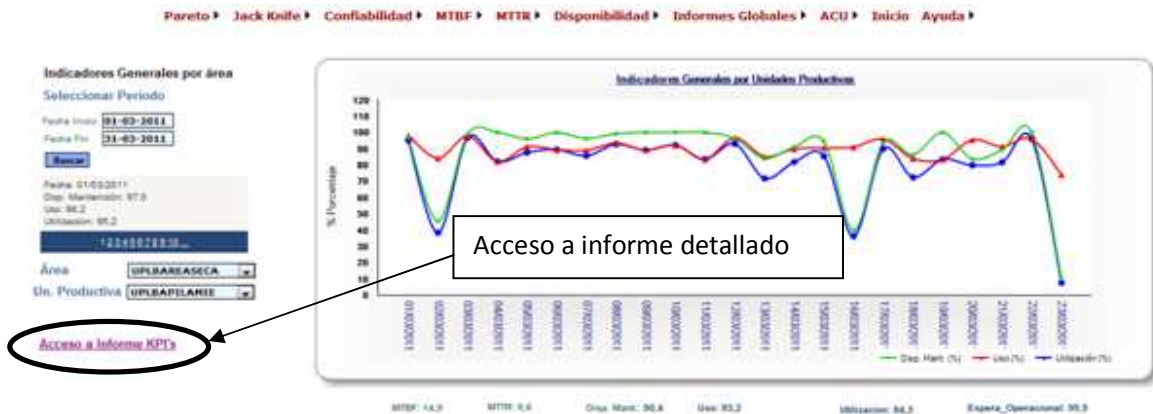


Ilustración 0-204: Indicadores generales por unidades productivas
245

[Escribir texto]



Ilustración 0-205: Informe diario para la gerencia de mantenimiento

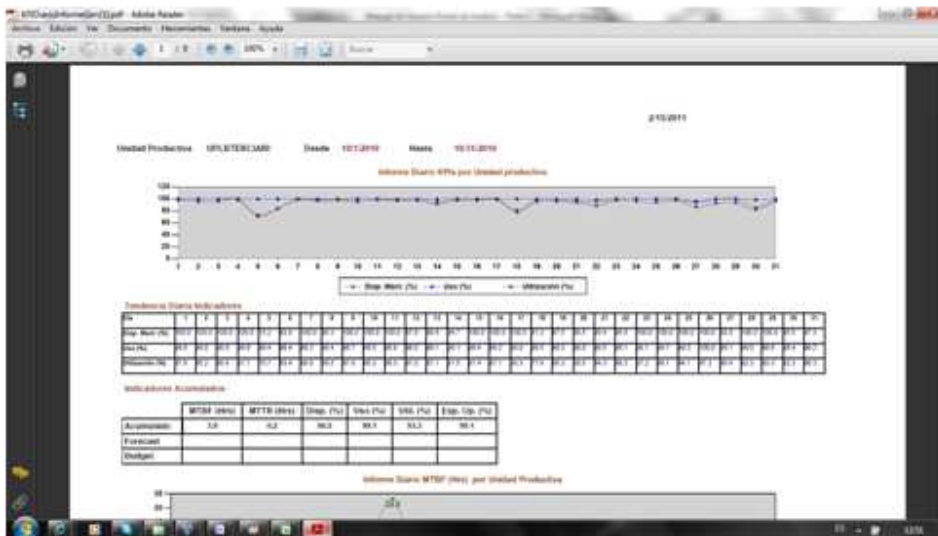


Ilustración 0-206: Informes Globales – Generales por unidades productivas – Formato PDF

[Escribir texto]

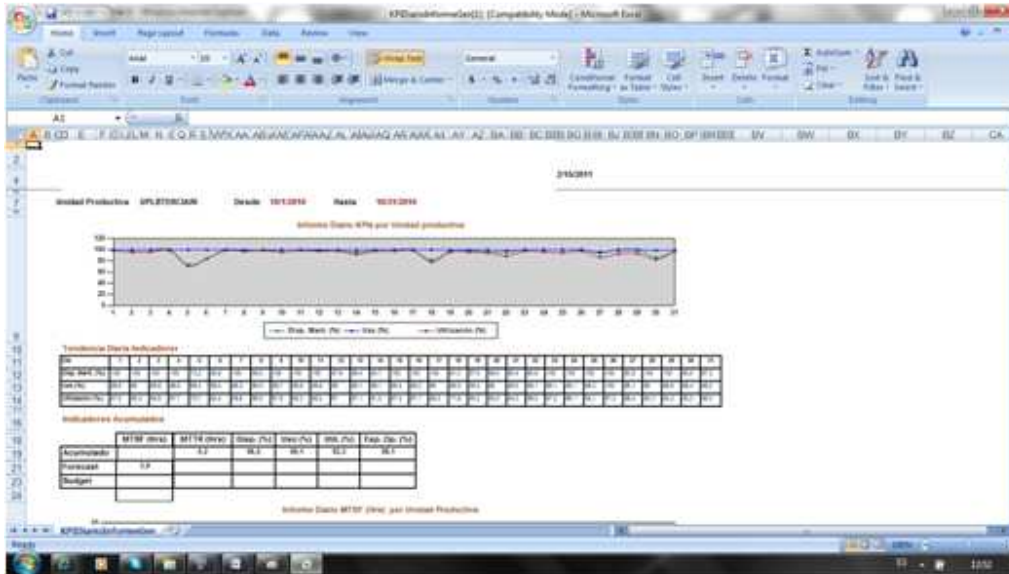


Ilustración 0-207: Informes Globales – Generales por unidades productivas – Formato Excel



Ilustración 0-208: Menú de acceso a Informes Globales - General por equipos agrupados



Ilustración 0-209: Informes Globales - General por equipos agrupados

[Escribir texto]



Ilustración 0-210: Menú de acceso a Informes Globales - General - KPI's Diario por equipos

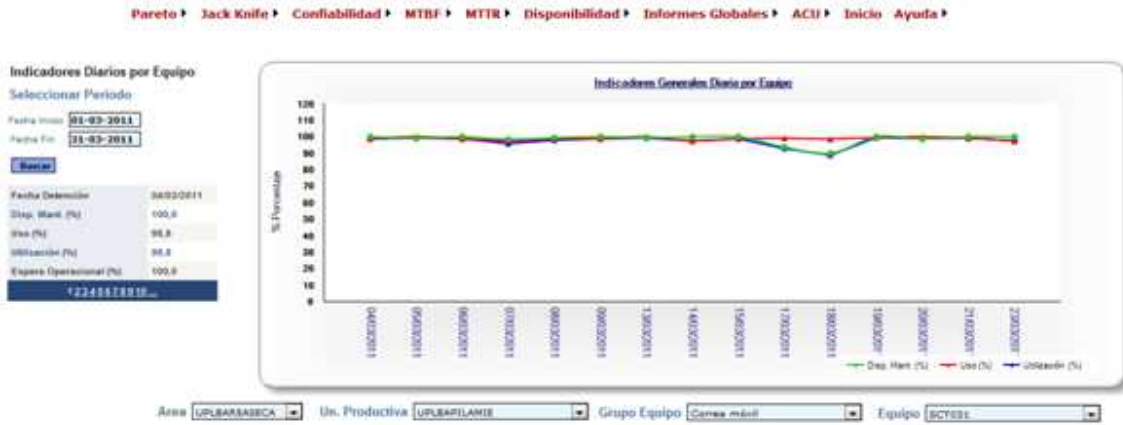


Ilustración 0-211: Indicadores generales diarios por equipos



Ilustración 0-212: Menú de acceso a Informes Globales - Confiabilidad Versus Mantenibilidad

[Escribir texto]

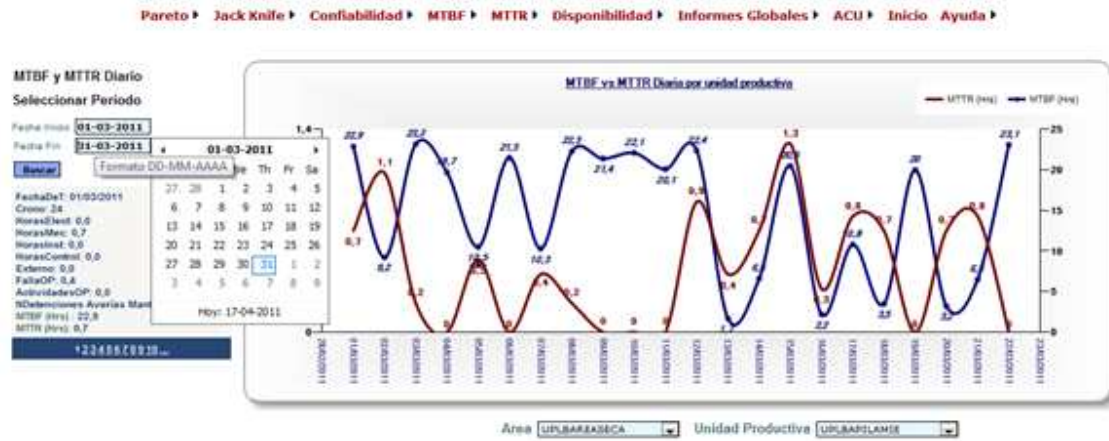


Ilustración 0-213: Informes Globales - Confiabilidad Versus Mantenibilidad

15.1.10 Informes Generales Anuales



Ilustración 0-214: Menú de acceso a Informes Generales Anuales – tiempo medio entre fallos

[Escribir texto]

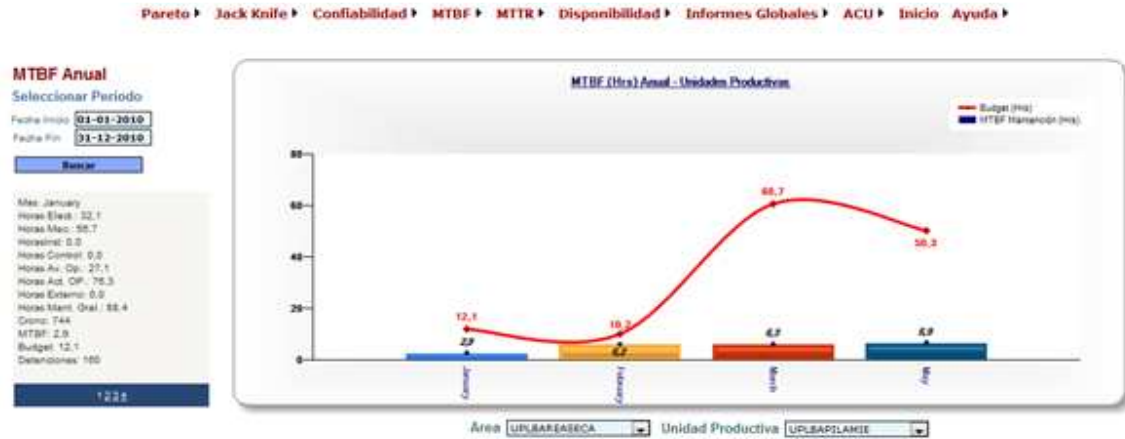


Ilustración 0-215: Informes Generales Anuales – tiempo medio entre fallos



Ilustración 0-216: Informes Generales Anuales – Tiempo medio entre reparaciones

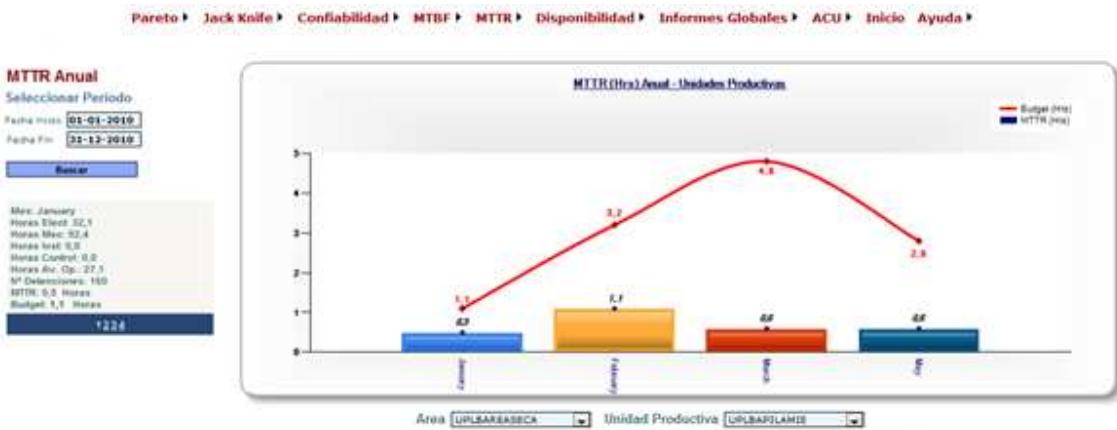


Ilustración 0-217: Informes Generales Anuales – Tiempo medio entre reparaciones

[Escribir texto]



Ilustración 0-218: Menú de acceso a Informes Generales Anuales – Disponibilidad Mantención



Ilustración 0-219: Informes Generales Anuales – Disponibilidad Mantención



Ilustración 0-220: Menú de acceso a Informes Generales Anuales - Disponibilidad de Impacto área seca

[Escribir texto]



Ilustración 0-221: Informes Generales Anuales - Disponibilidad de Impacto área seca



Ilustración 0-222: Menú de acceso a Informes Generales Anuales - Uso

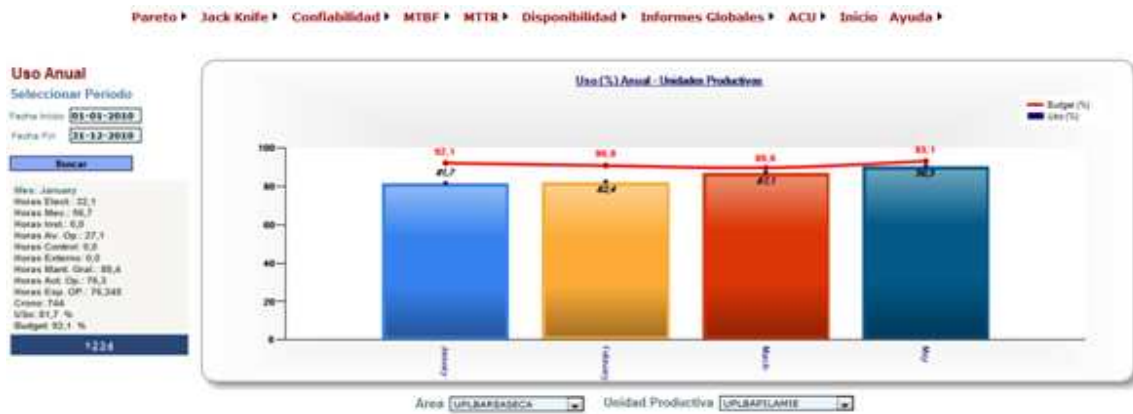


Ilustración 0-223: Informes Generales Anuales - Uso

[Escribir texto]



Ilustración 0-224: Menú de acceso a Informes Generales Anuales - Utilización

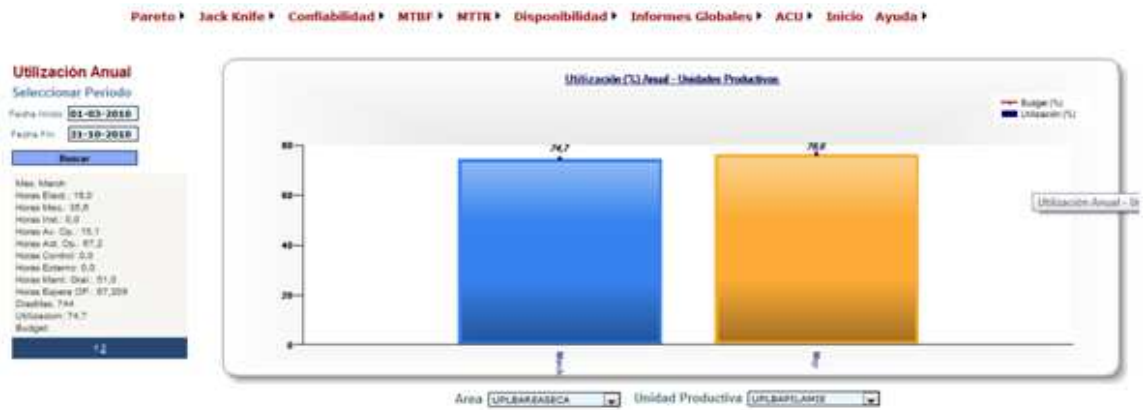


Ilustración 0-225: Informes Generales Anuales - Utilización



Ilustración 0-226: Menú de acceso a Informes Generales Anuales - Utilización de capacidad del activo

[Escribir texto]



Ilustración 0-227: Informes Generales Anuales - Utilización de capacidad del activo

15.1.11 Utilización de la capacidad del activo (ACU)



Ilustración 0-228: Menú de acceso a ACU- Informe Diario por unidad productiva



Ilustración 0-229: ACU- Informe Diario por unidad productiva

[Escribir texto]

Pareto ▶ Jack Knife ▶ Confiabilidad ▶ MTBF ▶ MTTR ▶ Disponibilidad ▶ Informes Globales ▶ ACU ▶ Inicio Ayuda ▶

- ACU - Unidad Productiva - Informe Diario
- ACU - Unidad Productiva - Informe Mensual
- ACU Diario - Terciario Linea 1
- ACU Diario - Terciario Linea 2

Ilustración 0-230: ACU – Informe Mensual – Unidad Productiva

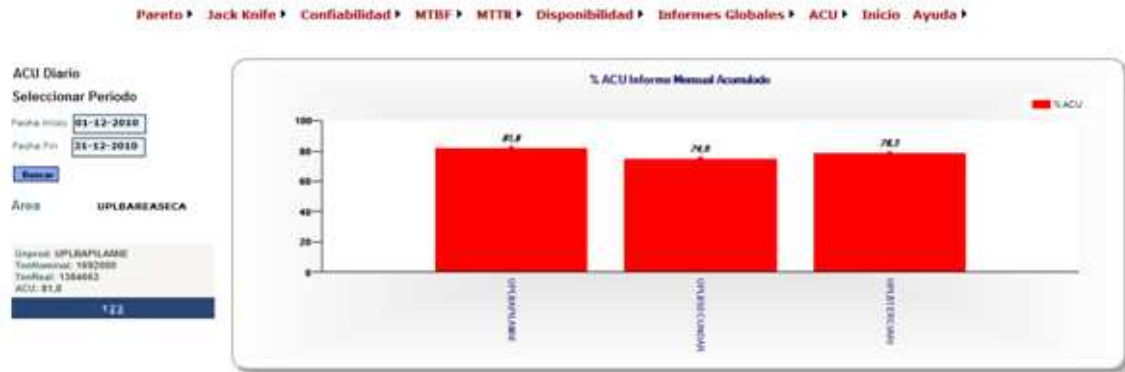


Ilustración 0-231: ACU – Informe Mensual – Unidad Productiva

Pareto ▶ Jack Knife ▶ Confiabilidad ▶ MTBF ▶ MTTR ▶ Disponibilidad ▶ Informes Globales ▶ ACU ▶ Inicio Ayuda ▶

- ACU - Unidad Productiva - Informe Diario
- ACU - Unidad Productiva - Informe Mensual
- ACU Diario - Terciario Linea 1
- ACU Diario - Terciario Linea 2

Ilustración 0-232: Menú de acceso a Acu Diario Chancado Terciario.

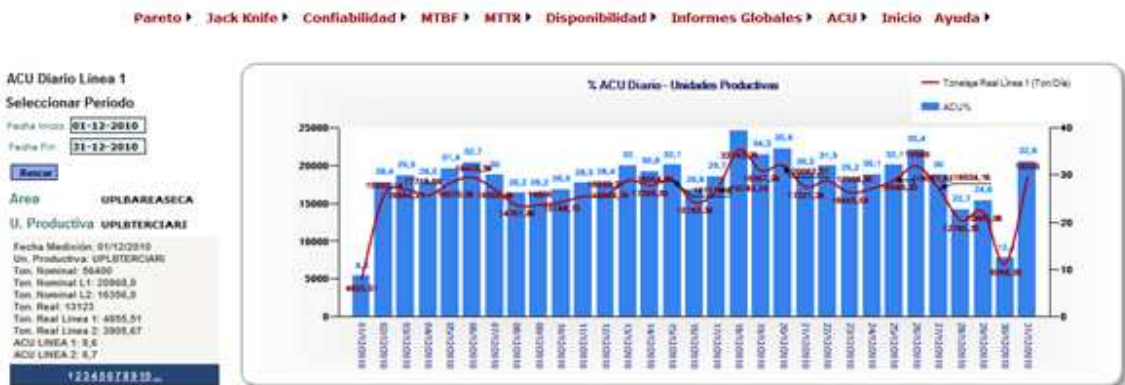


Ilustración 0-233: Acu Diario Chancado Terciario.

[Escribir texto]



Ilustración 0-234: Menú de acceso a Acu Diario Chancado Terciario.

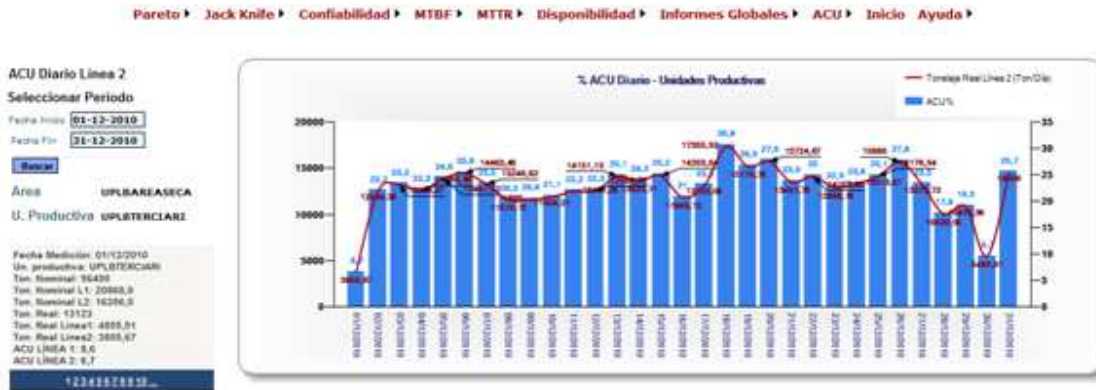


Ilustración 0-235: Acu Diario Chancado Terciario.

16. Proceso de Cambio

16.1 Contexto organizacional para la implementación del proyecto

El proyecto se implementó en el área de mantenimiento de una compañía minera a cielo abierto y su ejecución concuerda con un período de grandes cambios administrativos, que involucran una problemática constante en la innovación del negocio. Solo hasta inicios del año 2011, se implementa con éxito una parte de la solución.

16.2 Desafíos

El principal desafío para implementar el proyecto se encuentra en la capacidad de transmitir las mejoras, como resultado de implementar una nueva plataforma tecnológica de apoyo al proceso de toma de decisiones. Por otra parte,

[Escribir texto]

es necesario formar una coalición conductora interna que impulse esta iniciativa de forma transversal.

16.3 Estrategia para la gestión del cambio

Durante el proceso de levantamiento e implementación de una nueva herramienta tecnológica, es necesario contar con un esquema de cambio que fomente el crecimiento continuo. Este esquema debe quedar integrado en el conocimiento de cada uno de los empleados, de esta manera, el emprendimiento e introducción de innovaciones son considerados como un acto reflejo.



Fuente: Ajustado de Mapa proceso de cambio John Kotter

Ilustración 0-236: Proceso de cambio

16.3.1 Sentido de Urgencia

Los costos operacionales que determinan el valor creado para los accionistas, son la fuente de inspiración para la creación de estrategias y tácticas que aseguran la capacidad de la planta. Todo esto con un personal altamente capacitado y alineado a la estrategia corporativa.

Para la creación de una visión corporativa que sustenta los resultados obtenidos desde la confiabilidad operacional, específicamente, en la perspectiva

[Escribir texto]

de los procesos internos, se ha desarrollado un esquema conceptual, utilizado como factor de cambio y mejora continua.



Ilustración 0-237: Visión de mantenimiento, ajustado de GMN

Una aplicación constante de cada uno de los esquemas de cambio y alineamiento, favorece la aceptación de una herramienta tecnológica de apoyo al proceso de toma de decisiones, además, es capaz de fomentar el empoderamiento por parte de los integrantes de la empresa mandante y contratistas.

Cabe destacar que la coordinación y el compromiso de las personas y procesos, determinan el éxito del proyecto, debido a que los datos nacen de cada una de las actividades que son ejecutadas por las personas.

16.3.2 Gestión de Poder

Básicamente, durante el proceso de implementación en diferentes faenas mineras, observamos que existen seis personajes claves:

[Escribir texto]

1. **Gerente de Mantenimiento**, su relación con el proyecto es directa, ya que los resultados obtenidos en faena son procesados por el sistema de información y presentados a la gerencia general, como herramienta para materializar la mejora continua.
2. **Superintendente de Mantenimiento**, tiene una relación directa con el proyecto, ya que es el responsable de concretar y de guiar las tácticas y estrategias a los resultados esperados.
3. **Jefe de planificación**, capaz de proyectar las necesidades de capacidad disponible a partir de la capacidad requerida.
4. **Articulador de redes**, su cargo puede estar en cualquier instancia, capaz de materializar las ideas de proyecto con su capacidad de liderazgo.
5. **Ingeniero de confiabilidad**, tiene asignada la tarea de recopilación y procesamiento de datos para obtener información para el proceso de toma de decisiones, su función habilitadora es fundamental.
6. **Ingeniero de Procesos y TI**, es el responsable de habilitar tecnologías de información para la implementación de la solución.

16.3.3 Gestión de Narrativas

La generación de narrativas es el instrumento que marca la diferencia para la implementación exitosa de un proyecto de estas características.

Por ello se ha generado una narrativa genérica, para cada uno de los actores involucrados, que logre apalancar el proyecto.

[Escribir texto]

“Mejorar la Capacidad disponible con el conocimiento de la confiabilidad de equipos industriales, trae como consecuencia la minimización de pérdidas en producción, una mejora de la calidad en la gestión de activos, personal altamente capacitado y un incremento en el margen operativo”.

16.3.4 Estrategia Comunicacional

1. Determinar cuáles es el objetivo (Incrementar la capacidad disponible).
2. Decidir el público objetivo de la comunicación (Gerentes, Superintendentes, jefes de área, supervisores, técnicos).
3. Diseñar la misión que determina la idea a transmitir (Compañía de clase mundial).
4. Calcular los costos de hacer efectiva esta comunicación (Capacitación continua, implementación de página web corporativa).
5. Verificar cual será la frecuencia de aplicación (Diaria).
6. Llevar a ejecución el plan de comunicación, medir el impacto que ha provocado y determinar si se han cumplido con los objetivos.

El impacto y cumplimiento de los objetivos de cambio se materializa con la compra e implementación de la aplicación computacional, para el análisis de confiabilidad (Portal de análisis).

16.3.5 Variables y Dominio para la evaluación de gestión del cambio

Puestos de trabajo

Determinar funciones y verificar el impacto que el proyecto provoca en ellas. Además, se debe determinar que tan involucradas están las empresas contratistas.

[Escribir texto]

Alineamiento.

Verificar si el equipo que lidera el proyecto se encuentra alineado.

Presupuesto Disponible.

Determinar el límite presupuestario para la implementación del proyecto.

Tiempo requerido.

Determinar períodos para hacer efectiva la entrega de resultados.

Penalización.

Determinar barreras y como serán gestionadas.

Documentos disponibles.

Determinar y evaluar los datos disponibles.

Tecnología existente.

Estudiar la tecnología actual y verificar el impacto que provoca la nueva propuesta en la arquitectura.

Capacidad requerida.

Determinar la factibilidad en la implementación del proyecto.

[Escribir texto]

16.3.6 Resultados Esperados

Resultado deseado	Tipo de práctica	Descripción Breve
Dirección	Directiva / Estratégica	Para compañías mineras, las instrucciones tienen una connotación corporativa.
Liderazgo	Comunidad	No intrusiva, delegadora, empoderadora.
Cultura	Operacional / disciplina	Gobernada por procesos, eficiente, consistente.
Accountability	Contratos de desempeño	Contratos explícitos y aceptados.
Coordinación y control	Operacional / disciplina	Foco en KPI's, métricas y objetivos.
Capacidades	Basadas en procesos	Conocimiento incorporado en procesos y manuales.
Motivación	Valores	Cultura de la empresa.
Orientación al exterior	Competidor / mercado	Foco en competidores, controlar participación del mercado.
Innovación	Botton Up, búsqueda en el exterior, top Down. Polinización cruzada.	Ideas de cambio generadas por unidades de negocio. Desde el exterior de la empresa, por la administración superior, a partir del conocimiento adquirido por la organización.

Tabla 12: Tabla de prácticas de McKinsey

17. Análisis económico

17.1 Diagnóstico

17.1.1 Balance de Pérdidas de producción

Durante la implementación de este proyecto en diferentes faenas mineras de nuestro país, se ha determinado que la media en pérdidas monetarias provocadas por una hora de detención equivale a US \$ 15,000, por lo tanto, todas las detenciones registradas en el sistema de información consideran este valor para el análisis de pérdida.

17.1.2 Indicadores claves de desempeño relevantes para el estudio económico

Disponibilidad de Impacto, el objetivo de este indicador es determinar la capacidad real disponible, en este caso, para el sistema área seca, considerando detenciones de mantenimiento aleatorias y programadas. Además, considera el efecto multiplicador provocado por detenciones asociadas a fallos de mantenimiento aguas arriba, medido desde apilamiento.

Utilización de impacto, el objetivo de este indicador es determinar la capacidad real utilizada, considerando las detenciones por mantenimiento, el efecto multiplicador provocado por detenciones por fallos de mantenimiento aguas arriba, y un factor adicional asociado a detenciones operacionales.

Las variables claves en el análisis son aquellas que generan aleatoriedad en el proceso, específicamente las detenciones aleatorias de mantenimiento y las detenciones aleatorias de operaciones, ya que la confiabilidad operacional tiene como objetivo disminuir la participación de estas variables y mantener el proceso bajo control, incrementando el margen por el efecto provocado en la baja de las pérdidas de producción por hora de detención.

[Escribir texto]

Función de estructura, el análisis de pérdidas se ha efectuado específicamente en planta área seca.

Aquí, podemos encontrar básicamente cuatro unidades productivas que son “Chancado primario”, “Chancado Secundario”, “Chancado Terciario” y “apilamiento”. Cada una de estas unidades productivas posee equipos industriales que forman la línea crítica de producción. El producto final es un glómero de media pulgada, insumo utilizado en el proceso de lixiviación, donde el mineral se riega con agua y ácido sulfúrico. Luego, la solución ácida que precipita ingresa al proceso de extracción por solventes, donde el cobre que se encuentra en una solución impura se separa de forma selectiva, para terminar en el proceso de electro obtención, donde el cobre se encuentra en solución y será adherido a placas de acero con la aplicación de corriente, con un electrolito como medio de transporte. De esta manera, se cosecha un cátodo de 99,99% de pureza, que es transportado a cada uno de los clientes de la mina a cielo abierto.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el primer período, con el objeto de obtener un indicio de la capacidad disponible y las pérdidas asociadas.

Disponibilidad de impacto	82,4%
Utilización de impacto	67,8%
Horas Mantenimiento planificado	624,3 Horas
Horas Actividades Operacionales	558,7 Horas
Horas Fallos Mantenimiento	914,2 Horas
Horas averías operacionales	717,0 Horas
Pérdidas de producción por utilización de impacto	US \$ 42.213.000,00
Pérdidas de producción por disponibilidad de impacto	US \$ 23.077.500,00

Tabla 13: pérdidas registradas en el período de estudio.

Cabe destacar que la variación esperada para los próximos periodos es hacia la disminución, apuntando a la aplicación de tácticas planificadas y predictivas, contrarias a la aleatoriedad. Es por esta razón, que los escenarios de

[Escribir texto]

análisis y los esfuerzos se enfocan, principalmente, en controlar la variabilidad de tiempo detenido en “horas” por fallos de mantenimiento y por averías operacionales.

17.1.3 Análisis de alternativas

Para analizar las dos alternativas, es necesario considerar primero la estructura organizacional donde se ejecutará el proyecto y su participación en el procesamiento de datos.

Así, las funciones disponibles antes de ejecutar el proyecto son:

Gerente General, autoriza los pedidos de repuestos o servicios hasta US \$ 500.000, además, requiere información relacionada a la capacidad disponible actual y proyectada, la capacidad requerida actual y proyectada, la utilización de la capacidad, la confiabilidad del sistema y el costo del ciclo de vida de activos físicos.

Gerente de mantenimiento, autoriza pedidos de repuestos o servicios menores o iguales a US \$ 50.000, pedidos de materiales menores o iguales a US \$ 100.000. Además, requiere información relacionada a la capacidad disponible actual y proyectada, la capacidad requerida actual y proyectada, la utilización de la capacidad, la confiabilidad del sistema y el costo del ciclo de vida de activos físicos.

Superintendente de mantenimiento, Autoriza pedidos de repuestos o servicios, pedidos de materiales menores o iguales a US \$ 25.000. Además, requiere información relacionada a la capacidad disponible actual y proyectada, la capacidad requerida actual y proyectada, la utilización de la capacidad, la confiabilidad del sistema y el costo del ciclo de vida de activos físicos.

Jefe de operaciones, Evaluar riesgo de operar, generar prioridad de trabajos y coordinar trabajos con distintas áreas.

[Escribir texto]

Capataz, Verifica existencia de recursos, entrega OT a mantenedores, informa y controla temas técnicos y de seguridad, verifica resultados obtenidos por empresas contratistas en faena.

Jefe de mantenimiento, Evalúa riesgo de seguir operando, genera informes de fallas, coordina trabajos con áreas de la compañía, autoriza pedidos de materiales menores o iguales a US \$ 5000.

Predictivo, Evalúa riesgo de seguir operando, genera requerimientos de prioridad, realiza análisis de equipos basado en datos de monitoreo e histórico.

Ingeniero de confiabilidad: Descarga datos desde sistemas corporativos, procesa datos, priorizar sistemas (Jack Knife y Pareto), estudia fallas, determina indicadores, lleva a cabo el seguimiento de mejoras, medir ganancias.

Encargado de reparación, debe reunir y consolidar pedido de materiales.

Planificador, Verifica orden de trabajo aprobada, realiza instructivo, verifica aprobación de trabajo, prepara listado de materiales, genera pedido de materiales o repuestos, genera reporte de resultados obtenidos y cierre orden de trabajo.

Digitador: Genera orden de trabajo, valida orden de trabajo de cierre, informar cierre de trabajos a quien corresponda, ingresar detenciones a portal de análisis.

Programador, Validar generación de orden de trabajo, generar orden de trabajo, preparar listado de materiales, verificar aprobación, verificar disponibilidad de equipos y horas hombre, coordinar trabajos, balancear horas hombre disponibles, entregar cronograma de orden de trabajo, generar salidas de materiales de bodega, entrega vales de bodega a encargado de reparación.

Ingeniero de sistemas, es el encargado de Sistemas ERP, de servidores, de acceso a plataforma Microsoft Sharepoint, de acceso a datos, es el responsable de validar los requerimientos de sistemas de cada una de las unidades de negocio.

[Escribir texto]

Mantenedor y operador, registra detenciones en bitácora, recepciona orden de trabajo, confecciona procedimientos, bloquea sistemas, realiza trabajo y desbloquea sistemas, entregar orden de trabajo.

El proyecto de confiabilidad basada en ingeniería de negocios requiere personal adicional, dos personas, para ejecutar cada una de las tareas planificadas en el proyecto, estos son:

Estudiante MBE que analiza la estrategia, diseña arquitectura empresarial, evalúa el modelo de negocios, evalúa el impacto de las tecnologías en el negocio de mantenimiento y operaciones, genera proyectos de mejora en base a patrones de procesos de negocio y resultados obtenidos, evalúa y rediseña procesos de negocio, implementa analítica y modelos, diseña sistemas de cómputo, difunde el conocimiento.

Programador de aplicaciones, Desarrolla y mantiene aplicaciones basada en framework ASP.NET, administra IIS 7, Implementa aplicaciones en servidor Windows 2008 server, configura aplicaciones, bases de datos SQL Server 2005.

Bajo la supervisión de Gerente de Mantenimiento, Superintendente de mantenimiento, Gerente de operaciones, jefe de mantenimiento, ingeniero de confiabilidad e ingeniero de sistemas.

Básicamente, la estructura organizacional de niveles superiores para la gerencia de Mantenimiento y su relación con operaciones es la siguiente.

[Escribir texto]

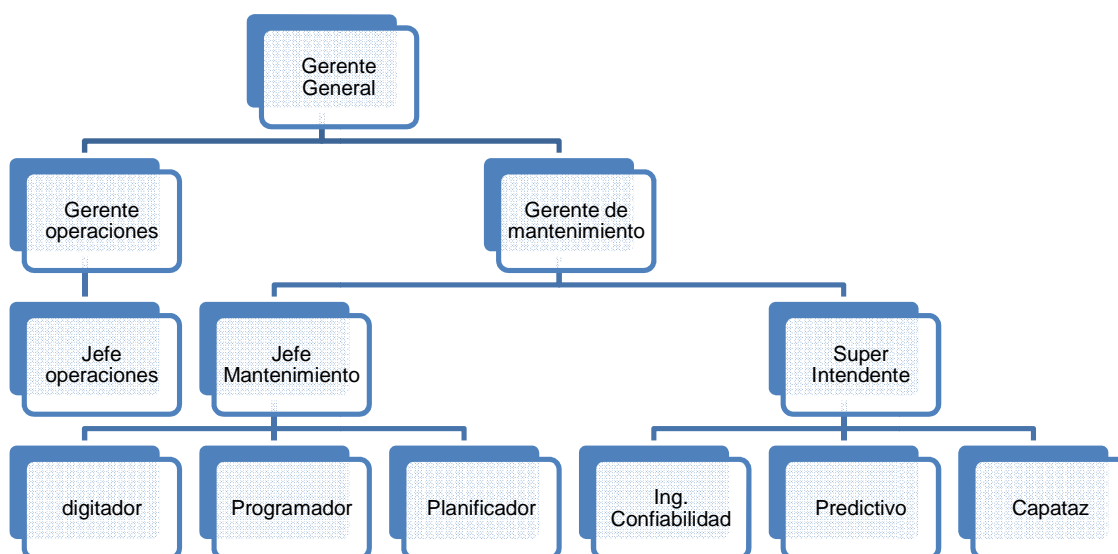


Ilustración 0-238: Estructura organizacional, Mantenimiento.

Con esta estructura organizacional es posible llevar a cabo la evaluación de alternativas para considerar la implementación del proyecto, sin embargo, si la compañía decide no invertir en el proyecto y mantener las funciones de recopilación, procesamiento de datos, generación de información y confección de reportes, cada uno de los roles identificados debe considerar una gran cantidad de esfuerzo en generar esta información y distribuirla de forma adecuada a cada uno de los integrantes de la compañía.

Si estimamos una mejora de un 1% en la disponibilidad de impacto, sin considerar el proyecto, los costos son los siguientes:

Área Gerencia de Mantenimiento: US \$ 399.429,6.

Chancado Primario: US \$ 211,1, con 86 detenciones registradas.

Chancado secundario: US \$ 14.952,3 con 3045 detenciones registradas.

Chancado terciario: US \$ 27.159 con 5531 detenciones registradas.

[Escribir texto]

Apilamiento: US \$ 6.182,2 con 2518 detenciones registradas.

Si la compañía decide invertir en el proyecto y delegar las funciones de recopilación, procesamiento de datos, generación de información y confección de reportes a un sistema de cómputo, cada uno de los roles identificados será liberado parcialmente de carga de trabajo relacionada a esta función, generando tiempo disponible para la utilización en labores que tienen relación directa con el giro del negocio. De esta manera, la estructura de costos asociada al esfuerzo queda de la siguiente manera:

Gerencia de Mantenimiento: US \$ 11.896,5

Chancado Primario: US \$ 105,6 con 86 detenciones registradas.

Chancado secundario: US \$ 7.476,2 con 3045 detenciones registradas

Chancado terciario: US \$ 13.579,9 con 5531 detenciones registradas.

Apilamiento: US \$ 3901,1 con 2518 detenciones registradas

Cabe destacar que el rol del MBE y programador de aplicaciones tiene asignado una gran cantidad de tiempo en el primer año donde se ejecuta el proyecto y su dedicación es completa, para la generación de sistemas de cómputo, así, tenemos que MBE, programador y costos de capacitación para el uso de la aplicación son de US \$ 127.419,7

En total, el proyecto genera costos de esfuerzo estimados de US \$ 163.569 el primer año para luego disminuir desde el segundo año en adelante a US\$ 46.149,2.

Proyecto
Plan Monitoreo de Condiciones
Control de Repuesto e Información Técnica
Planta Energía renovable
Asegurar Confiabilidad del sistema
Sistema Portal de análisis confiabilidad
Hardware
Instalaciones
Capacitación
Componentes Máquina despegadora de cátodos (bloques hidráulicos, válvulas, cartuchera)
Compra de cintas
Asegurar confiabilidad de líneas de movimiento de soluciones
Proyectos para el Mejoramiento de la mantenibilidad
Estructuras para correas portátiles
Asegurar abastecimiento de agua
Adquisición Repuestos Estratégicos
Estudio de Pruebas Desgaste Cinta Portables
Mejoramiento de sistemas de lubricación de Chancadores Área Seca

Los valores definidos son aproximados, la variación dependerá de la confiabilidad del sistema en el tiempo.

Total Inversiones	5.781.212,9	4.638.000,0	4.710.000,0	2.575.000,0	3.312.000,0	2.315.000,0	US \$
	2.716.909.917,5	2.179.651.290,0	2.213.488.050,0	1.210.134.125,0	1.556.490.960,0	1.087.945.825,0	Pesos
	124.464,4	99.852,0	101.402,1	55.437,5	71.304,4	49.839,9	UF

Tabla 14: Plan de inversiones Gerencia de Mantenimiento.

[Escribir texto]

Para la evaluación del proyecto, consideramos la inversión en hardware, software e instalaciones de redes eléctricas e informáticas, necesarias para materializar la implementación de aplicación computacional denominada “Portal de Análisis”.

Equipamiento Informático	Total Neto US \$
Servidor Aplicaciones	8.511
Servidor DBMS	8.511
UPS Riello 6KVA	958
Pack Batery	958
Rack de servidores	638
Totales	19.576

Tabla 15: Inversión en Hardware

Con una vida útil tributaria de 5 años, genera un valor en libros de US \$ 0.

Software	Total Neto US \$
Licencias Servidores	4.681
Licencias DBMS	1.277
Licencia Visual Web Developer 2008	10.000
Aplicación Apoyo a Tácticas	70.000
Aplicación Apoyo a Predictivo	80.000
Aplicación Help Desk	1.000
Compra Dominio	80
Correo electrónico y Web Page	2.128
Totales	166.958

Tabla 16: Inversión en Software

Amortizado a 4 años. Generando un valor en libros de US \$ 0

Instalaciones Eléctricas y redes	Total Neto US \$
Circuito de alimentación servidores	4.117
Instalaciones de redes y cableado	3.061
Circuito de alimentación servidores	7.179

Tabla 17: Inversión en redes

Con una vida útil tributaria de 10 años, genera un valor en libros de US \$ 3.589 a los 5 años, fecha límite de evaluación para el proyecto.

[Escribir texto]

Los costos asociados a la capacitación en el primer año ascienden a US \$ 35.000 y corresponden al esfuerzo en dar a conocer la funcionalidad de la plataforma, luego, desde el segundo año la inversión en este ítem se reduce a US \$ 10.000 y depende de la continuidad del proyecto.

Considerando lo anterior, a continuación se elabora una evaluación financiera que considera los aspectos básicos para determinar la viabilidad del proyecto, donde se describen en detalle los aspectos más relevantes en la configuración de los flujos de efectivo.

17.1.4 Tasa de descuento

Tasa de descuento para el proyecto será:

$$12 \% = 2,60 \% + 1,1609 (10,69 \% - 2,60\%)$$

Donde 2,60% corresponde a la tasa libre de riesgo (Banco central), 10,69 % corresponde a la tasa del mercado nacional, obtenido con el índice general de precios de las acciones - valor nominal, deflactado anualmente por la inflación acumulada de los períodos entre los años 1994 y 2011. $\beta = 1,1609$ que corresponde al riesgo del portafolio de mercado en estudio.

17.1.5 Parámetros

Dólar Observado al 29 de Junio del 2011 es \$ 469,955

A continuación se describen los flujos de fondos que sustentan la viabilidad del proyecto.

[Escribir texto]

17.1.6 Flujo de caja con proyecto

	Disponibilidad Imp ¹	82,39%	83,41%	83,88%	84,33%	84,76%	
Año	0	1	2	3	4	5	
Ingresos por Eliminación de pérdidas		1.646.925,0	1.560.303,7	1.482.288,6	1.408.174,1	1.337.765,4	
Costos HH		-163.568,9	-71.149,2	-71.149,2	-71.149,2	-71.149,2	
CostoMantenimiento Aplicación		-7.660,3	-7.660,3	-7.660,3	-7.660,3	-7.660,3	
Amortización		-41.489,5	-41.489,5	-41.489,5	-41.489,5	0,0	
Depreciación		-4.633,1	-4.633,1	-4.633,1	-4.633,1	-4.633,1	
UAI		1.429.573,1	1.435.371,6	1.357.356,4	1.283.242,0	1.254.322,8	
Impuesto 17%		-243.027,4	-244.013,2	-230.750,6	-218.151,1	-213.234,9	
UDI		1.186.545,7	1.191.358,4	1.126.605,8	1.065.090,8	1.041.087,9	
Amortización		41.489,5	41.489,5	41.489,5	41.489,5	0,0	
Depreciación		4.633,1	4.633,1	4.633,1	4.633,1	4.633,1	
FCO		1.232.668,3	1.237.481,0	1.172.728,4	1.111.213,5	1.045.721,0	
Inversión Activo Fijo	-26.754,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Inversión Activos Intangibles	-166.958,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
FCC	-193.712,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Flujo Caja Privado	-193.712,9	1.232.668,3	1.237.481,0	1.172.728,4	1.111.213,5	1.045.721,0	
VAN	4.028.127	Proyecto CONVENIENTE				Tasa descuento	12,00%
Tir	635,94%	Proyecto CONVENIENTE (rentabilidad MAYOR que el costo de oportunidad)					
IVAN	21						

Tabla 18: Flujo de caja con proyecto

Los beneficios esperados han sido calculados, considerando un incremento en la utilización de impacto menor a un 1% anual. Los costos asociados al proyecto, principalmente, involucran esfuerzo de mano de obra para el análisis y el ingreso de datos que describen el proceso. Por otra parte, identificamos costos de mantención para la aplicación desarrollada y una inversión en activos fijos e intangibles de US \$193.712,9.

Esto trae como resultado un VAN de US \$ 4.028.127 a una tasa de descuento del 12%.

[Escribir texto]

17.1.7 Flujo de caja sin proyecto

Año	0	1	2	3	4	5	
Ingresos por Eliminación de pérdidas		1.646.925,0	1.560.303,7	1.482.288,6	1.408.174,1	1.337.765,4	
Costos HH		-447.935,0	-447.935,0	-447.935,0	-447.935,0	-447.935,0	
CostoMantenimiento Aplicación		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Amortización		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Depreciación		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
UAI		1.198.990,0	1.112.368,7	1.034.353,5	960.239,1	889.830,4	
Impuesto		-203.828,3	-189.102,7	-175.840,1	-163.240,6	-151.271,2	
UDI		995.161,7	923.266,0	858.513,4	796.998,5	738.559,2	
Amortización		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Depreciación		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
FCD		995.161,7	923.266,0	858.513,4	796.998,5	738.559,2	
Inversión Activo Fijo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Inversión Activos Intangibles	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
FCC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Flujo Caja Privado	-0	995.161,7	923.266,0	858.513,4	796.998,5	738.559,2	
VAN	3.161.539	Proyecto CONVENIENTE				Tasa descuento 12,00%	

Proyecto CONVENIENTE (rentabilidad MAYOR que el costo de oportunidad)

Tabla 19: Flujo de caja sin proyecto.

Los beneficios esperados han sido calculados, considerando un incremento en la utilización de impacto menor a un 1% anual, equivalente a la propuesta con proyecto. Esto significa que la información procesada para mejorar la capacidad disponible es generada solo con la fuerza de trabajo disponible. Los costos asociados al proyecto, principalmente, involucran esfuerzo de mano de obra para ingresar datos que describen el proceso, actividades para procesar de datos y generar información para decidir el futuro de los activos que componen el sistema.

No identificamos costos de mantención, ya que no existe aplicación desarrollada y menos inversión en activos fijos e intangibles. Esto trae como resultado un VAN de US \$ 3.158.204 a una tasa de descuento del 12%. Si llevamos los flujos de fondos de cada proyecto a un análisis incremental, entonces los resultados obtenidos son los siguientes.

17.1.8 Análisis Incremental

TABULACIÓN DE FLUJO DE EFECTIVO INCREMENTAL

[Escribir texto]

		Flujo de Efectivo		3 = 2 - 1
Año	SIN PROYECTO	CON PROYECTO	Flujo efectivo Incremental	
0	0	-193.712,9	-193.712,8	
1	991.426,7	1.228.933,3	237.506,7	
2	923.266,0	1.237.481,0	314.215,0	
3	858.513,4	1.172.728,4	314.215,0	
4	796.998,5	1.111.213,5	314.215,0	
5	738.559,2	1.045.721,0	307.161,8	

Inversión adicional
AHORROS
AHORROS
AHORROS
AHORROS
SE JUSTIFICA

Tasa de descuento	12,00%
VAN incremental	866.588,1
TIR incremental	137%

Tabla 20: Análisis Incremental

Donde el VAN incremental de US \$ 866.588,1 justifica la alternativa CON PROYECTO, frente a mantener la capacidad de fuerza de trabajo actual para el desarrollo de sistemas de cómputo aislados.

17.2 Análisis de Riesgo

17.2.1 Análisis de sensibilidad

Para el flujo de caja con proyecto, la variable que determina la rentabilidad del proyecto es el tiempo en horas de detención por fallos de mantenimiento y operación. Es por esta razón que se ha elaborado el análisis de sensibilidad sobre estas variables, dejando todo lo demás igual, para determinar el punto en el cual se hace rentable el proyecto.

[Escribir texto]

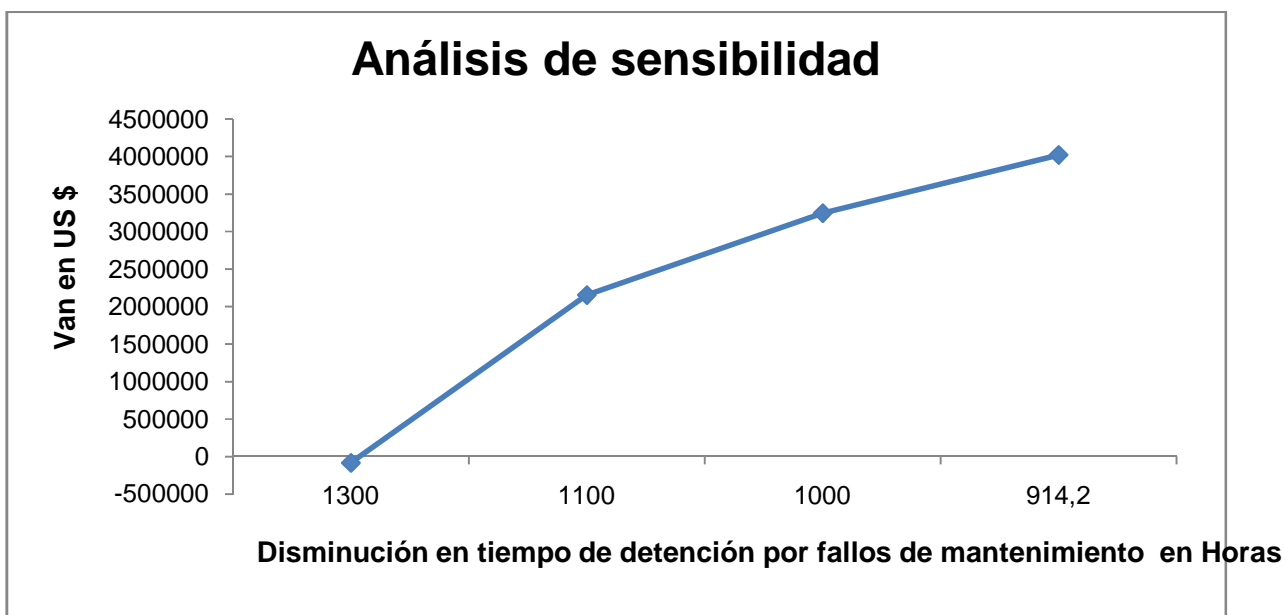


Ilustración 0-239: análisis de sensibilidad

El punto en el cual el VAN se hace positivo equivale a 1280 horas de detenciones por fallos de mantenimiento.

17.2.2 Identificación de variables riesgosas

Si bien, en el análisis de sensibilidad se ha identificado a los fallos aleatorios por mantenimiento como el factor más relevante para el proyecto, se ha demostrado que la viabilidad del negocio depende además de la variabilidad en el proceso de operación de un sistema industrial (aleatoriedad en la ocurrencia de fallos de equipos y en los fallos dados por la operación misma), que son causantes de millones de dólares en pérdidas de producción, en el caso de este proyecto a una utilización de impacto anual de 67,79% en el primer período de análisis, las pérdidas ascienden a US \$ 42,2 millones. A continuación vemos el detalle:

Detenciones por mantenimiento planificado: 624,3 horas (22,18 % del total),

Detenciones por actividades operacionales: 558,7 horas (19,85% del total)

[Escribir texto]

Detenciones por fallos de mantenimiento: 914,2 horas (32,49 % del total)

Detenciones por averías operacionales: 717 horas (25,48% del total)

Por otra parte, según datos obtenidos en terreno, las pérdidas de producción en promedio causadas por una hora de detención equivalen a US \$ 15.000.

17.2.3 Análisis por simulación

Para el análisis de simulación del flujo de caja el valor estático “horas de detención por fallos de mantenimiento” será sustituido por un comportamiento probabilístico, con un promedio de 914,2 horas y una desviación estándar de 91,4 horas.

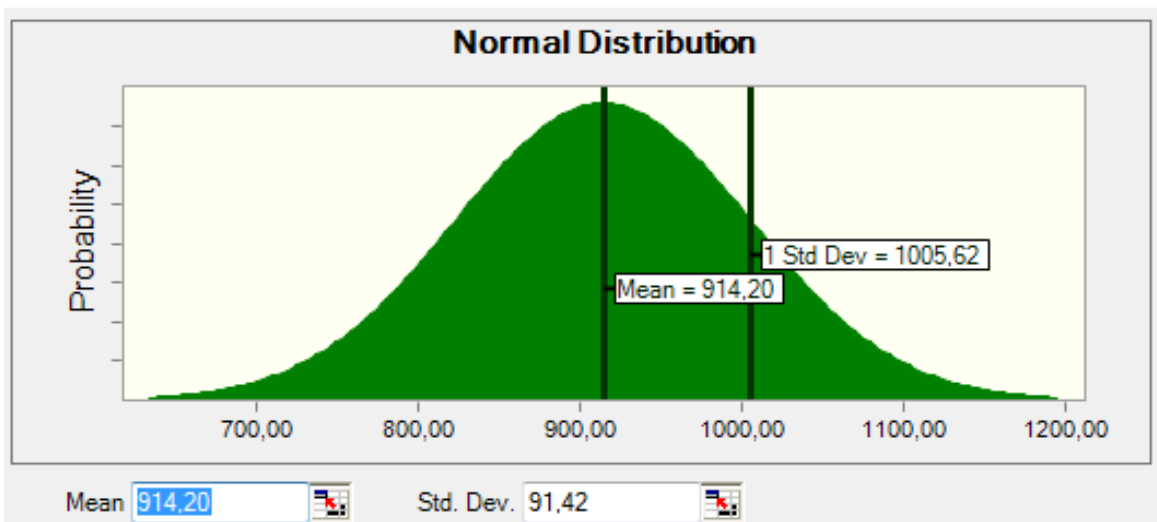


Ilustración 0-240: Distribución probabilística de horas por fallos de mantenimiento.

De la misma forma, una mejora en las tácticas de mantenimiento, permite a operaciones obtener mejores resultados en la utilización de la capacidad de activos físicos. Debido a que un equipo bien mantenido, tiene una probabilidad mayor de presentar estabilidad durante el proceso de producción. El

[Escribir texto]

comportamiento de esta variable será descrita a continuación y tiene una media de 558,7 horas con una desviación estándar de 55,87 horas. Así, obtenemos la siguiente distribución de probabilidades para esta variable.

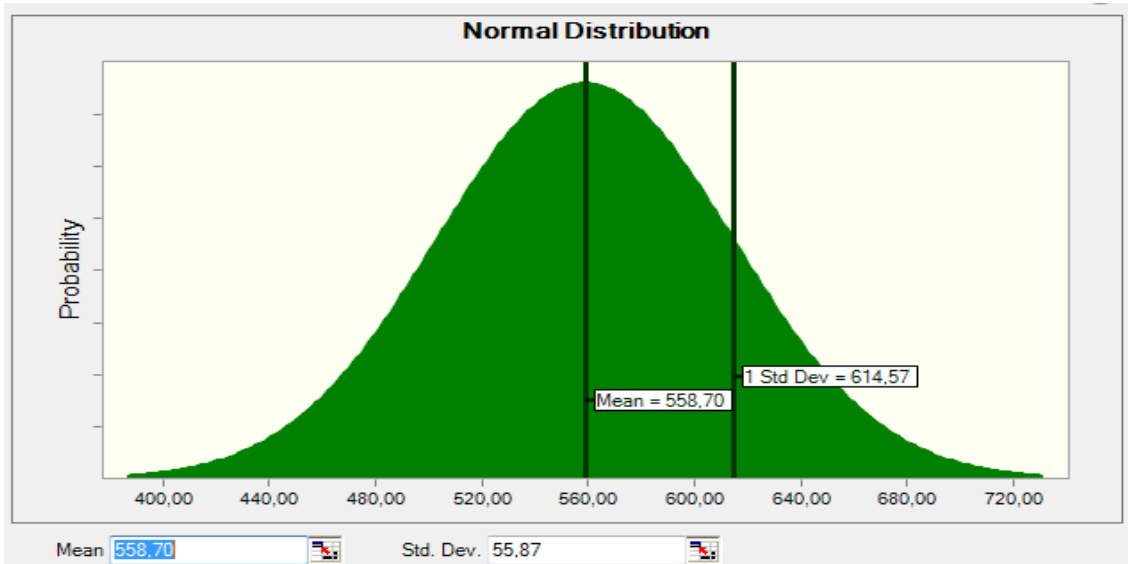


Ilustración 0-241: Distribución probabilística de horas por fallos operacionales.

Por lo tanto, para el horizonte en el cual se evalúa el proyecto, existen dos variables inciertas que deben ser analizadas para obtener una aproximación ideal del VAN del proyecto. Además, se ha verificado en terreno que estas variables tienen una relación, dado que una disminución en horas de tiempo por fallos de mantenimiento, provoca una disminución en tiempo por fallos de operaciones.

Una salida de la simulación, es una gráfica de frecuencia del comportamiento del VAN, que corresponde a una distribución normal con media US \$ 3.934.429 y desviación estándar US \$ 1.030.107, con un intervalo de confianza del 95% a que el VAN resultará positivo.

[Escribir texto]

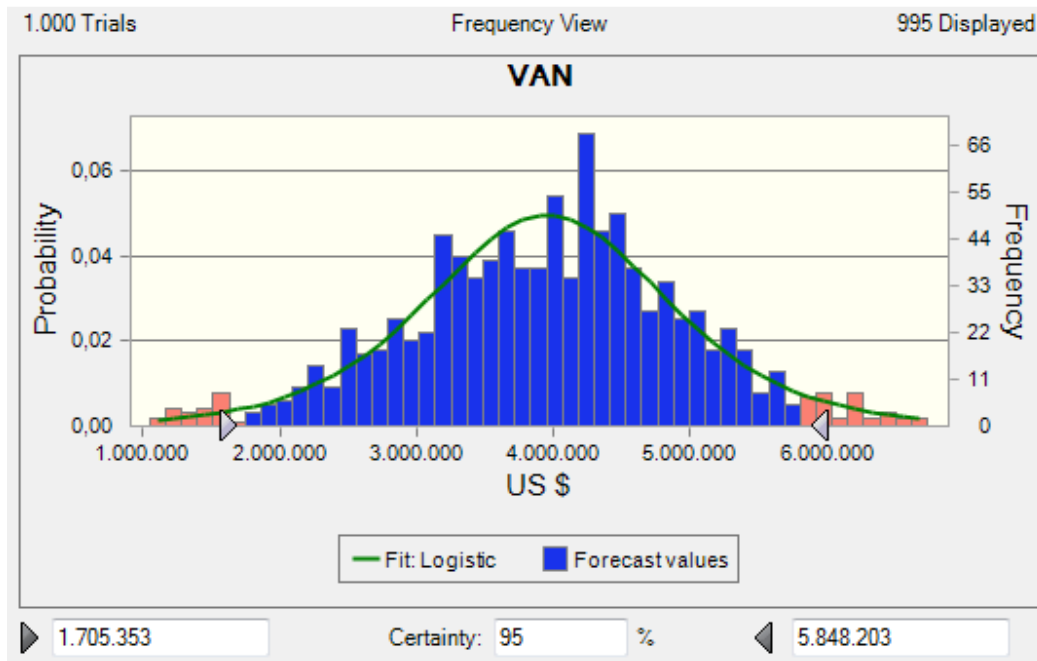


Ilustración 0-242: Distribución de frecuencia para el VAN

17.3 Conclusión de la simulación

Después de analizar el escenario, se puede concluir que el proyecto posee una gran probabilidad de presentar un VAN positivo, con un promedio cercano a US \$3,9 Millones, por lo que el proyecto se justifica completamente.

18. Resultados Obtenidos

El primer resultado satisfactorio se obtiene durante el primer semestre del primer período, representado por la construcción de perfil de catálogos basado en

[Escribir texto]

análisis de criticidad, aquí se explicitan las unidades productivas y equipamiento industrial que compone el sistema “Planta área seca”. Además, se codifica su posición relativa para el análisis de confiabilidad (ver ilustración **11.2.3 Estudiar Mantenibilidad**).

Otro logro importante y crítico para el éxito del proyecto tiene relación con la definición de modos de fallas, para cada grupo de equipos instalados en “Planta área seca”, validados por el área de Mantenimiento del sistema en estudio. El motivo de su importancia radica en el tiempo, costo, esfuerzo, necesarios para su implementación y en su importancia para el análisis de confiabilidad (**12.2.2.1 Estudiar Mantenibilidad**).

La construcción del módulo de detenciones es una herramienta muy importante, ya que habilita datos al “Portal de análisis”. Además, es en el módulo de detenciones donde se define la ocurrencia y la clasificación de la detención. El desafío futuro radica en la clasificación de fallos directa desde los equipos definidos en **12.1.8 Producción y entrega**, sin la intervención humana.

Se han implementado todos los indicadores claves de desempeño, estos son MTBF, MTTR, disponibilidad, uso, utilización, utilización de la capacidad del activo. Además, se ha creado un indicador de impacto que mide el efecto multiplicador que provocan detenciones aguas arriba en planta área seca. Todos ellos permiten evaluar al sistema periódicamente y utilizar estrategias para incrementar la confiabilidad del mismo, tomando como base los resultados obtenidos.

Con el proceso análisis de pérdidas y decidir tácticas para utilizar recursos, los resultados han sido satisfactorios, ya que se ha logrado disminuir la frecuencia de la aleatoriedad provocado por la ocurrencia de fallos mecánicos y operacionales. Además, se disminuyen los tiempos de detención, lo que involucra una mejora en la mantenibilidad.

[Escribir texto]

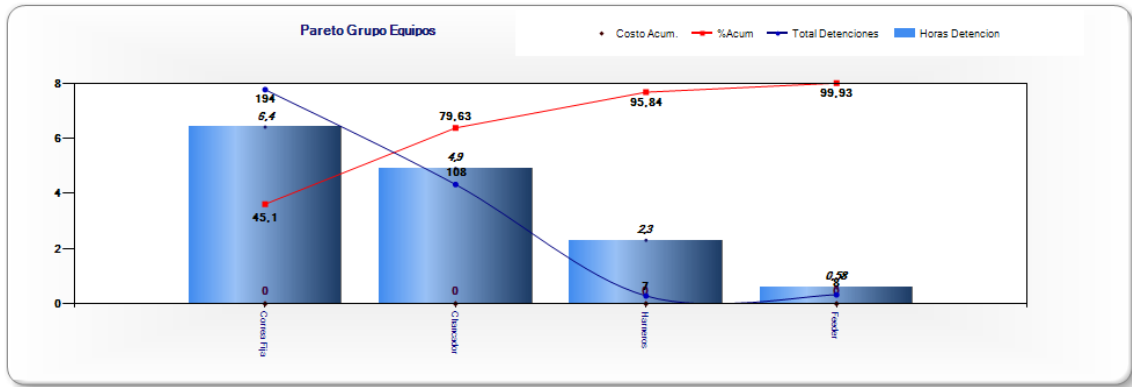


Ilustración 0-243: frecuencia de detenciones en planta área seca, primer mes de segundo período.

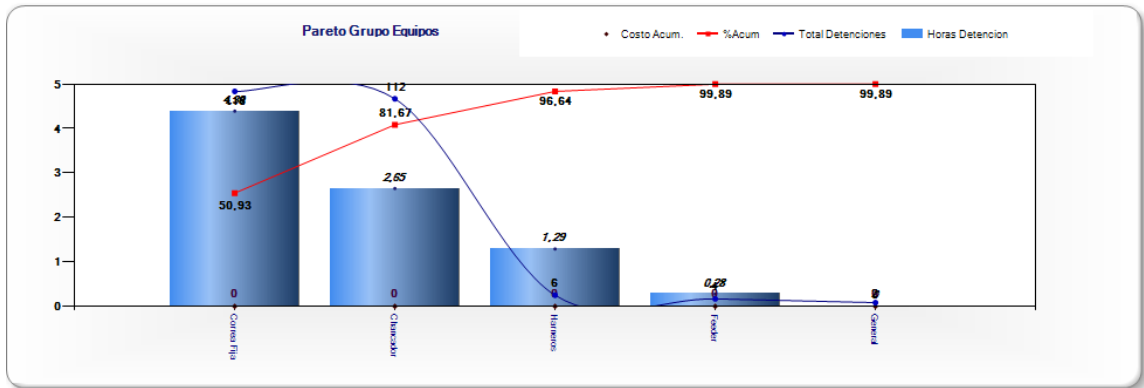


Ilustración 0-244: Frecuencia de detenciones en planta área seca, segundo mes de segundo período.

Sumado a esto, la identificación y corrección de fallos clasificados como crónicos y agudos ha sido satisfactoria, disminuyendo el tiempo fuera de servicio, el número de detenciones y el número de códigos de fallo afectados, lo que refrenda una mejora en la mantenibilidad del sistema.

[Escribir texto]

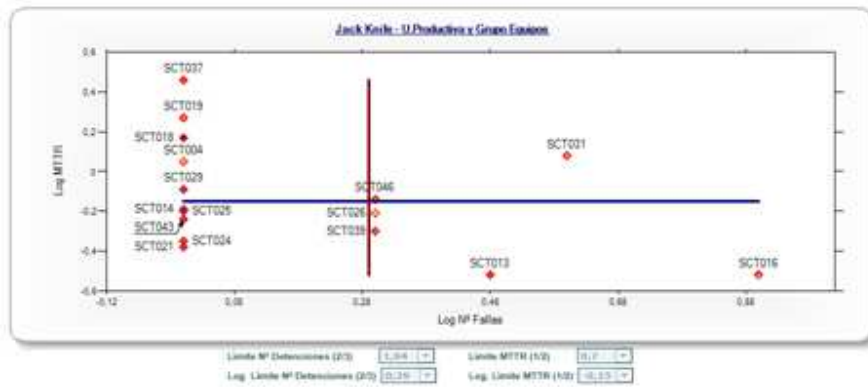


Ilustración 0-245: Análisis Jack Knife, cuarto mes, segundo período de análisis.

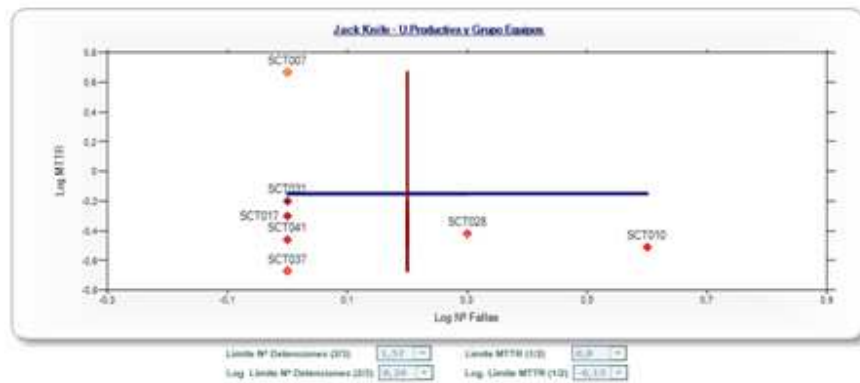


Ilustración 0-246: Análisis Jack Knife, quinto mes, segundo período de análisis.

Por otro lado, un mantenimiento efectivo involucra un incremento en el tiempo medio entre fallos, en este ejemplo, para correas móviles en la unidad productiva de apilamiento.

[Escribir texto]

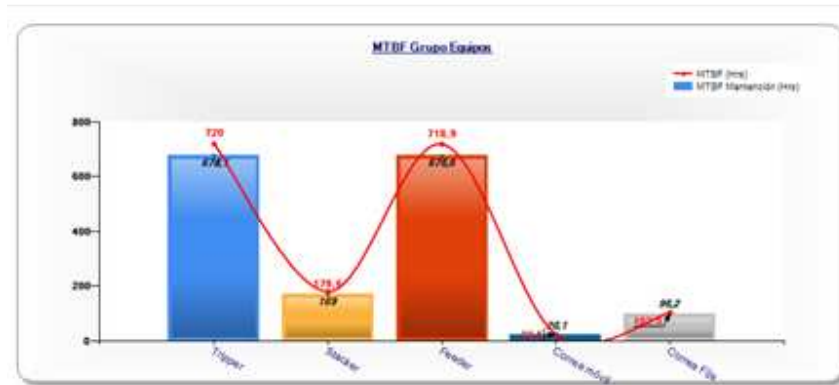


Ilustración 0-247: MTBF correas móviles apilamiento, cuarto mes, segundo período de análisis.

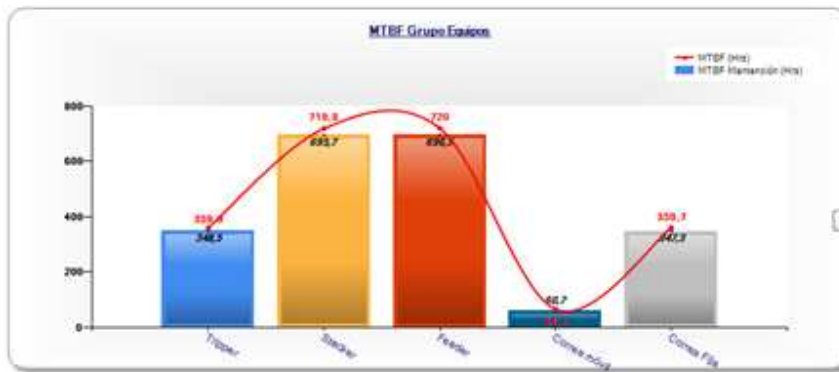


Ilustración 0-248: MTBF Correas móviles apilamiento, quinto mes, segundo período de análisis.

Con esta información, el área de Mantenimiento cuantifica el incremento de la confiabilidad, que permite estimar el instante en que el equipo industrial presentará fallos, de esta manera, prioriza y planifica de forma oportuna los trabajos y repuestos necesarios para dar continuidad al funcionamiento del sistema.

[Escribir texto]

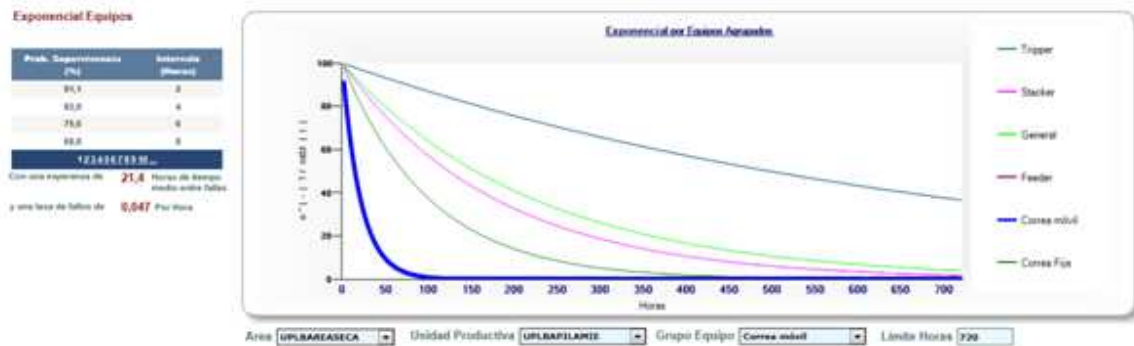


Ilustración 0-249: Confiabilidad exponencial de equipos agrupados, cuarto mes, segundo período de análisis.

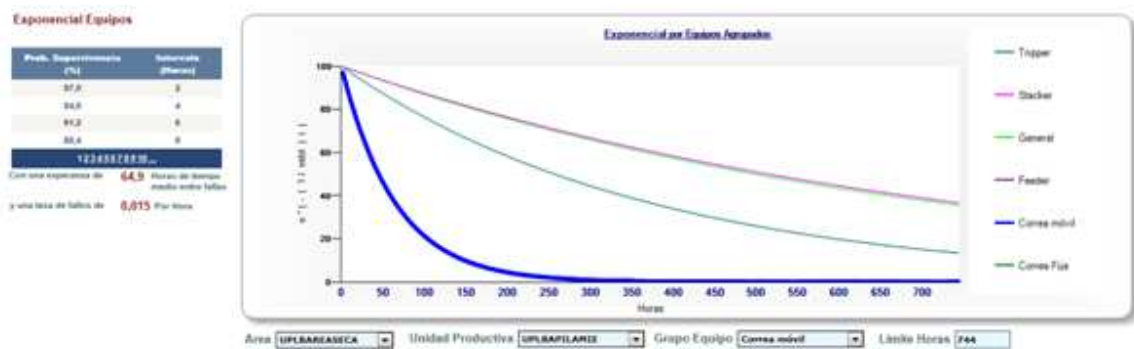


Ilustración 0-250: Confiabilidad exponencial de equipos agrupados, quinto mes, segundo período de análisis.

De esta manera, desde el cuarto mes del segundo período de análisis al quinto mes del segundo período de análisis, las correas móviles presentan un incremento cercano a un 5% de confiabilidad.

El análisis anterior es de forma desagregada, solo depende de la ocurrencia del analista, enfocado en una unidad productiva en particular, un equipo, un modo de falla o un grupo de equipos.

Esto demuestra que los procesos que definen a las estrategias y tácticas de mantenimiento, y la analítica aplicada, son una herramienta efectiva en el aprendizaje, difusión del conocimiento y mejora continua.

[Escribir texto]

Para terminar, si comparamos los resultados obtenidos en la primera mitad del primer período de análisis, con la primera mitad del segundo período de análisis, utilizando como parámetro de medición a la “disponibilidad de impacto área seca” obtenemos lo siguiente:

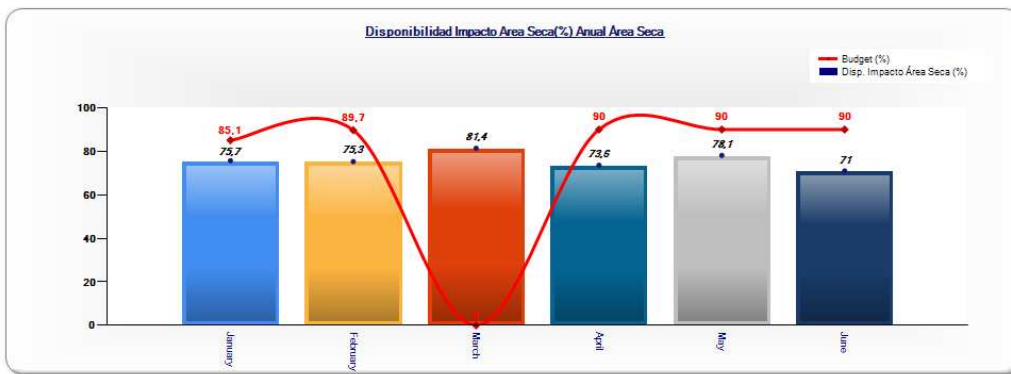


Ilustración 0-251: Disponibilidad de impacto área seca, primera mitad del segundo período de análisis.

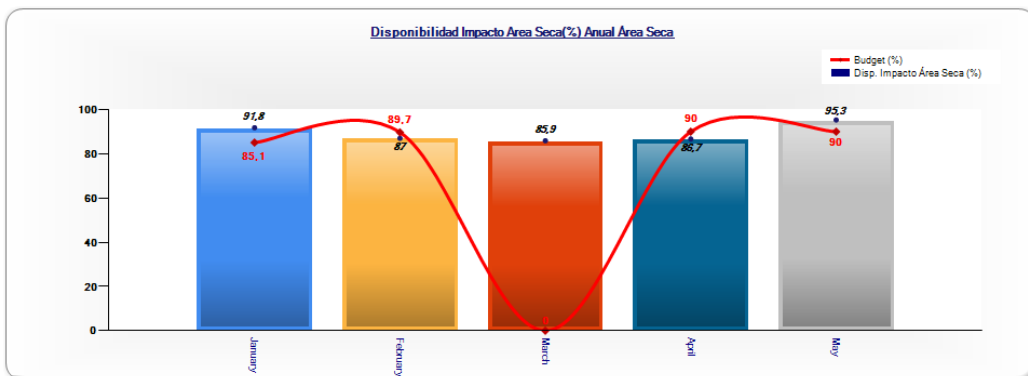


Ilustración 0-252: Disponibilidad de impacto área seca, primera mitad del segundo período de análisis.

Esto demuestra un incremento considerable del tiempo disponible cercano al 10%, que supera las expectativas de crecimiento calculadas en el capítulo 17 “Análisis económico”.

19. Framework

Los patrones de procesos de negocios aplicados a un dominio en particular permiten formalizar los procesos de las empresas, tomando en consideración las relaciones que explicitan la información generada desde cada una de las unidades funcionales y roles que, en conjunto configuran a la empresa. Los procesos diseñados poseen una lógica que define como las empresas deben desarrollar sus actividades. Sumado a esto, el diseño de software debe estar alineado a los procesos que soporta, enfatizando su existencia solo en base a las necesidades del negocio.

Un Framework es una estructura genérica de clases, que sirve de apoyo a las empresas donde se desenvuelven, en un dominio en particular, presentando características de adaptabilidad en casos particulares, y su esquema reduce costos y tiempo de esfuerzo en el desarrollo.

Dado este escenario, el Doctor Oscar Barros explica el concepto de framework y especifica que se encuentra orientado a la lógica de negocio, basado en métodos analíticos avanzados que provienen de la estadística y de la inteligencia de negocios, lo que trae como consecuencia un diseño de clases alternativo denominado Business Object Framework (BOF), que proponen una estructura genérica de objetos basado en lógica de negocios, para facilitar el desarrollo de aplicaciones que resuelven problemas en un dominio semejante.

19.1 Alcance del dominio

Como mencionábamos anteriormente, el framework debe estar asociado a un dominio en particular, y para el caso del proyecto en estudio, su alcance debe involucrar a toda la gama de empresas que requieren de servicios de mantenimiento para sistemas que fallan.

[Escribir texto]

Por lo tanto, el alcance es definido por la función de estructura del sistema, dado que esta característica es la que entrega una confiabilidad en el diseño y en el tiempo, que debe ser mantenida y mejorada, de forma de hacer sustentable al sistema en estudio.

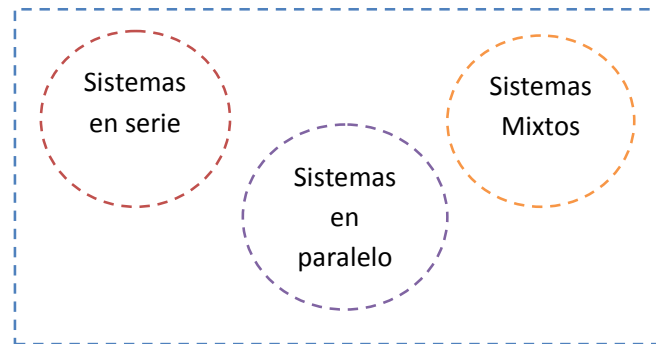


Ilustración 0-253: Scope del dominio para el Framework

Si consideramos la ilustración anterior, podemos determinar que en la industria, todos los sistemas poseen estas características, en empresas de transporte, de producción continua e incluso en sistemas humanos, es posible instalar la ontología de confiabilidad operacional basada en Ingeniería de negocios, ya que es aplicable a la función de estructura de un sistema en particular.

Cabe destacar, que existe una gran diferencia de complejidad para instalar el framework en un sistema humano comparado con un sistema industrial, pero solo será necesaria una mayor cantidad de esfuerzo para obtener resultados semejantes.

19.2 Lógica de negocios Trivial y compleja Genérica

La ontología definida en el proyecto, tiene como objetivo entregar un diseño de procesos que sustenta una lógica de negocios genérica, para que sea

[Escribir texto]

transportable a un dominio de forma flexible. Esto es así, dado que los sistemas en estudio dependen de su función de estructura.

A partir de esta premisa, se han identificado las siguientes etapas para el estudio de la confiabilidad operacional basada en ingeniería de negocios en sistemas genéricos.

- i. Determinar Plan de producción.
- ii. Crear de Perfil de catálogo.
- iii. Generar Analítica de apoyo al proceso diario.
- iv. Determinar riesgo operacional.
- v. Determinar reemplazo preventivo óptimo

Cada uno de los puntos mencionados se aborda en detalle en el capítulo 13, ya que se relaciona con la definición de lógica de negocios.

19.3 Diseño del Framework

Una vez que hemos definido la lógica de negocio que describe el proceso de análisis aplicado a un dominio de discurso, estamos en condiciones de diseñar el Framework, como un sistema de clases que representan un diseño orientado a objetos de la lógica trivial y compleja, capaz de integrarse con los sistemas existentes.

El mapeo de patrones de procesos de negocio BPP, lógica de negocio hacia un framework de objetos de negocio (Barros, 2002), es como sigue:

1. La estructura de la lógica de negocios de un dominio dado nos entrega una primera definición de una clase de objeto de negocio, que

[Escribir texto]

encapsula el algoritmo o la heurística, que resuelve el problema para diferentes casos en este dominio.

2. La estructura de un objeto de negocio puede ser modelada, usando diagramas de clases UML, usando operaciones o métodos, definidos de acuerdo a la lógica de negocio.
3. Los datos necesarios para ejecutar operaciones pueden ser derivados de los parámetros incluidos en la lógica de negocio.
4. Los datos pueden ser estructurados en clases que interactúan con el objeto de negocio. Un completo diagrama de clases con objetos de negocios y clases de datos pueden ser modelados usando UML.

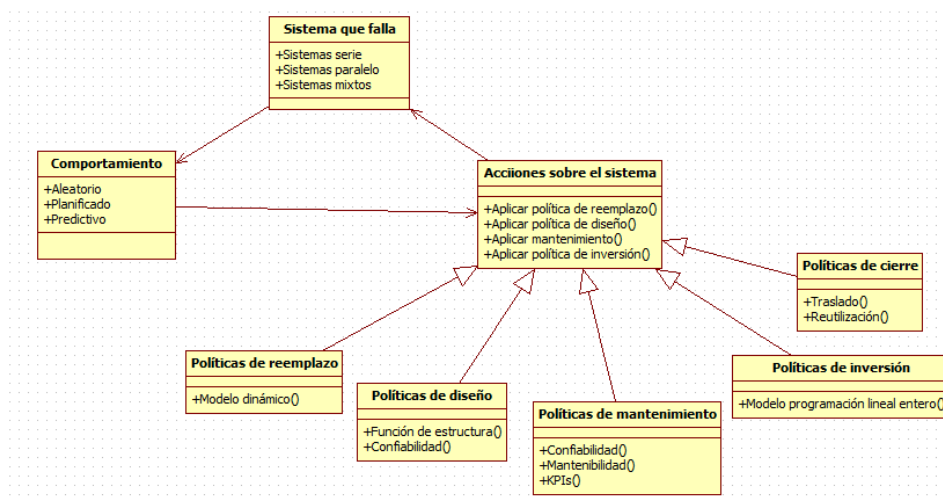


Ilustración 0-254: Alcance del Framework integrado de mantenimiento.

De acuerdo a la gráfica expuesta, que representa a un framework para la gestión de activos, es necesario considerar lo siguiente:

1. **Sistema que falla**, queda determinado por el sistema y su función de estructura, en el cual, la configuración en la disposición de los nodos que

[Escribir texto]

conforman el sistema aseguran una confiabilidad hipotética de base. Las variables tecnológicas, estructurales, las personas y los procesos contribuyen a la mejora de la confiabilidad. Por otra parte, para el diseño efectivo del sistema es necesario asignar criticidad a los equipos que lo conforman, de esta manera existen sistemas irrelevantes, sistemas coherentes y complejos donde se funda el estudio de la confiabilidad.

2. **Comportamiento**, dada la naturaleza del sistema y su entorno, presenta un comportamiento en el tiempo, básicamente, controlado por la estrategia y las tácticas aplicadas. Donde la ocurrencia de eventos determina las acciones.

3. **Acciones sobre el sistema:** esta es una clase padre de control, donde se heredan una serie de clases que ejecutan lógica de negocios en apoyo al comportamiento descrito por el sistema en estudio.

4. **Políticas de mantenimiento:** determina cuales serán las acciones a realizar sobre un sistema basado en su comportamiento e impacto en el negocio.

5. **Políticas de reemplazo:** corresponden al estudio de modelos de reemplazo, se basa en información de costos de operación y mantención, que tienen implícita la confiabilidad.

6. **Políticas de inversión:** consiste en decidir acerca de la mejor alternativa de inversión dada una cartera de proyectos, de esta manera se logrará priorizar respecto a proyectos que agregan poco valor.

7. **Políticas de cierre:** consiste en elaborar un plan efectivo de cierre de planta, que considera el traslado de todos los activos para la reutilización en procesos alternativos o la enajenación.

[Escribir texto]

19.4 Beneficios del Framework

- Permite acelerar la velocidad en la implementación de sistemas de apoyo a la decisión de Mantenimiento.
- Disminuye el costo para implementar una solución de Mantenimiento.
- Dada la naturaleza del sistema en estudio y a su complejidad, los componentes de software pueden ser adaptados para su reutilización.
- Facilita la difusión del conocimiento ya que es transversal.

20. Conclusiones y Trabajo Futuro

Las conclusiones principales para este trabajo son las siguientes.

El enfoque de la ingeniería de negocios es innovador y complejo, dado que analista que emprende un estudio con esta metodología debe ser capaz de comprender la estrategia, arquitectura empresarial, procesos de negocio, analítica y lógica compleja, liderar el proceso de gestión del cambio, para terminar con la implementación de tecnologías de información que materializan la propuesta, utilizando las mejores prácticas de la industria, por lo tanto, el Ingeniero de Negocios es transversal.

Desde la perspectiva del proyecto, el trabajo inicial que considera la recopilación de datos para generar el perfil de catálogos, es una labor que involucra mucho tiempo y esfuerzo, ya que se deben coordinar y validar las definiciones de la función de estructura, modos de falla y árbol de mantenimiento, para cada uno de los componentes, equipos y unidades productivas que conforman el sistema en estudio. Además, las estrategias de mantenimiento representan procesos complejos que, básicamente, necesitan predecir los fallos de equipamiento industrial, para coordinar la compra de repuestos, recursos

[Escribir texto]

humanos especialistas, reemplazo de equipos, de forma oportuna y a un mínimo costo. Por otro lado, dada la complejidad del sistema en estudio y a las características particulares de cada equipo que lo conforman, ha sido imposible descubrir un modelo unificado que permita gestionar por completo a todas las estrategias y tácticas de mantenimiento.

Incluso con estas barreras presentes, la Ingeniería de Negocios permite abordar todos los escenarios que proporciona la industria, ya que su fundamento se basa en la experiencia de cientos de empresas nacionales y extranjeras, que aseguran el éxito en el cumplimiento de los objetivos.

Los trabajos futuros son variados, para comenzar, cabe destacar la implementación de una arquitectura empresarial en línea, capaz de informar el estado del clúster en tiempo real y distribuido.

La implementación de un modelo para la planificación de la producción, considerando el riesgo en base a la ley de cobre, los costos de extracción y producción que dependen de variables que presentan una alta volatilidad. Esta es información de entrada importante para la planificación de la capacidad disponible (Lagos, G. (2011), MGO, Universidad de Chile).

El estudio e implementación de una biblioteca de mantenimiento que considera a todos los activos críticos y a los sistemas que conforman una planta minera, esta iniciativa reduce los costos de coordinación y de agencia, ya que por medio de un sistema se difunden las prácticas y aprendizaje de cada una de las plantas que conforman el clúster minero.

Implementar un completo análisis de confiabilidad, que permita pronosticar el riesgo de seguir operando con una mayor certeza.

Una vez que el sistema, compañía minera, esté resuelto, el objetivo es complementar las técnicas de la Ingeniería de Negocios con el estudio de sistemas de mayor complejidad, con un enfoque hacia la confiabilidad operacional,

[Escribir texto]

de esta manera, las mejores prácticas de la industria, posiblemente, aprendan del sistema más perfecto conocido, el cuerpo humano.

21. Bibliografía

- Barros, O. (1982) Investigación Operativa, Análisis de Sistemas Vol. II
- Barros, O. (2004). *Business Process Patterns and Frameworks: Reusing Knowledge in Process Innovation*. DII, Universidad de Chile.
- Barros, O. (marzo de 2009). Ingeniería de Negocios. *Diseño Integrado de Negocios, Procesos y Aplicaciones TI - 2da, 3ra y 4ta parte* . Universidad de Chile.
- Barros, O. (Marzo de 2010). Ingeniería de Negocios. *Diseño Integrado de Negocios, Procesos y Aplicaciones TI - 1ra Parte* . Universidad de Chile.
- Barros, O. (2006). La Ingeniería de Negocios y Enterprise Architecture. *CEGES, Departamento de Ingeniería Industrial* .
- Barros, O. (2003). *Rediseño de Procesos de Negocios mediante el Uso de Patrones*. Comunicaciones Noreste Ltda.
- Barros, O., & Julio, C. (2010). Enterprise and Process Architecture Patterns. *BPTrends* , 1-15.
- BizAgi.(2010). Obtenido de www.bizagi.com
- Hax, A. (2010). *The Delta Model: Reinventing your Business Strategy*. Springer.
- Kagermann, H., Johnson, M. W., & Christensen, C. M. (2008). Reinventing Your Business Model. *Harvard Business Review* , 51-59.

[Escribir texto]

- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2001). *The Strategy-focused Organization: How Balanced Scorecard Companies thrive in the new business environment*. Harvard Business School Press.
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). *The Balanced Scorecard: Translating Strategy to Action*. Boston: harvard Business School Press.
- Porter, M. (1996). What is Strategy? *Harvard Buissnes Review* .
- Ortiz, Varas, Vera (2000) Optimización y Modelos para la gestión, Dolmen Ediciones.
- Lagos, G. (2011). Estudio de métodos de optimización robusta para el problema de planificación de producción en minería a cielo abierto.

[Escribir texto]

22. Anexos

Configuración de servidor de aplicaciones y servidor de bases de datos

Configuración Servidor de Base de datos

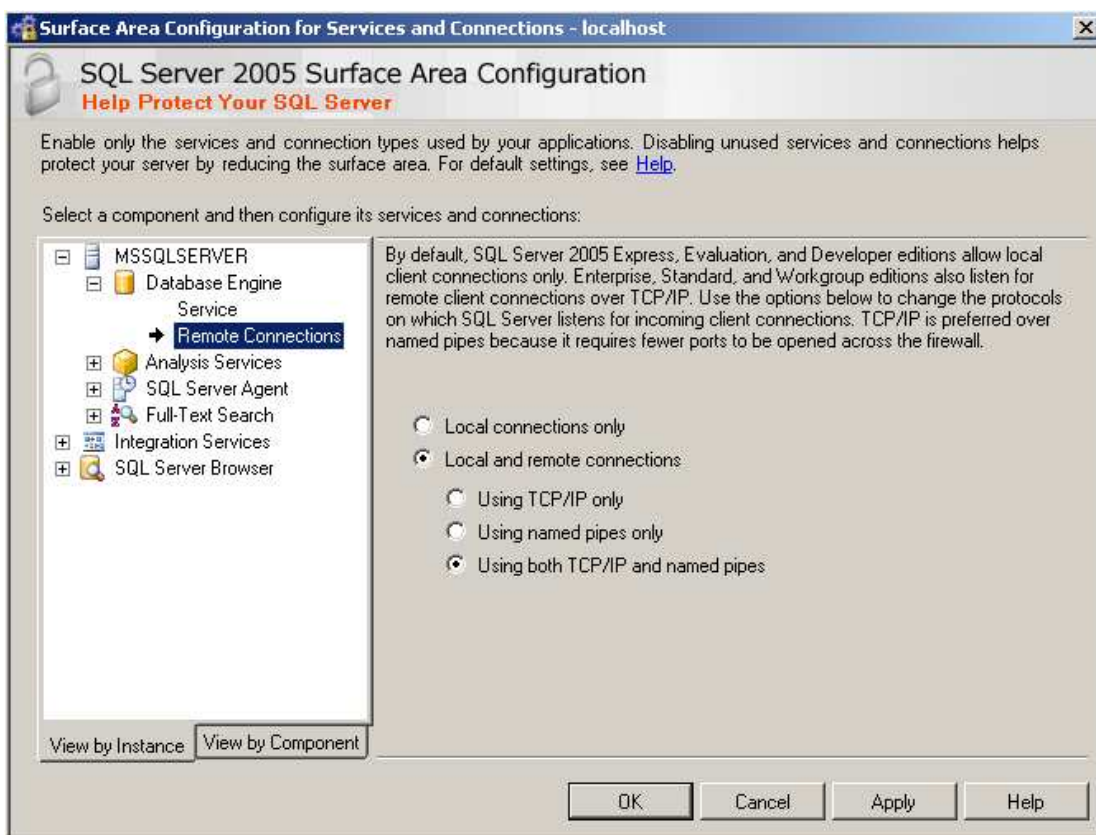
Para verificar que el servidor de bases de datos se encuentre en condiciones aptas para efectuar conexiones remotas, debemos abrir SQL server 2005 Surface Area Configuration como en el siguiente esquema.



[Escribir texto]

Una vez abierta la aplicación, será necesario ingresar a **surface area configuration for services and connections**, de esta manera verificaremos que el servicio está corriendo y que se encuentra activo el protocolo TCP para conectividad remota.

El administrador de la red, debe verificar los permisos necesarios para que los equipos que pertenecen al dominio de la compañía puedan conectar vía TCP al motor de bases de datos SQL Server.



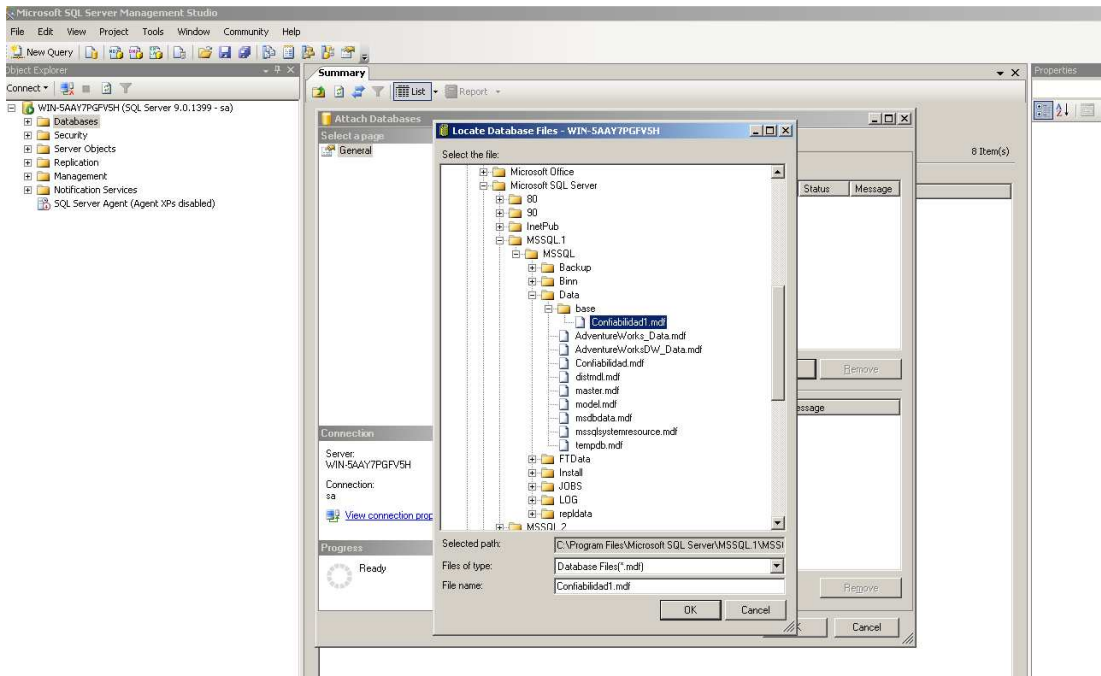
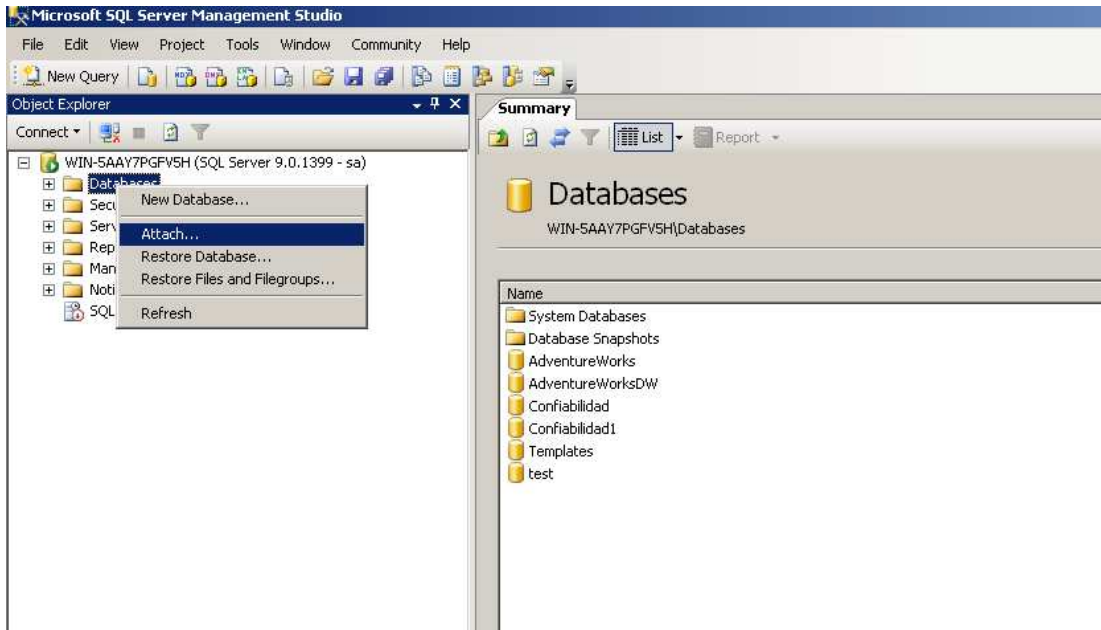
Debe verificar la configuración de FIREWALL

Puerto TCP Sql Server por defecto es el 1433 y debe tener permisos para poder conectar con la base de datos desde la aplicación ASP.NET.

Una vez que ha sido revisada esta configuración, el administrador de sistemas se encontrará en condiciones de llevar a cabo la configuración de

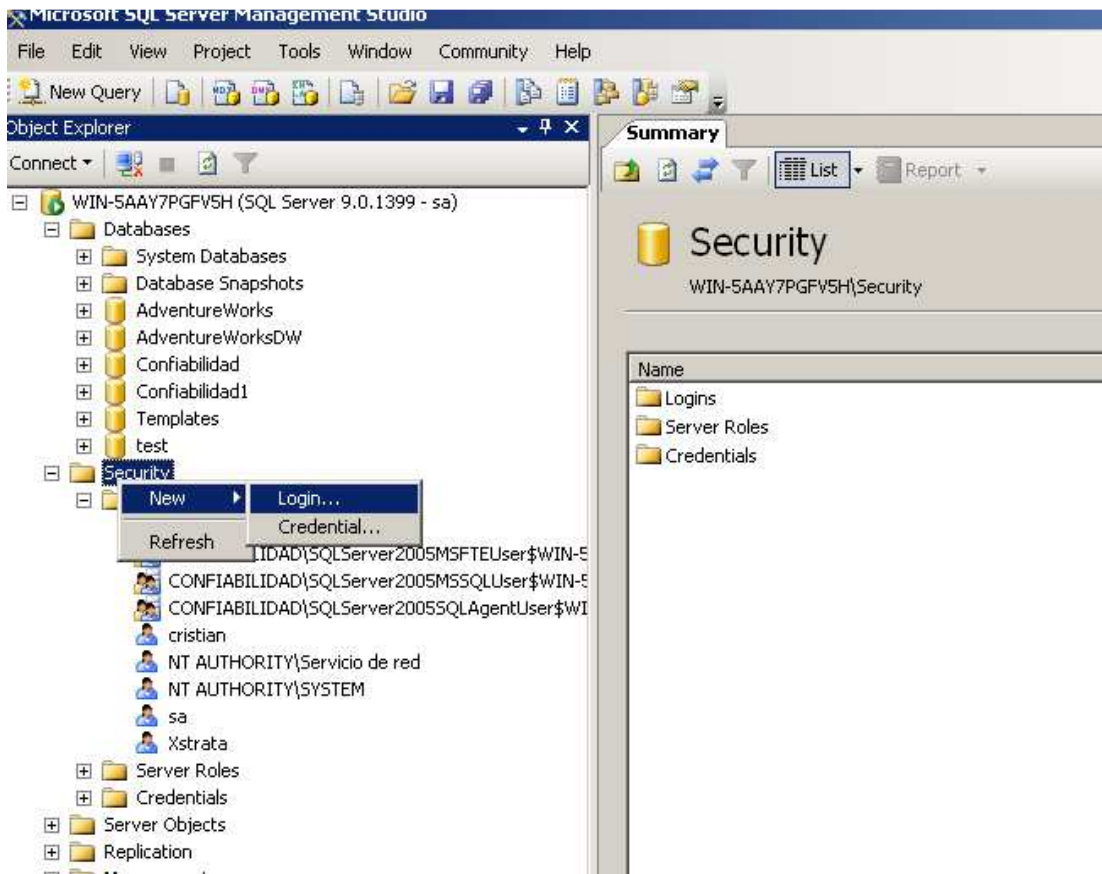
[Escribir texto]

nuestra base de datos y la asignación de instancias con los privilegios respectivos para una efectiva utilización de los módulos de sistema que proporciona el Portal de análisis de confiabilidad.

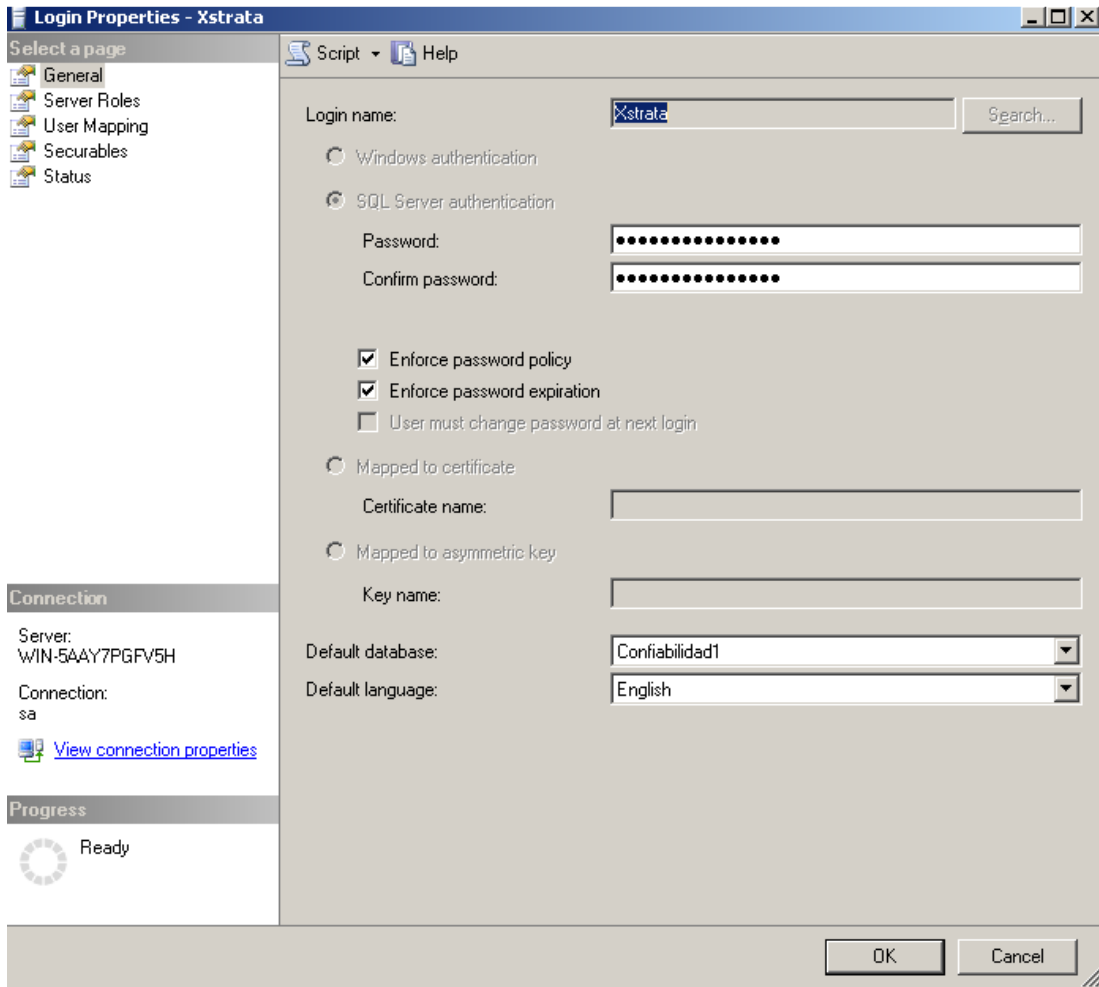


[Escribir texto]

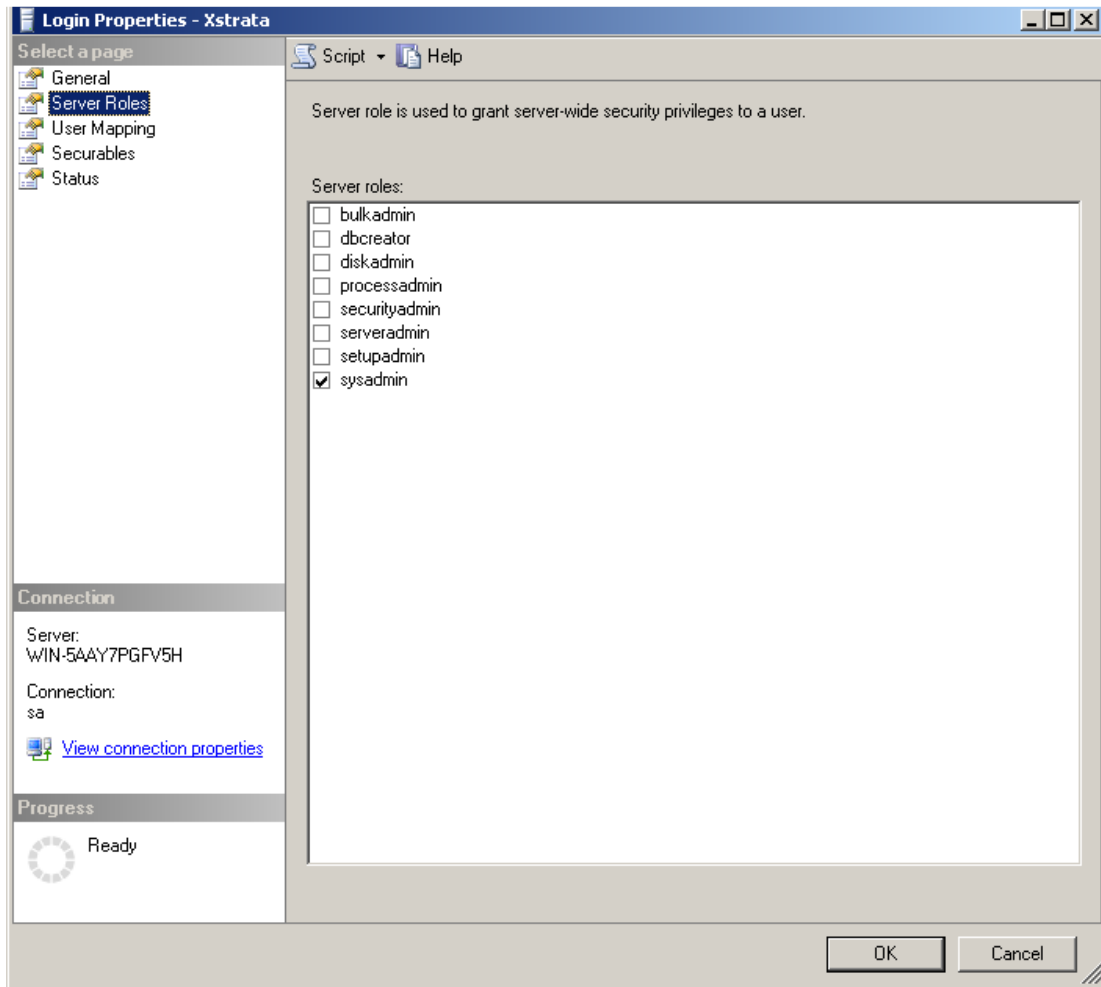
Crear Nuevo Usuario



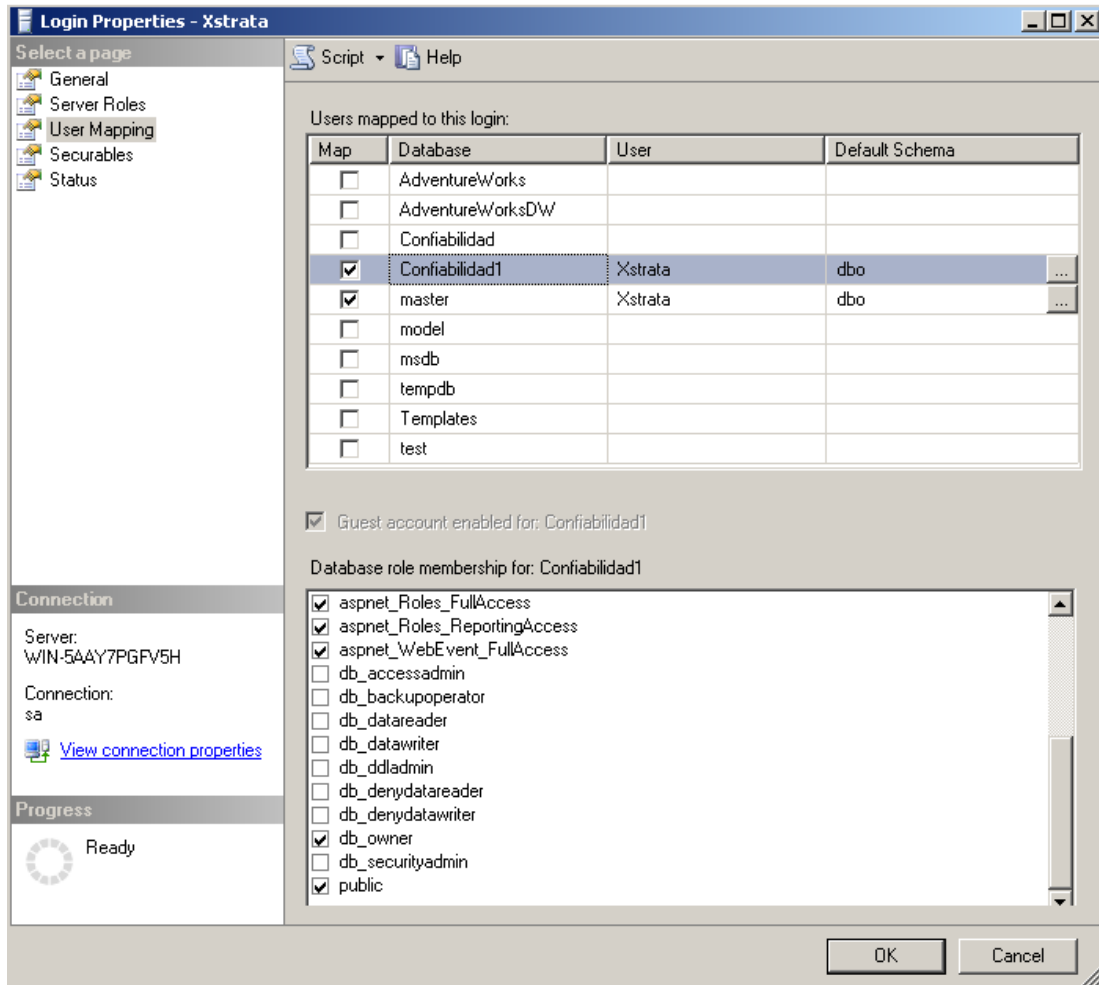
[Escribir texto]



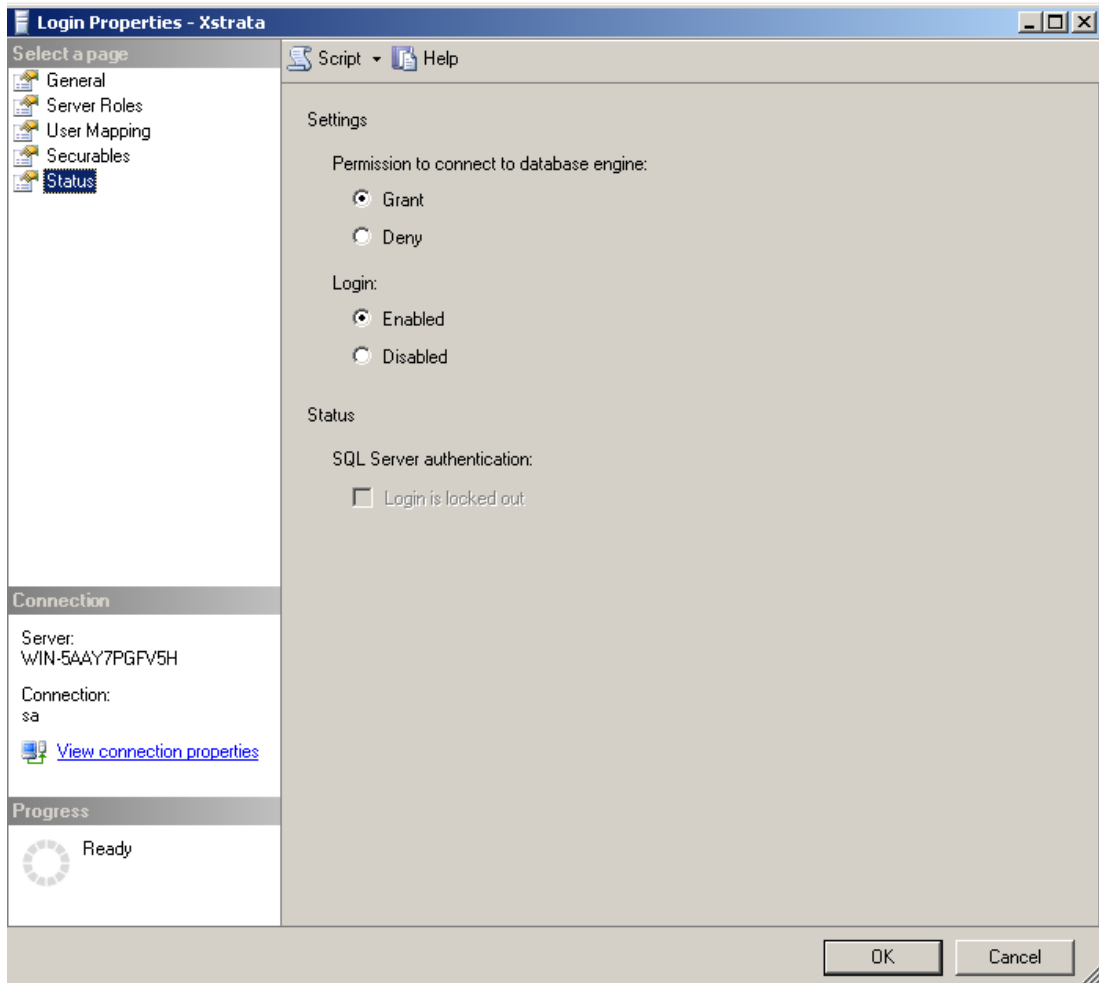
[Escribir texto]



[Escribir texto]

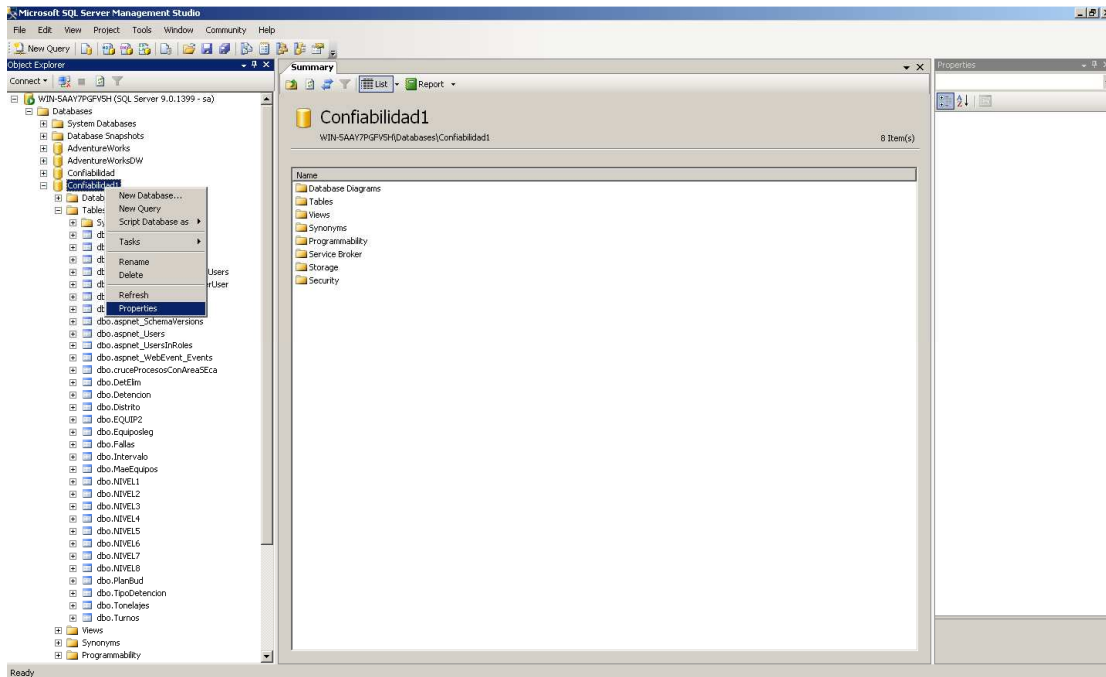


[Escribir texto]

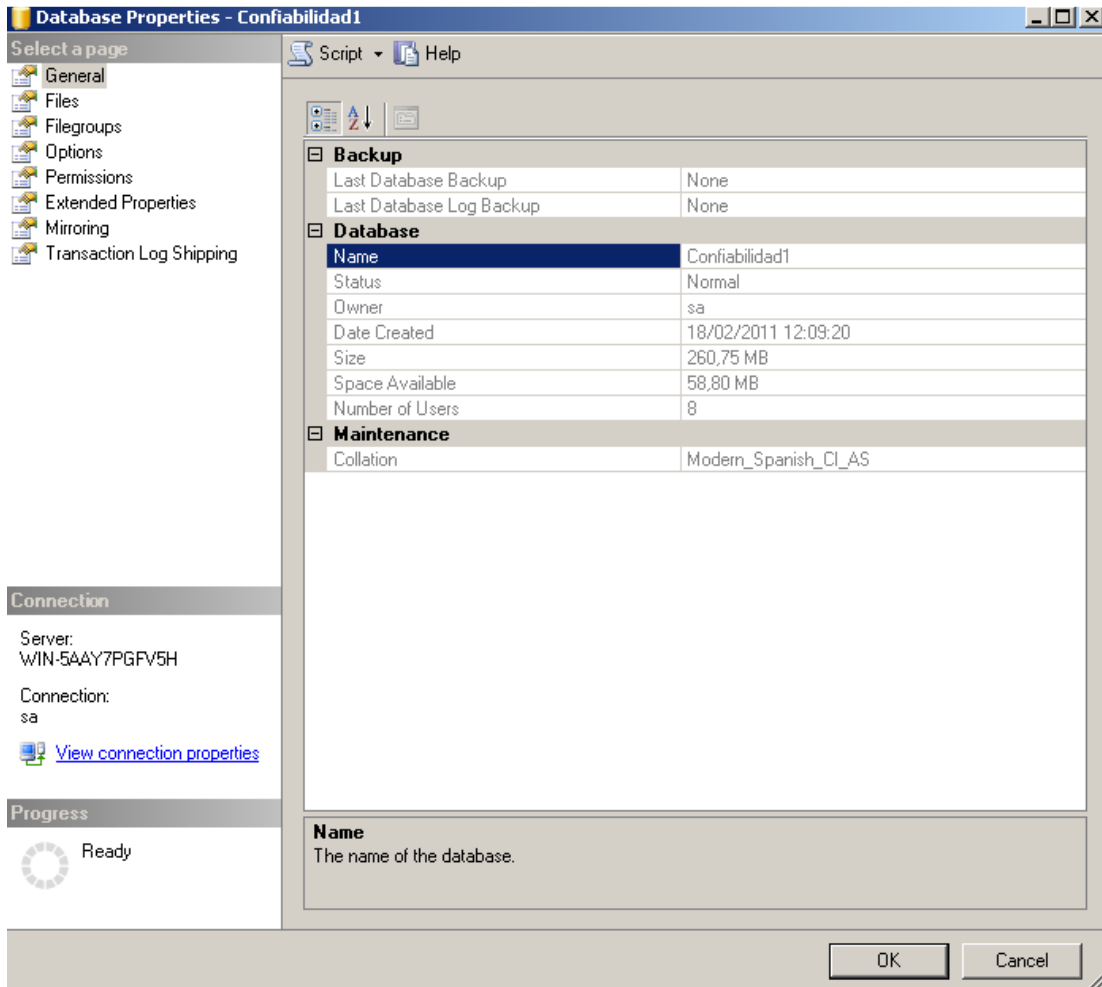


[Escribir texto]

Verificar las propiedades de la base de datos



[Escribir texto]



En el servidor de bases de datos no es necesario configurar ASP.NET debido a que el servidor de aplicaciones se encuentra instalado en otra máquina, donde se encuentra Internet Information Service, Framework ASP.NET y la aplicación.

Configuración Servidor de aplicaciones e IIS.

Consideraciones tecnológicas

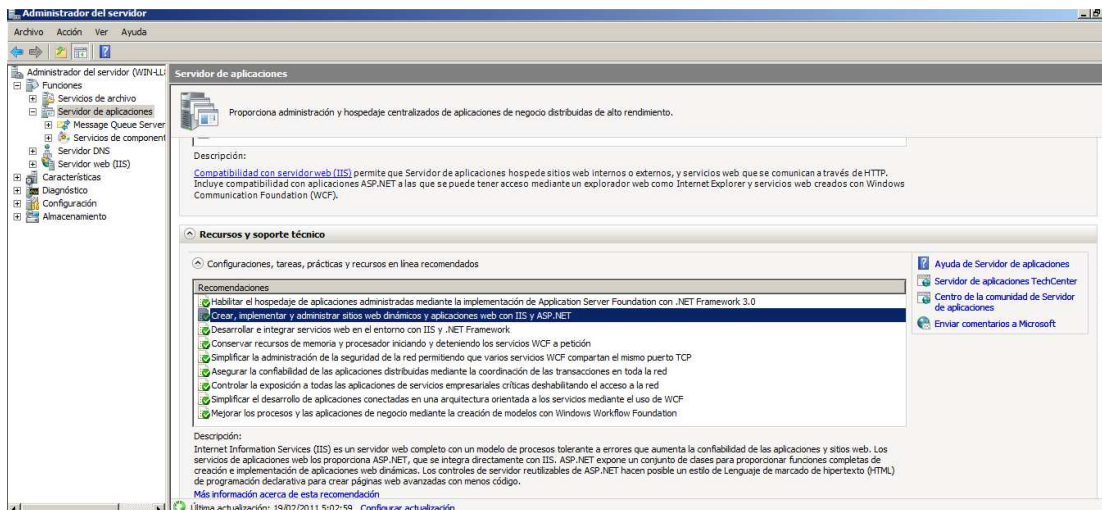
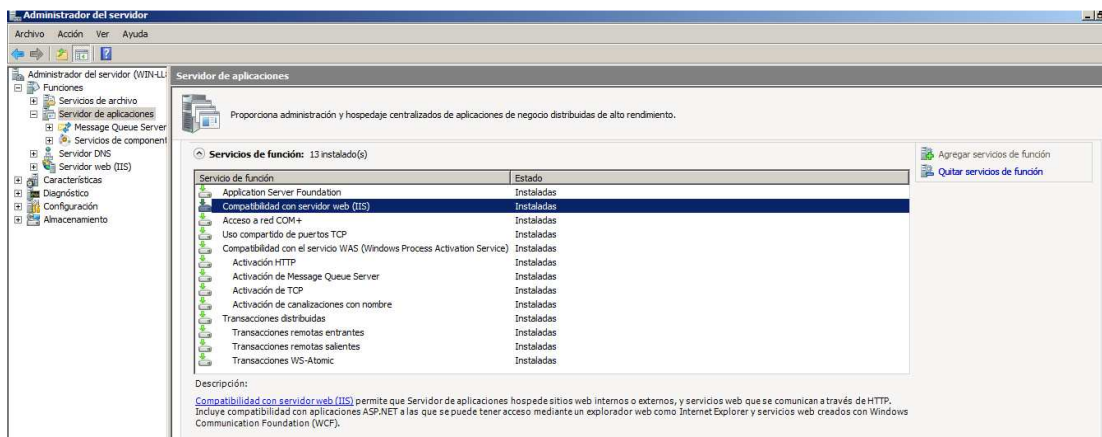
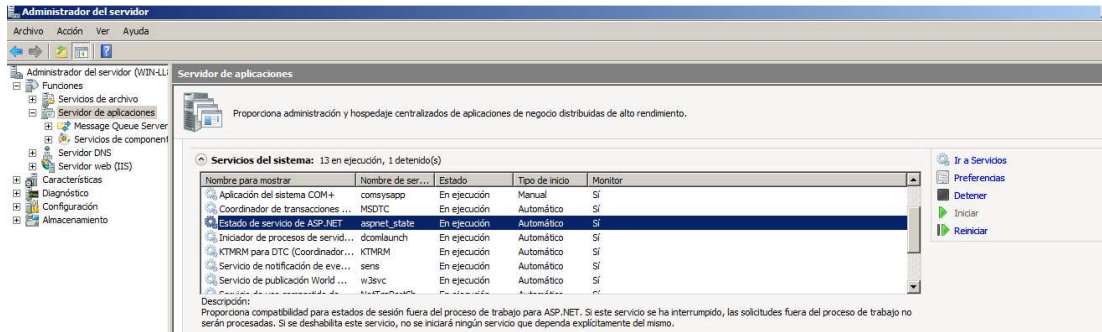
Framework 3.5 de ASP.NET

Servidor de aplicaciones Microsoft, para gestión de framework ASP.NET

[Escribir texto]

IIS 7

Servidor de aplicaciones



[Escribir texto]

IIS

Copiar Carpeta con aplicación en una ubicación que determine el administrador de sistemas para la gestión vía IIS 7.

Pool de directorios que componen “portal de análisis de confiabilidad”.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
CONFIG	19-02-2011 13:20	Carpeta de	
Data	19-02-2011 13:22	Carpeta de	
Manual de Usuario	21-02-2011 12:26	Carpeta de	
PortalConfiabilidad	19-02-2011 13:21	Carpeta de	
Reliability	19-02-2011 13:21	Carpeta de	
TempImageFiles	19-02-2011 13:21	Carpeta de	

Directorio que debe ser registrado en IIS para la gestión del sitio Web

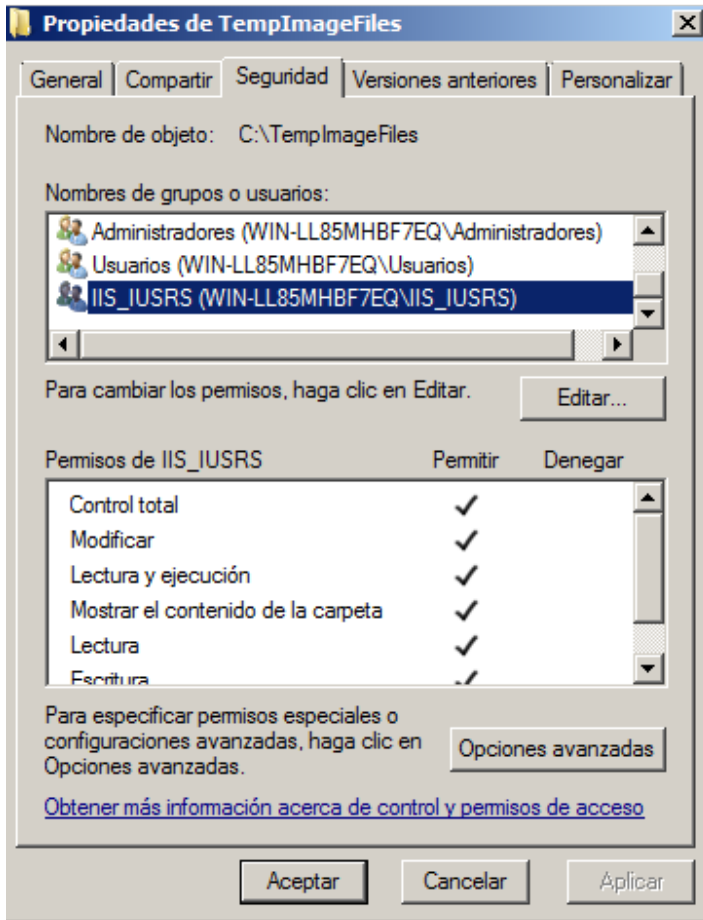
Copiamos las carpetas **Reliability** y **TempImageFiles** en la raíz de nuestro servidor de aplicaciones.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
CONFIG	19-02-2011 13:20	Carpeta de archivos	
Data	19-02-2011 13:22	Carpeta de archivos	
Manual de Usuario	21-02-2011 12:26	Carpeta de archivos	
PortalConfiabilidad	19-02-2011 13:21	Carpeta de archivos	
Reliability	19-02-2011 13:21	Carpeta de archivos	
TempImageFiles	19-02-2011 13:21	Carpeta de archivos	

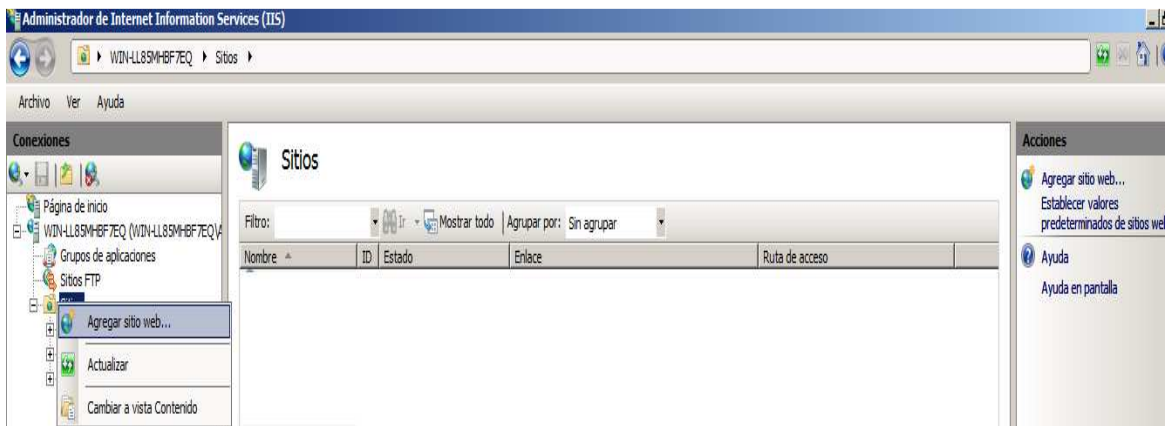
Otorgamos permisos a las carpetas copiadas anteriormente.

A modo de ejemplo a continuación representamos gráficamente esta acción efectuada a nuestros directorios.

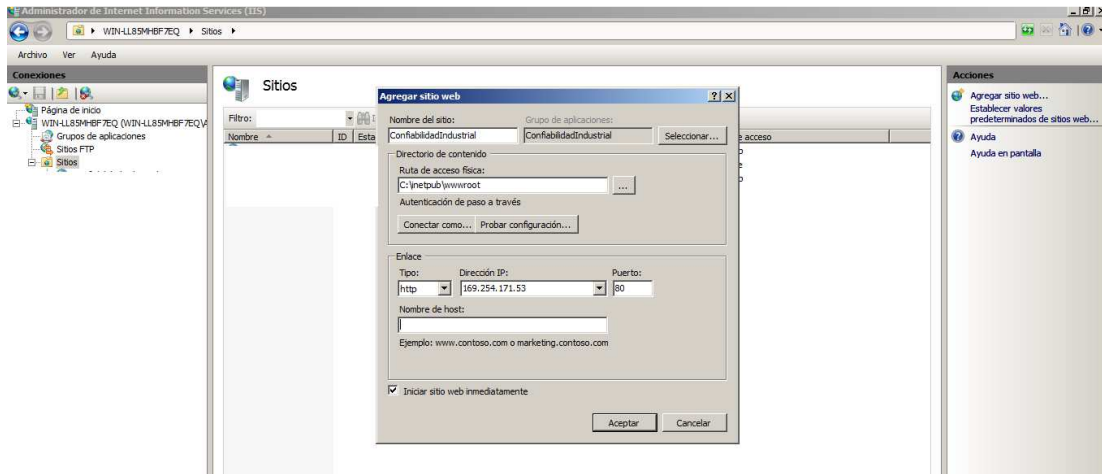
[Escribir texto]



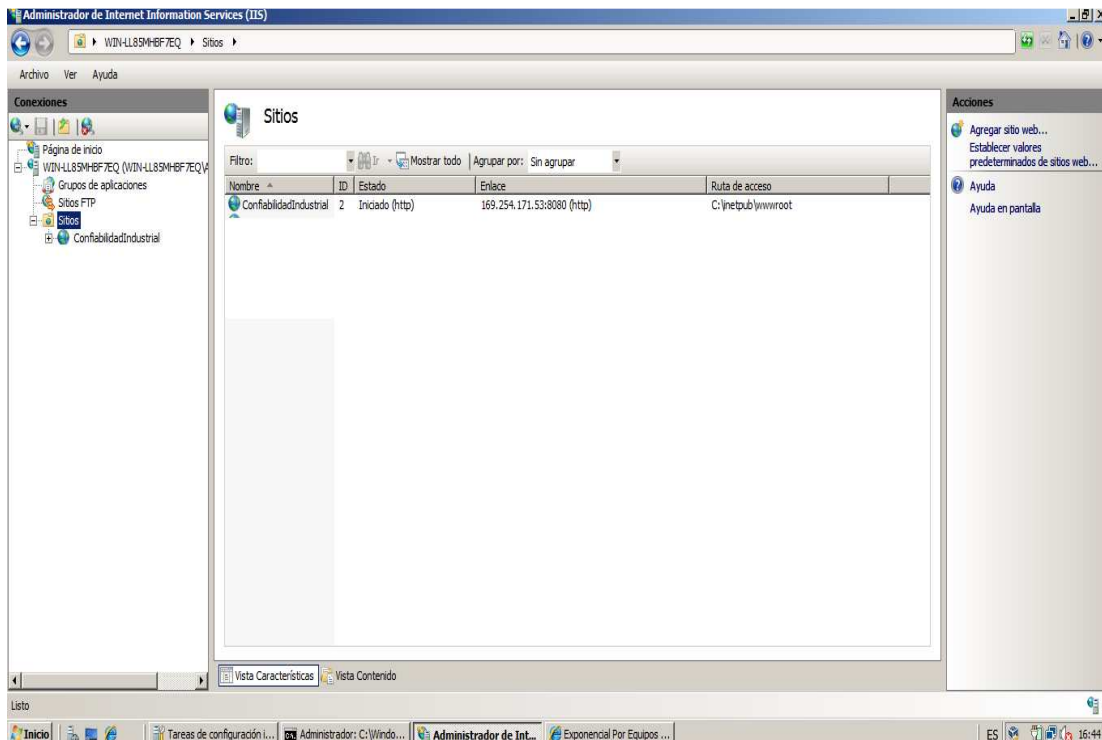
Creamos el sitio web desde la consola de configuración de IIS 7



[Escribir texto]



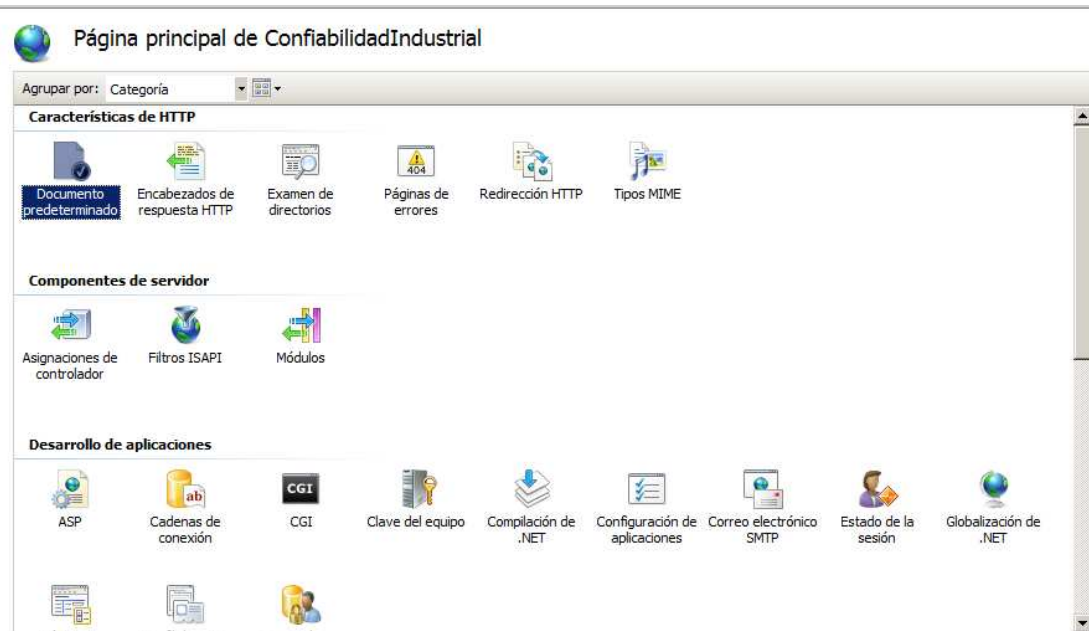
Aceptamos la creación de nuestro nuevo sitio Web. Con esta acción se creará una instancia de IIS que permitirá la gestión desde la interfaz o consola de gestión IIS.



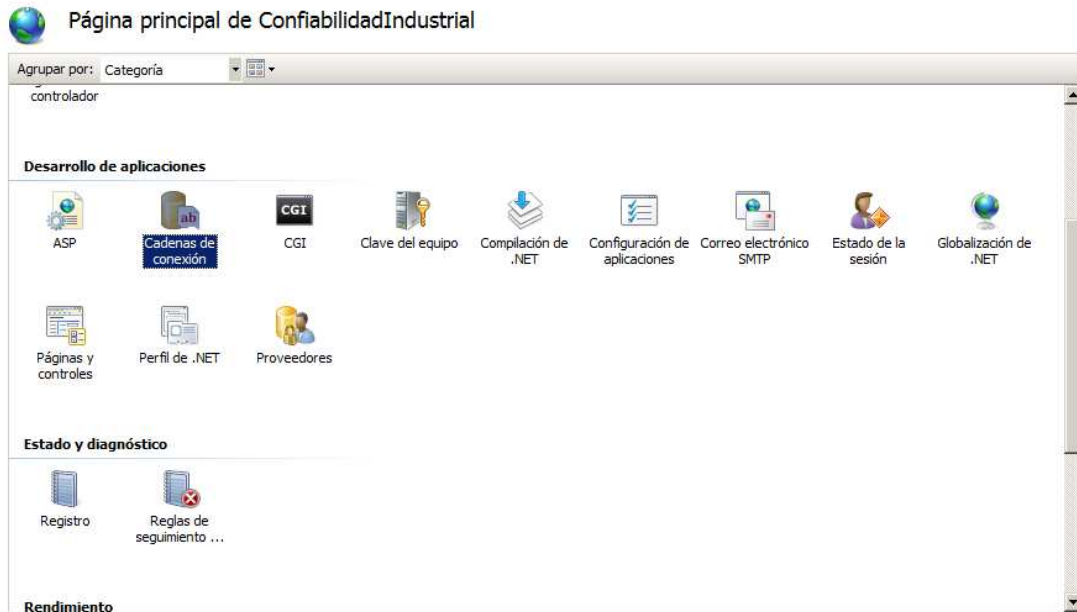
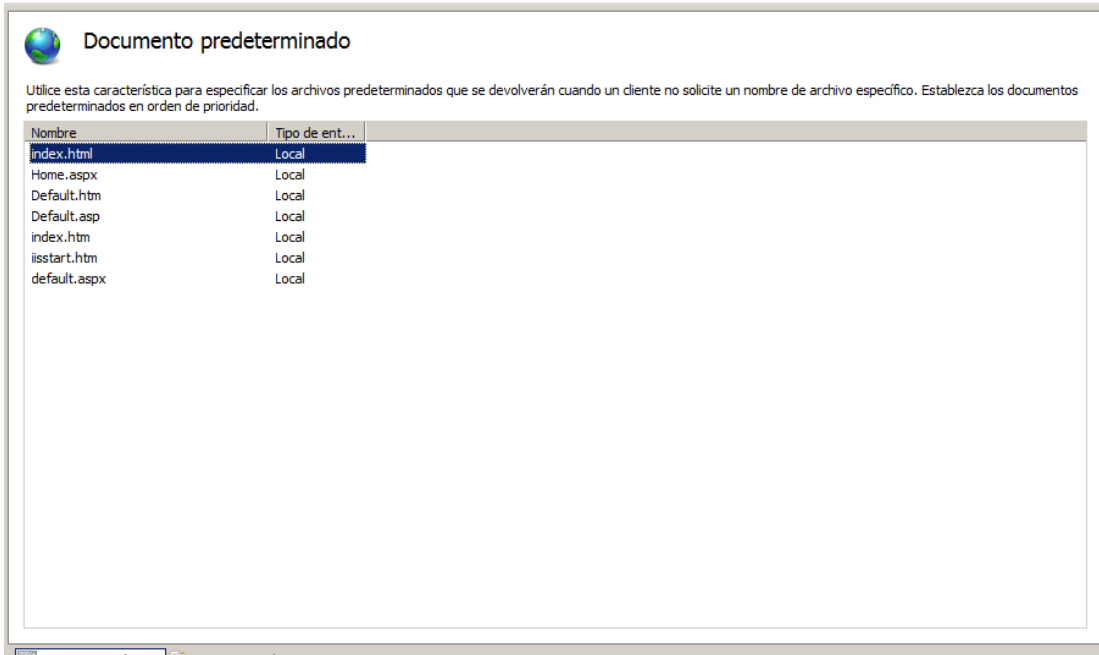
[Escribir texto]

Para comenzar a configurar la aplicación Web generada, se debe seleccionar el icono ubicado en la pantalla, específicamente, en el panel de conexiones.

A continuación se detalla cada una de las opciones de interés que serán configuradas para comenzar a utilizar el Portal de Análisis Confiabilidad



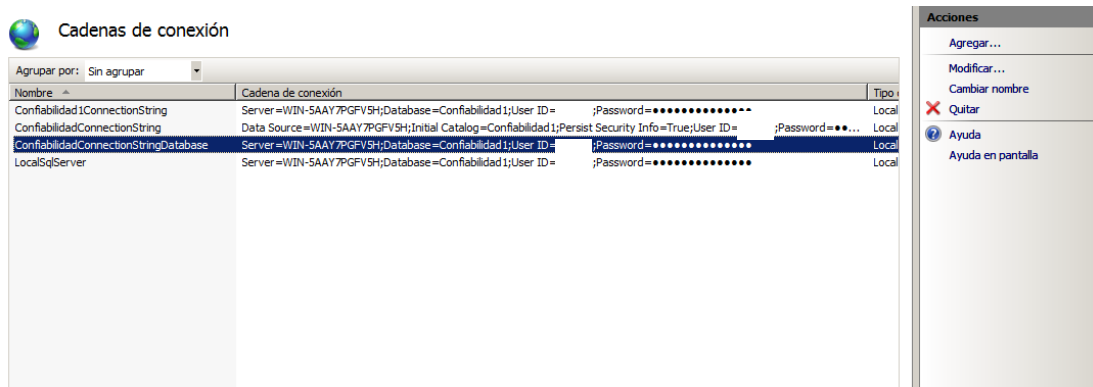
[Escribir texto]



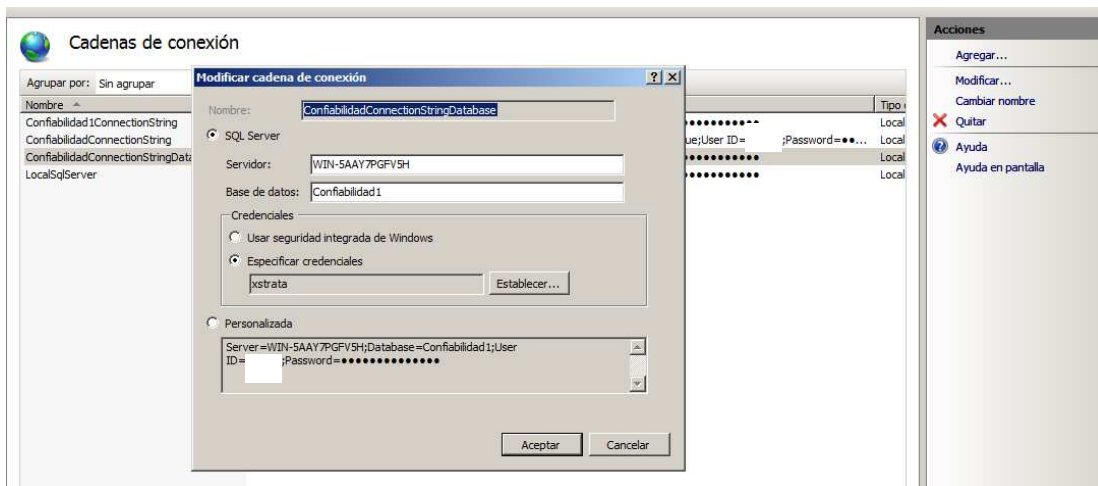
Es posible configurar cada una de las cadenas de conexión utilizadas en el sistema para definir la instancia de base de datos que será gestionada por ASP.Net y el servidor de aplicaciones, en conjunto con IIS.

[Escribir texto]

Para esto, seleccionamos la cadena de conexión y aplicamos modificar



Cuando aplicamos modificar, se abre un cuadro de dialogo que permite indicar los parámetros de conexión de la instancia.



[Escribir texto]



Estado de la sesión

Configuración del modo de estado de sesión

No habilitado

En proceso

Personalizado

Servidor de estado

Cadena de conexión:

Tiempo de espera (en segundos):

SQL Server

Cadena de conexión:

Tiempo de espera (en segundos):

Habilitar base de datos personalizada

Configuración de cookies

Modo:

Nombre:

Tiempo de espera (en minutos):



Proveedores

Característica:

Agrupar por: Sin agrupar

Nombre	Tipo	Tipo de entrada
AspNetSqlRoleProvider	SqlRoleProvider (System.Web.Security.SqlRoleProvider)	Heredada
SecurityTutorialsSqlRoleProvider	SqlRoleProvider (System.Web.Security.SqlRoleProvider)	Local
AspNetWindowsTokenRoleProvider	WindowsTokenRoleProvider (System.Web.Security.WindowsTokenRoleProvi...)	Heredada

[Escribir texto]

Proveedores

Característica:

Usuarios de .NET

Agrupar por: Sin agrupar

Nombre	Tipo	Tipo de entrada
AspNetSqlMembershipProvider	SqlMembershipProvider (System.Web.Security.SqlMembershipProvider)	Heredada
SecurityTutorialsSqlMembershipProvider	SqlMembershipProvider (System.Web.Security.SqlMembershipProvider)	Local

Proveedores

Característica:

Perfil de .NET

Agrupar por: Sin agrupar

Nombre	Tipo	Tipo de entrada
AspNetSqlProfileProvider	SqlProfileProvider (System.Web.Profile.SqlProfileProvider)	Heredada

Autenticación

Agrupar por: Sin agrupar

Nombre	Estado	Tipo de respuesta
Autenticación anónima	Habilitada	
Autenticación básica	Deshabilitada	Desafío - HTTP 401
Autenticación de texto implícita	Deshabilitada	Desafío - HTTP 401
Autenticación de Windows	Deshabilitada	Desafío - HTTP 401
Autenticación mediante formularios	Habilitada	Iniciar sesión/redirigir - HTTP 302
Suplantación de ASP.NET	Deshabilitada	

Funciones de .NET

Esta página permite ver y administrar una lista de grupos de usuarios. Un grupo de usuarios permite categorizar usuarios y llevar a cabo operaciones relacionadas con la seguridad, como la autorización, en un conjunto completo de usuarios.

Agrupar por: Recuento de usuarios

Nombre	Usuarios
Funciones con usuarios	
Administrador	3
Digitador	4
Supervisor	3

[Escribir texto]



Niveles de confianza de .NET

Utilice esta característica para especificar el nivel de confianza para aplicaciones, controladores y módulos administrados.

Nivel de confianza:

Full (internal)



Usuarios de .NET

Esta página permite ver y administrar la lista de identidades de usuario definidas en la aplicación. La lista de usuarios se puede usar para llevar a cabo operaciones de autenticación, autorización y otras operaciones relacionadas con la seguridad.

Nombre	Dirección de correo electrónico	Creado	Último inicio de ...
ccastillo	cristian.castlec@gmail.com	01/02/2011	01/02/2011
cristian	cristian.castlec@gmail.com	12/03/2010	13/09/2010

Administrador de Internet Information Services (IIS)

WIN-LL85M-HBF7EQ > Grupos de aplicaciones

Conexiones

- Página de inicio
- WIN-LL85M-HBF7EQ (WIN-LL85M-HBF7EQ)
- Grupos de aplicaciones
- Sitios FTP
- Sitios
- ConfabilidadIndustrial

Grupos de aplicaciones

Esta página permite ver y administrar la lista de grupos de aplicaciones del servidor. Los grupos de aplicaciones están asociados a procesos de trabajo, contienen una o más aplicaciones, y proporcionan aislamiento entre aplicaciones.

Nombre	Estado	Versión de .NET Frame...	Modo de canaliz...	Identidad	Aplicaciones
Classic .NET AppPool	Iniciado	v2.0	Integrada	NetworkService	0
ConfabilidadIndustrial	Iniciado	v2.0	Integrada	NetworkService	1
DefaultAppPool	Detenido	v2.0	Clásica	NetworkService	1
			Integrada	NetworkService	1

Modificar grupo de aplicaciones

Nombre: ConfabilidadIndustrial

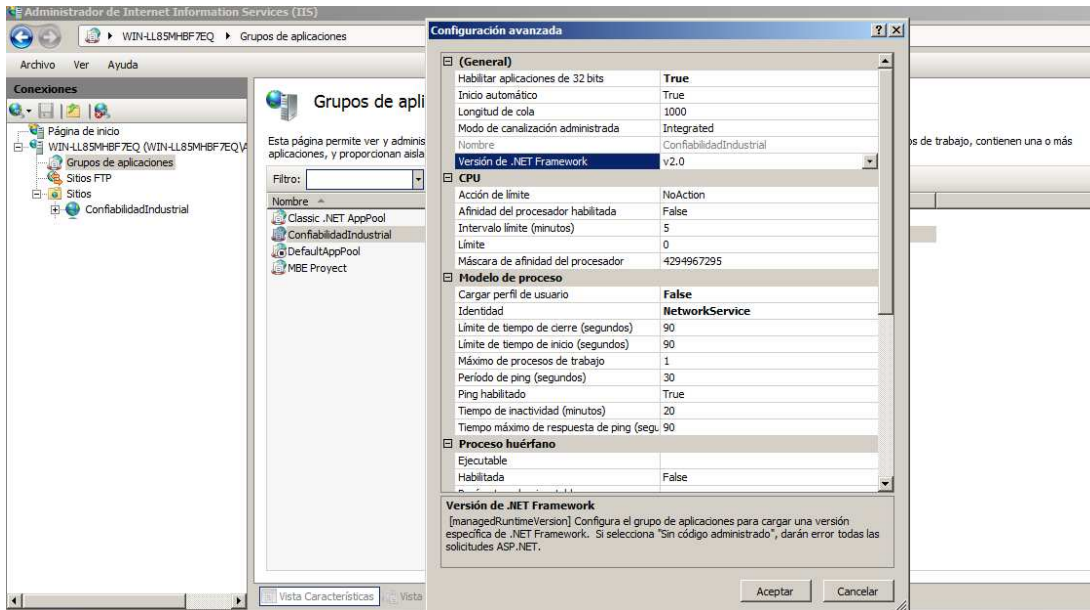
Versión de .NET Framework: .NET Framework v2.0.50727

Modo de canalización administrada: Integrada

Iniciar grupo de aplicaciones inmediatamente

Aceptar Cancelar

[Escribir texto]



Reiniciamos IIS

